

NGU Rapport 97.028

Potensielle submorene akviferer på Sør-
Jæren i Rogaland

Rapport nr.: 97.028		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Potensielle submorene akviferer på Sør-Jæren i Rogaland			
Forfatter: Knut Stalsberg og Eirik Mauring		Oppdragsgiver: Norges geologiske undersøkelse	
Fylke: Rogaland		Kommune: Hå	
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1212 III Nærbø	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 37	Pris: 175,-
		Kartbilag: 5	
Feltarbeid utført: 1993, -94, -95 og 96	Rapportdato:	Prosjektnr.: 2666.00	Ansvarlig: Eiliv Larsen (sign.)
<p>Sammendrag:</p> <p>Data fra stratigrafiske boringer, prøvepumping, seismiske undersøkelser og øvrig feltarbeid på sørlige deler av Jæren i Rogaland er sammenstillt for å gi en vurdering av de geologiske forhold m.h.p. uttak av grunnvann under morene.</p> <p>På Lågjæren sør for Nærbø synes mektige løsmasser med en kompleks stratigrafi å være vel egnet for grunnvannsuttak. Det er faglig grunnlag for å anta at grunnvann fra dypere akviferer vil kunne representere et reelt vannforsyningsalternativ i større målestokk (flere titalls l/s). Morener med høyt finstoffinnhold antas å begrense den vertikale kommunikasjonen til underliggende breelvmateriale og dermed beskytte disse potensielle grunnvannsmagasinerne mot diffus avrenning fra industri og intensivt jordbruk.</p> <p>Det er usikkert i hvilken grad et mer grusig og tynnere morenedekke nord for Nærbø vil gi tilsvarende effekt, men det er etablert grunnvannsbrønn på Nærbø som tar ut vann av god kvalitet fra ca 25 m dyp.</p> <p>Dype boringer på Høgjæren har ikke penetrert stratigrafi som synes gunstig for grunnvannsuttak.</p> <p>Kvaliteten på de refleksjonsseismiske data er bare moderat og skyldes morenedekket i toppen som «stjeler» mye av energien.</p> <p>Jærens stratigrafi med flere lavpermeable enheter kan gi hengende vannspeil. Ved bruk av georadar vil slike finkornige sedimenter gi problemer med å finne dyp til det virkelige grunnvannsnivå.</p> <p>Flere stratigrafiske boringer og ytterligere geofysiske undersøkelser må utføres før en plasserer boringer spesielt beregnet på hydrogeologiske undersøkelser.</p>			
Emneord:			
Hydrogeologi	Løsmasser	Boring	
Stratigrafi	Seismikk	Fagrapport	

INNHold

1. INNLEDNING	6
2. BAKGRUNN; HVORFOR VANN FRA SUBMORENE AKVIFERER?	6
2.1 Geologi.....	6
2.2 Bosetting/ bruk.....	6
2.3 Kriterier for omtalte lokaliteter.....	6
3. DATAGRUNNLAG	7
3.1 Stratigrafiske boringer.....	7
3.2 Refleksjonsseismikk.....	7
3.2.1 Utførelse	7
3.2.2 Prosessering	7
3.3 Prøvepumping	9
3.4 Data fra grusregisteret.....	9
3.5 Øvrig feltarbeid	9
4. KVARTÆRGEOLOGIEN PÅ JÆREN.....	9
4.1 Typiske jordarter.....	9
4.1.1 Marin leire.....	9
4.1.2 Leirig morene.....	9
4.1.3 Grusig morene.....	9
4.1.4 Glasifluviale avsetninger.....	9
4.2 Landskapstyper	10
4.2.1 Drumlinlandskap sør på Lågjæren.	10
4.2.2 Randmorene- og dødislandskap nord på Lågjæren.....	10
4.2.3 Høggjæren	10
5. RESULTATER: POTENSIELLE SUBMORENE AKVIFERER PÅ JÆREN.....	10
5.1 Elgane.....	10
5.2 Skretting/Refsland.....	11
5.3 Auestad.....	11
5.4 Lerbrekk/Hobberstad	12
5.5 Grødeland.....	12
5.6 Kystparallele rygger Reime - Obrestad.....	13
5.7 En grense mellom to stratigrafiske og morfologiske regioner ved Kvia.....	13
5.8 Nærbø - området	14
6. KONKLUSJON/ SAMMENDRAG	14
7. REFERANSER	15

FIGURER

- Fig. 1:** Oversiktskart over Jæren med undersøkte områder. Søyler viser forenklet litostratigrafi og piler viser antatt avsetningsretning for glasifluvialt materiale.
- Fig. 2:** Elgane. Detaljert litostratigrafisk logg fra boringen (Janocko *et al.* in press).
- Fig. 3:** Skretting. Snitt gjennom glasifluvialt materiale mellom to morener (Stalsberg, 1995).
- Fig. 4:** Auestad. Detaljert litostratigrafisk logg fra boringen (Janocko *et al.* in press).
- Fig. 5:** Hobberstad. Detaljert litostratigrafisk logg fra boringen (Sejrup *et al.*, 1996a).
- Fig. 6:** Grødeland. Detaljert litostratigrafisk logg fra boringen (Janocko, 1997).
- Fig. 7:** Reime. Sedimentologisk logg som viser eksempel på glasifluvialt materiale under morene (Sejrup *et al.*, 1996a).

TABELLER

- Tabell 1.** Opptaksparametre og lokalisering av profilene.
- Tabell 2.** Prosesseringsparametre for de forskjellige refleksjonsseismiske profiler.

TEKSTBILAG

Refleksjonsseismikk - metodebeskrivelse

DATABILAG

Digitaliserte seismiske reflektorer

KARTBILAG

- 97.028-01 Plassering av områder undersøkt med refleksjonsseismikk
- 97.028-02 Refleksjonsseismiske opptak og profilplassering, Grødeland
- 97.028-03 Refleksjonsseismiske opptak og profilplassering, Auestad
- 97.028-04 Refleksjonsseismiske opptak og profilplassering, Elgane
- 97.028-05 Refleksjonsseismiske opptak og profilplassering, Lerbrekk

FORORD

Dette arbeidet bygger for en stor del på data framskaffet gjennom prosjektet «Kvartær stratigrafi på Jæren; paleomiljø, klimavariasjoner og tektonikk» der forskere og studenter fra Universitetet i Bergen, Universitetet i Tromsø og Universitetsstudiene på Svalbard har deltatt i tillegg til NGU's personell. Kjerneaktivitetene har vært kvartærgeologisk grunnforskning, men ved å filtersette forskningsbrønnene har det vært mulig å teste de ulike stratigrafiske enhetenes vanngiverevne, og sammen med interesse fra Hå kommune har det utløst betydelig hydrogeologisk aktivitet. Rapporten er et forsøk på å sammenstille stratigrafiske data som har betydning for mulighetene til å utnytte grunnvannet i kommunen.

Knut Stalsberg

1. INNLEDNING

Det karakteristiske jærlandskapet har jevnlig vært gjenstand for vitenskapelig interesse gjennom de siste 100 år (Helland, 1885; Bjørlykke, 1908; Grimnes, 1910; Andersen, 1964; Feyling-Hanssen, 1964; Andersen, *et al.*, 1987), og forskerne har konsentrert seg om å rekonstruere geologiske prosesser og landskapsutviklingen. Siste skritt i denne utviklingen er det NFR-støttede prosjektet «Kvartær stratigrafi på Jæren: Paleomiljø, klimavariasjoner og tektonikk» (NGU-prosjekt nr. 2666.00) som fra 1993 til 1996 har gjennomført fem dype stratigrafiske forskningsboringer og øvrig feltarbeid på Sør-Jæren. Det foreligger mye geologisk basisinformasjon fra Jæren samlet inn med henblikk på generelle geologiske problemstillinger. Denne rapporten bygger for en stor del på data fra studier av klimavariasjoner, isutbredelse og avsetningsmiljø, og følgelig lokaliteter som ikke er valgt ut fra hva som nødvendigvis er hydrogeologisk gunstig. I tillegg til boringer er det utført kvartærgeologisk kartlegging, detaljerte studier av snitt, seismiske undersøkelser og prøvepumping av forskningsbrønnene, og hensikten er å sammenstille de geologiske data som har betydning for det hydrogeologiske potensialet på Sør-Jæren. Begrepet «potensiell akvifer» brukes derfor ikke om faktiske grunnvannsmagasiner, men om en geologisk enhet som ut fra litologi, antatt mektighet og antatt lateral utstrekning er aktuell for videre hydrogeologiske undersøkelser m.h.p. drikkevannforsyning. Vannkvalitet er ikke vurdert her.

Med et intensivt jordbruk og en kompleks stratigrafi med flere lavpermeable enheter er det naturlig å se etter grunnvannsmagasiner som er beskyttet mot overflateforurensning. Det er derfor interessant å forsøke å utnytte grunnvann fra relativt store dyp, og denne rapporten omhandler kun potensielle akviferer under morene.

2. BAKGRUNN; HVORFOR VANN FRA SUBMORENE AKVIFERER?

2.1 Geologi

Store deler av Jæren er dekket av opp til 5 m mektig finkornig morene (Østmo & Olsen, 1986; Wangen & Lien, 1990), en jordart som er uegnet for større grunnvannsuttak. Mange steder har boringer og utstrakt kartlegging det siste hundreåret funnet lag av sortert sand og grus under morenedekket, og disse avsetningene er utnyttet til grunnvannsuttak (Østmo, 1974) og byggeråstoff. Prøvepumping av forskningsbrønner har påvist grunnvann av god kvalitet i utnyttbare mengder, og nyere forskning (Janocko *et al.* 1997) antyder at submorene grusavsetninger kan ha betydelig utstrekning.

2.2 Bosetting/ bruk

Store deler av Jæren kan betraktes som fullkultivert av et intensivt jordbruk med et høyt antall husdyr. Det er fare for at diffus avrenning fra landbruk, bosetning og industri kan forurense grunnvannet, men et lavpermeabelt morenedekke over akviferen vil kunne begrense slik forurensning. Det landsomfattende grunnvannsprogrammet, GiN, konkluderer med at det kan være mulig å dekke vannbehovet til kommunene Hå, Time og Klepp ved grunnvannsuttak (Soldal & Jæger, 1992; Soldal, *et al.*, 1992). På Nærbø har Rogalandsmeieriet et stort vannuttak under morene noe som antyder potensialet av slike grunnvannsmagasiner (Østmo, 1974). Det er også behov for reservevannkilder da overflatevann distribuert gjennom et omfattende distribusjonsnett (interkommunalt vann- og avløpssamband for Rogaland, IVAR) i dag utgjør tilnærmet 100 % av vannforsyningen til kommunene på Sør-Jæren. Komplisert kartlegging, tolkning og testing av dype submorene akviferer medfører usikkerhet m.h.p. vanngiverevne og fornying, men dersom resultatene er tilfredsstillende er det grunn til å forvente god vannkvalitet da slike grunnvannsmagasiner må antas å være godt beskyttet mot overflateforurensning.

2.3 Kriterier for omtalte lokaliteter

Submorene sand og grus er funnet over hele Jæren, men lokaliteter omtalt her antas å ha mektig og tett nok overdekning til å gi beskyttelse mot overflateforurensning, og de sorterte lagene har en sammenhengende mektighet på minst 10 m under grunnvannsspeilet. Brønner på flere av disse lokalitetene er prøvepumpet. Områder med en stratigrafi som erfaringsmessig er hydrogeologisk gunstig er også omtalt. Generelle stratigrafiske data er inkludert dersom tolkning av avsetningsmiljø antyder en

lateral utvikling mot mer vanngivende materiale. Et eksempel er høytliggende marine leirer som er uaktuelle som akviferer, men representerer en geologisk periode der fluviale og deltiske sedimenter er avsatt samtidig. Tilsvarende antyder siltige isdistale glasifluviale sedimenter mulighet for å finne grovere mer isproksimale avsetninger med større vanngiverevne.

3. DATAGRUNNLAG

3.1 Stratigrafiske boringer

Fra 1993 til -95 ble det utført fem dype forskningsboringer på Jæren. Formålet med disse boringene var i første rekke uttak av sedimentprøver for stratigrafiske studier, og lokalitetene ble ikke valgt ut fra muligheten for å utnytte grunnvannet. Brønnene ble likevel filtersatt i ulike nivå, og det er seinere utført prøvepumping. Selv om boringene er punktobservasjoner, gir de direkte stratigrafisk informasjon og er viktige holdepunkt ved tolkning av seismiske data.

3.2 Refleksjonsseismikk

3.2.1 Utførelse

De refleksjonsseismiske målingene ble utført etter 'common mid-point'-teknikken (CMP) som er beskrevet i tekstbilag 1. For hvert opptak ble det registrert på 12 kanaler. Skuddpunkt- og geofonavstand var 5 meter, noe som gir 6-fold (600%) dekning. Det ble benyttet en ABEM Terraloc MK6 seismograf. Det ble anvendt geofoner med 100 Hz egenfrekvens. Erfaringer fra tidligere undersøkelser i et nærliggende område (Oppstad, Muring & Rønning 1990) tilsa vanskelige grunnforhold for anvendelse av refleksjonsseismikk med 12-kalibers haglpatroner som energisering. Det ble derfor forsøkt med både elektriske tennere og små ladninger dynamitt (ca. 35 gram) som alternative energiseringskilder. Dette ga stedvis bedre resultater, og målingene ble derfor utført med dynamitt eller 12-kalibers haglpatroner som energiseringskilde. Det ble målt sju profiler fordelt på fire områder (ett av profilene, P3 ved Hobberstad, ble mislykket pga. områdets dårlige egnethet for refleksjonsseismikk, og blir derfor ikke beskrevet i rapporten). Opptaksparametre og lokalisering av profiler er vist i tabell 1. Opptak og plassering av profiler er vist i kartbilag -02 til -05.

Tabell 1. Opptaksparametre og lokalisering av profiler.

Sted	Profil	Lengde (m)	t (ms)	Δt (ms)	Offset (m)	Energisering	Kartbilagsnr.
Grødalaland	1	147,5	256	0,25	25	35g dynamitt	-02
Grødalaland	2	405	256	0,25	25	35g dynamitt	-02
Auestad	4	187,5	256	0,25	40	35g dynamitt	-03
Elgane	5	762,5	256	0,25	20	Haglpatroner	-04
Elgane	6	165	256	0,25	20	Haglpatroner	-04
Lerbrekk	7	215	256	0,25	10	Haglpatroner	-05

t = opptakstid

Δt = samplingsintervall

Offset = avstand fra skudd til nærmeste geofon

3.2.2 Prosessering

Ved prosessering av de refleksjonsseismiske data er programpakken Interpex/Seistrix 3 benyttet. Tabell 2 viser en oversikt over de forskjellige prosesseringstrinn som er benyttet for de forskjellige profiler.

Tabell 2. Prosesseringsparametre for de forskjellige refleksjonsseismiske profiler.

Prosessering	P1	P2	P4	P5	P6	P7
SORT	X	X	X	X	X	X
STAT		X	X	X	X	X
EDIT		X	X	X	X	
BP (Hz)	110-120-400-450	120-150-450-500	110-120-400-450	120-150-450-500	120-150-450-500	110-120-400-450
MUTE	X	X	X	X	X	X
HA	X	X	X	X	X	X
RES STAT	10-100/8	10-180/8	30-70/5	30-70/5	30-70/5	20-60/5
NMO	150%	150%	150%	150%	150%	150%
STACK	X	X	X	X	X	X
AGC	150	150	150	150	150	150

SORT = Sortering av data (samling av data til 'common shot', 'common offset' og 'common mid-point').

STAT = Statisk korreksjon. Lineær tidkorreksjon utført på trasene for å redusere effekten av variasjoner i tykkelse og hastighet i lavhastighetslaget nær terrengoverflaten.

EDIT = Editering av traser. Fjerning av opptak/traser med mye støy eller traser som er 'døde'.

BP (Hz) = Båndpassfilter. Trapezoid-filter definert av de fire angitte frekvenser.

MUTE = Fjerning av støy fra luftbølger. 'Nuller ut' de deler av opptakene der luftbølger opptrer.

HA = Hastighetsanalyser.

RES STAT = Residuell statisk korreksjon. Tidsintervallet (f.eks. 10-100) angir korrelasjonsvinduet. Tid bak skråstrek (f.eks. /8) angir max skift av traser i tid.

NMO = 'Normal move-out'-korreksjon. Tallet oppgitt i prosent angir hvor mye en verdi langs trasen kan strekkes i tid før verdien 'mutes'.

STACK = CMP-stacking av NMO-traser.

AGC = Utskrift med AGC ('automatic gain control'). Tallet angir tidsvindu (i ms) benyttet for beregning av forsterkning av hver verdi langs trasene.

En kort beskrivelse av de forskjellige prosesseringstrinn er vedlagt i tekstbilag.

Det ble utført flere analyser av seismisk hastighet for hvert profil. Disse indikerte liten variasjon i hastighet mot dypet. På bakgrunn av hastighetsanalysene ble det beregnet gjennomsnittlige hastigheter i løsmassene. Følgende hastigheter er benyttet ved dybdekonvertering av de forskjellige profiler;

- P1, P2: $v = 1815 \text{ m/s}$
- P4: $v = 1755 \text{ m/s}$
- P5, P6: $v = 1760 \text{ m/s}$
- P7: $v = 1770 \text{ m/s}$

De forholdsvis høye hastighetene indikerer tilstedeværelse av moreneavsetninger.

3.3 Prøvepumping

I oktober 1996 ble det gjennomført prøvepumper for å vurdere massenes vanngiverevne rundt brønnene (pkt 3.1), og resultatene er presentert i kapittel 5. Samtidig ble det tatt prøver for å analysere vannkvaliteten, og analyseresultatene er presentert i andre arbeid (Storrø, 1997).

3.4 Data fra grusregisteret

Der forekomster av submoren grus er registrert i Grus- og Pukkregisteret, brukes data fra registeret for å anslå mektighet og lateral utbredelse av mulig vanngivende masser. Potensielle konfliktsituasjoner ved uttak av byggeråstoff er ikke vurdert.

3.5 Øvrig feltarbeid

Grustak og andre snitt har gitt de første indikasjonene på submorene sorterte masser, og har vært viktig for lokaliseringen av potensielle akviferer. Detaljerte studier har gitt informasjon om avsetningsmiljø og avsetningsretninger, som igjen er lagt til grunn for å anta laterale faciesendringer for en enhet videre utenfor lokalitetene. Slike endringer har innvirkning på det hydrogeologiske potensialet.

4. KVARTÆRGEOLOGIEN PÅ JÆREN

4.1 Typiske jordarter

De mektige løsmassene på Jæren består av mange ulike jordarter. Her er gjort en grov klassifisering av jordartene som har betydning for de hydrogeologiske forholdene på de omtalte lokalitetene.

4.1.1 Marin leire

Marine leirer i en mektighet av opp til 10 m er funnet over store deler av Lågjæren og Høggjæren (Fig. 1). Avsetningene har ofte stor lateral utbredelse, og samme enhet er kartlagt fra Sør-Jæren til Sandnes. Boringer har penetrert marine enheter i flere stratigrafiske nivå. Da marine leirer er lavpermeable vil en slik stratigrafi gi liten kommunikasjon mellom dyptliggende grunnvannsmagasin og overflatevannkilder.

4.1.2 Leirig morene

Kompakt morene med opp til 30 - 40 % leire er vanlig i overflaten over store deler av Sør-Jæren. Materialet er avsatt som bunnmorene under breer som eroderte i marin leire. Jordarten blir også betegnet «moreneleir», og ofte er det bare innholdet av mikrofossiler som skiller den fra urørte glasimarine sedimenter. Leirig morene er svært tett og kan forårsake høyt grunnvannsspeil og myrdannelse.

4.1.3 Grusig morene

Der breene har rykket fram over glasifluviale avsetninger er det avsatt en mer grusig morene med et lavere innhold av leire (< 20 %). På Jæren har grusig morene mindre lateral utbredelse enn leirholdig morene. Det antas at jordarten har en noe høyere permeabilitet enn marine leirer og leirholdig morene.

4.1.4 Glasifluviale avsetninger

Breelvene har avsatt eskere og elvesletter på Jæren. Eskerne sees som langstrakte rygger eller hauger, og større system av disse utgjør betydelige grunnvannsmagasin. Elveslettene er dekket av morene og deres laterale utstrekning er derfor vanskeligere å kartlegge. Punktobservasjoner av slike avsetninger med mer enn 10 m mektighet er gjort over hele Jæren, og det åpne landskapet tilsier sammenhengende avsetninger over flere km².

4.2 Landskapstyper

4.2.1 Drumlinlandskap sør på Lågjæren.

Sørlige deler av Lågjæren er preget av opp til 2 km lange slake rygger som hever seg 15 - 20 m over omgivelsene parallellt med kysten. En rekke mindre massetak viser at ryggene består av breelvmateriale med et 1 - 2 m mektig dekke av grusig eller leirholdig morene. Ryggene er tolket som drumliner eller randmorener. Mellom ryggene dominerer leirholdig morene i overflata.

4.2.2 Randmorene- og dødislandskap nord på Lågjæren

Nord for Kvia (Fig. 1) har Lågjæren et mer haugformet landskap av randmorener og dødisgroper. Smeltevannsløp har kuttet seg ned i løsmasser av grusig morene over eldre glasifluvialt materiale. Et ca. 5 m dypt snitt ved Kvia viser grusig morene over leirholdig morene og glasifluvialt grus.

4.2.3 Høgjæren

De østligste delene av Høgjæren har det samme slake preget som sørlige deler av Lågjæren. Stratigrafiske boringer ved Høgemork og Elgane (Fig. 1) viser h.h.v. 6 og 12 m leirholdig morene over 27 og 12 m glasimarin leire. Østover i området rundt vannet Storamøse (Fig. 1) er landskapet mer småkuppert og preget av dødisgroper, morenerygger og myrdannelse. Ytterligere lenger øst synes fjell i dagen (Wangen & Lien, 1990).

5. RESULTATER: POTENSIELLE SUBMORENE AKVIFERER PÅ JÆREN

En grov plassering av de undersøkte områder er vist i kartbilag -01 og på Fig 1. Flere refleksjonsseismiske profiler er utført i områder der det på forhånd var foretatt boringer (Janocko *et al.* 1997; in press). Ved tolkning av opptakene er hendelser i disse forsøkt knyttet til endringer i avsetningstype som påvist i borhull. De refleksjonsseismiske opptakene er vist i kartbilag -02 til -05. Reflektorer er digitalisert og presentert i databilag 1. I de digitaliserte snittene (bortsett fra P7) er reflektorene knyttet til avsetningstyper og enheter tolket ut fra boringer (Janocko *et al.* 1997; in press).

5.1 Elgane

Det er foretatt stratigrafiske boringer på Høgemork (Andersen, *et al.*, 1981; Andersen, *et al.*, 1987; Andersen, *et al.*, 1991) (Fig. 1) (095 013) og Elgane (100 017), der (Janocko *et al.* in press) har gitt den over 30 m mektige lagrekka følgende inndeling og tolkning (fig. 2): Enhet 1 er grovklastisk, glasifluvialt grus og blokk med til dels åpen matriks dekket av morene (enhet 2). 14 m glasimarin silt og leir med enkelte tynne lag av diamikton danner enhet 3 som igjen ligger under 12 m leirholdig morene på toppen (enhet 4).

Det ble målt to refleksjonsseismiske profiler ved Elgane (P5 og P6). Opptak og profilplassering er vist i kartbilag -04. Digitaliserte reflektorer er vist i databilag 1.4 og 1.5. Et borhull (Janocko *et al.* in press) er plassert ca. 75 m vest for nordvestenden av P6.

Et refraksjonsseismisk profil i nærheten av borhullet (Rye, referert i Janocko *et al.* in press) viste ca. 40 m til fjell. Det refleksjonsseismiske opptaket for P6 viser en kraftig reflektor på ca. 40 m dyp som etter all sannsynlighet representerer fjell. En annen gjennomgående reflektor sees på 26-35 m dyp og representerer trolig overflaten av subglasial morene (enhet 2). De samme reflektorer sees på profil 5 der profil 6 krysser (P5-577 = P6-24). Lenger sørvest langs P5 er det vanskeligere å knytte reflektorer til bestemte avsetningstyper (se databilag 1.4). Førsteankomsttider fra de refleksjonsseismiske opptak viser hastigheter i området 1800-1900 m/s. Denne hastigheten indikerer morene øverst i avsetningen, hvilket er konsistent med tolkningen fra borhull (subglasial morene, enhet 4 etter Janocko, 1996). Tidligere utførte georadarmålinger i det samme området (Tønnesen, 1996) ga opptak av dårlig kvalitet (begrenset penetrasjonsdyp) pga. morenelaget.

Enhet 1 er så grovklastisk at trykket i borvæsken forsvant da boringen traff på de glasifluviale massene. Det indikere svært permeable masser som kan være avsatt i et brenært miljø, og enhet 1 kan være isproksimale deler av massene i Skretting grustak (Stalsberg, 1995) (pkt. 5.2). Dreneringen av borvæske viser også at øvre del av enhet 3 (dyp 26 - 30 m) ikke er vannmettet, og det indikerer at det høyst

sannsynlig finnes to adskilte grunnvannsmagasin i området. Glasimarin silt og leir i enhet 3 er avsatt mens havnivået var over 200 m høyere enn dagens (Janocko *et al.* in press). Samtidige fluviale og deltatiske sedimenter antas å ha vært avsatt tilsvarende høyere og følgelig lenger øst på Høggjæren.

5.2 Skretting/Refsland

Området danner en ca 300 m brei og ca 1 km lang terrasseflate på skråninga mellom Høgg- og Låggjæren (Fig. 1). Tolkningene er basert på detaljerte studier av Refsland grustak (083 013) og flere mindre snitt i nærområdet, stratigrafisk boring og flybildetolkning. Grustaket, som danner et snitt ned i terrassen, viser at en 1 - 4 m mektig grusig morene dekker en ca 20 m mektig glasifluvial grus. Årlig taes det ut ca 40 000 m³ grus fra avsetningen. En 18 m dyp boring sentralt i gulvet av grustaket har penetrert morene og glasimarine sedimenter under grusavsetningen (Fig. 3). Ei randmorene stikker opp lengst vest i grustaket, og det antas at terrasseflata er dannet ved at ei brelveslette fyller et dalsøkk formet av randmorena i vest og den regionale skråningen i øst. En varierende avsetningsretning gir stor usikkerhet m.h.p. laterale kornstørrelsesvariasjoner. Terrassen heller noe mot nord, og forutsatt at det avspeiler overflata av grusavsetningen, kan vi forvente å finne stadig grovere masser sørover fra Refsland grustak.

Testbrønnen i Refsland grustak er 12 m dyp og har filter i nivå 10 - 12 m. Naturlig grunnvannsnivå var på prøvepumpingsstidspunktet 1,5 m under toppen av brønnen. Ut fra prøvepumpingsdataene er malsimal kapasitet for testbrønnen beregnet til 4 - 5 l/s. Indikasjoner på at vanngivende masser fortsetter til større dyp antyder at uttak av 10-20 l/s fra en enkeltbrønn kan være realistisk i dette området. Sikker verifisering kan kun gjøres gjennom dypere boringer og testpumping.

Grusavsetningen bør kartlegges med georadar. Dette vil kunne gi bedre data om volum og avsetningsretning som er nødvendige parametre for å anslå utviklingen i kornstørrelse og mektighet lateralt fra grustaket. Det vil være avgjørende for plassering av en testbrønn å lokalisere størst mulig mektighet av vanngivende masser.

5.3 Auestad

Auestad ligger 2 km sørøst for Varhaug sentrum og lengst øst på Låggjæren der stigningen mot Høggjæren starter (Fig. 1). Ved det gamle skolehuset (073 009) er det gjennomført to stratigrafiske boringer uten «casing», og en av brønnene er i dag bare 5 - 6 m dyp. Beskrivelser og stratigrafisk inndeling i fem enheter er utført av (Janocko *et al.* in press) (Fig. 4). Den dypeste brønnen penetrerer morene på 10 m dyp, enhet 4, over en 10 m mektig finkornig enhet med enkelte sandlag; enhet 3. Enhet 2 har mektighet fra 26 til 30 m dyp og består av sand og grus over morene. Filter for hydrogeologisk prøvetaking og prøvepumping er plassert på 6 - 7 m, 20 - 21 m og 29 - 30 m dyp. Det ble ikke boret til fjell.

Profil 4 ble målt i dette området. Opptak og profilplassering er vist i kartbilag -03. Digitaliserte reflektorer er vist i databilag 1.3. Et borhull er plassert ca. 40 m sør for profilet ved det gamle skolehuset på Auestad.

Tidligere utførte refraksjonsseismiske målinger (Rye, referert i Janocko *et al.* in press) indikerer dyp til fjell på ca. 50 m i området. En reflektor sees på ca. 60 m dyp i det refraksjonsseismiske opptaket, og denne representerer muligens fjell. Avvik mellom dyp til fjell fra refraksjonsseismiske og refraksjonsseismiske målinger kan skyldes at profilene ikke er målt på eksakt samme sted eller at forskjellige hastigheter er benyttet ved dybdekonverteringen. Det beste som kan sies er at fjell trolig ligger på 50-60 m dyp. Grensen mellom mulig fluvial sand/grus og subglasial morene (enhet 2 og 1 i Janocko *et al.* in press) er sannsynligvis representert ved en reflektor på 30-37 m dyp. En reflektor på 40-45 m dyp kan muligens representere bunnen av morenelaget, men dette er svært usikkert. En svak og lite utholdende reflektor på 20-30 m dyp kan muligens representere grensen mellom glasimarine avsetninger (øverst, enhet 3) og mulig fluvial sand/grus (enhet 2). Førsteankomsttider avlest fra refraksjonsseismiske opptak gir hastigheter i området 1800-1900 m/s og representerer sannsynligvis refraktert energi fra morenelag på 9-10,5 m dyp (grusig diamikton tolket som subglasial morene, enhet 4 i Janocko *et al.* in

press). Enhet 5 (fluvial eller glasifluvial sand/grus) er kartlagt ved tidligere utførte georadarmålinger (Tønnesen, 1996) som indikerer økende mektighet av sand/grus oppover skråning mot øst (langs veien, se kartbilag -03).

I den grunne brønnen står vannspeilet 3 - 4 m under overflata, og basert på et øst - vest georadar profil forbi boringa anslår Tønnesen (1996) tilsvarende dyp. I den dypeste brønnen står vannspeilet på ca 20 m dyp, og under de mest finkornige delene av lagrekka. Dette antyder at den grunne brønnen viser et hengende vannspeil, og at store deler av enhet 3 har svært lav permeabilitet. Med hensyn til vannkvalitet og kapasitet antas det dypeste magasinet å være av størst interesse. Testbrønnen på Auestad er 30 m dyp og har filter plassert i nivå 20 - 21 og 29 - 30 m under terreng. Naturlig grunnvannstand var på prøvepumpingstidspunktet 23 m under terreng slik at det øverste filternivå var tørrlagt. Ut fra prøvepumpingsdata er maksimal kapasitet for testbrønnen begrenset til 1 - 2 l/s. Grusen over morene på 30 m dyp antas å være breelvmateriale avsatt foran brefronten like over havnivå (Janocko *et al.* in press). En slik avsetningsmodell impliserer at enheten kan ha en betydelig lateral utstrekning i dette slake landskapet, og reflekssjonsseismikk antyder en utbredelse på minst 100 m. En konsekvens av miljøtolkningen (Janocko *et al.* in press) er at smeltevannet må ha drenert mot vest og at grovere materiale er avsatt øst for Auestad.

Det er kort avstand til Skretting (Fig. 1), og før det gjennomføres videre grunnvannsundersøkelser på Auestad bør man avvente resultatene av videre kartlegging og eventuell testpumping av den mer lovende Skretting-akviferen.

5.4 Lerbrekk/Hobberstad

Refleksjonsseismisk profil 3 ble målt ved Hobberstad (042 035) og profil 7 ble målt ved Lerbrekk (039 028). En 60 m dyp stratigrafisk boring til fjell ved radiofyret på Hobberstad (Sejrup, *et al.*, 1996a) (Fig. 1 og 5). og et snitt i elveskjæringa ved Lerbrekk gård viser en h.h.v. 20 og 4 m mektig svært leirholdig morene som dekker mer enn 10 m sand og grus. Dersom undersøkelsene har avdekket den samme submorene enheten er sannsynlig utbredelse mer enn 1 km. Kornfordeling, sedimentære strukturer og mangel på mikroorganismer antyder at materialet er glasifluvialt eller glasilakustrint. Sedimentologiske undersøkelser ved Lerbrekk viser at avsetningsretningen er mot vest, og indikerer at grovere materiale er avsatt lenger øst. Overflata er fullkultivert, men den kompakte øvre morena antas å redusere kommunikasjonen til sorterte lag under.

Refleksjonsseismiske opptak og profilplassering er vist i kartbilag -05. Det nordligste profilet (P3) ga data av meget dårlig kvalitet, og målingene ble avbrudt på grunn av dette. Digitalisert reflektor på profil 7 er vist i databilag 1.6.

Den eneste sikre reflektoren som framkommer på P7 opptrer på 30-40 m dyp. Denne etterfølges av flere, gradvis svakere hendelser som trolig representerer multipler. Reflektoren kan representere fjell. Det relativt store avviket fra dyp til fjell påvist ved boringen har trolig sammenheng med at avstanden mellom P7 og borhullet (600-700 m) er for stor til at resultatene kan sammenlignes.

5.5 Grødeland

Grødeland ligger i strandsonen 3 km nordvest for Varhaug sentrum (Fig. 1). Lokalt er undersøkt ved hjelp av kjerneprøver fra dype stratigrafiske boringer, reflekssjonsseismikk og prøvepumping.

Resultatene av en 125 m dyp boring ned til fjell er beskrevet av (Janocko *et al.* 1997) som også har delt stratigrafien inn i 6 enheter (Fig. 6). En 1,5 m tynn morene ligger over massiv sand ned til 12 m. Enhet 3 består av grove diamikton fra 12 til 42 m dyp og rommer minst en morenenhet. De øverste 10 m av enhet 2 består av massiv sand, og ligger over finkornige lag av leire fra ca 50 m til 68 m dyp. Undre deler av enhet 2 er ca 10 m sand over 5 m leire med enkelte tynne gruslag. Enhet 1 ligger på fjell og består av ca 40 m grovkornet diamikton. 1 m lange filter for prøvepumping er plassert på 3 m, 5 m, 27 m, 42 m, 50 m, 60 m og 125 m dyp.

Det ble målt to refleksjonsseismiske profiler (P1 og P2) i dette området. Opptak og profilplassering er vist i kartbilag -02. Digitaliserte reflektorer for P1 og P2 er vist i henholdsvis databilag 1.1 og 1.2. Et borhull er plassert i skråningen ned mot sjøen ca. 150 m vest for P1.

Fjell ligger for dypt til å kunne sees i de refleksjonsseismiske opptakene. En uregelmessig, diskontinuerlig reflektor på 80-100 m dyp representerer trolig overflaten av enhet som er tolket som subglasial morene (enhet 1 i Janocko *et al* 1997). Topp av enhet som vesentlig består av glasifluvialt materiale (enhet 2) er antydning som en usammenhengende men kraftig reflektor på 40-50 m dyp. I det som av Janocko (1996) er kalt enhet 2, sees flere subhorisontale reflektorer. Reflektor på 70-80 m dyp kan muligens representere grensen mellom marine avsetninger (øverst) og glasimarine avsetninger (definert som underenhetene 2.2 og 2.3 i Janocko *et al* 1997). Reflektorer ned til ca. 40 m dyp antas å representere strukturer i moreneavsetninger (enhet 3). Førsteankomsttider avlest fra refleksjonsseismiske opptak (ikke vist i denne rapporten) gir hastigheter i området 1800-2100 m/s og representerer refraksjoner fra grunt morenelag (sannsynligvis enhet 5 i Janocko *et al* 1997).

Prøvepumping gir små vannmengder, men nivå 26 - 27 m og 41 - 42 m gir 0,6 l/s som, relativt innenfor brønnen, er brukbart. Filteret på 26 - 27 m er plassert i enhet 3 som er grovkornet diamikton. Pumperesultatene tilsier at enheten ikke er en massiv og tett morene, og seismiske reflektorer (databilag 1.1 og 1.2) representerer sannsynligvis inhomogeniteter i morena eller grensen mellom flere morener.

Nivå 41 - 42 m ligger i undre deler av enhet 3, og trolig er pumperesultatene fra dette nivået også påvirket av vannnivået til de øvre deler av enhet 2 (Fig. 6). De øvre sandige delene av enhet 2 er trolig avsatt foran en tidevannsbre (Janocko *et al* 1997). Sedimenttilførselen til slike miljø foregår langs hele brefronten, og, i motsetning til foran punktkilder, avsettes det langstrakte sedimentlegemer (Lønne, 1995). Seismiske profiler (databilag 1.1 og 1.2) antyder at enhet 2 og 3 har en lateral utstrekning på minst 400 m. Flere boringer i strandsonen utført spesielt for hydrogeologiske undersøkelser er nødvendig for å avdekke potentialet m.h.p. vannforsyning.

5.6 Kystparallele rygger Reime - Obrestad

Mindre massetak på Reime (022 059), Obrestadhamn (013 064) og Obrestad (004 075) viser alle 1 - 2 m grusig morene over >5 m glasifluviale sedimenter (Fig. 7). Det 2 -3 km lange og 15 - 20 m høye kystparallele ryggsystemet (Fig. 1) er tolket som randmorener (Wangen & Lien, 1990). Nyere arbeider fra Jæren (Janocko, 1997) tolker disse ryggene som drumliner dannet av en kystparallel isstrøm nordover gjennom Norskerenna (Andersen, *et al.*, 1995; Sejrup, *et al.*, 1995; King, *et al.*, 1996; Longva & Thorsnes, 1997; Sejrup, *et al.*, 1996b). En mengde lokaliteter i hele denne morfologiske regionen viser tilsvarende lagrekker med, tildels urørte, glasifluviale sedimenter dekket av morene og antyder at øvre morene draperer erosjonsrester av et opprinnelig større glasifluvialt dekke. En rekke brønner i dette ryggsystemet gir fra 0,4 til 3 l/s (Østmo, 1974). Detaljerte studier viser svært stor forskjell i paleostrømretninger mellom de ulike lokalitetene, og gir ingen indikasjon om endring i av kornstørrelse i noen spesiell retning. Det er sannsynlig at breelver vil danne forgreina elveløp i dette åpne landskapet og avsette glasifluvialt materiale på ei vid elveslette; en sandur. I slike miljø vil strømretningene variere (Miall, 1977), men sandersediment vil ha en generell reduksjon i kornstørrelse med økende avstand fra brefronten (Boothroyd & Ashley, 1975). En vil kunne forvente dominans av mer grovkornede avsetninger lenger øst eller sør avhengig av glasiasjonsmodell (Wangen & Lien, 1990; Janocko, 1997).

5.7 En grense mellom to stratigrafiske og morfologiske regioner ved Kvia.

En markert øst - vest gående ravine ved Kvia (048 065) ble dannet under siste deglasiasjon (Wangen & Lien, 1990) og markerer en grense mellom det kupert landskapet rundt Nærbø i nord og det slake undulerende drumlinoide landskapet på sørlige deler av Lågjæren. Grustak og andre snitt på begge sider av ravina antyder en sammenheng mellom stratigrafi og morfologi. I nord dekker ca 1 m grusig morene minst 5 m lagdelt glasifluvial sand, grus og blokk, mens tilsvarende sortert materiale sør for ravina ligger direkte under 4 m svært leirholdig morene (pipetteanalyser gir mellom 73 % og 97 % leir), en blokkhorisont og 1,5 m grusig blokkrik morene på toppen.

Det er usikkert hvorvidt det sorterte materialet under morene sør for Kvia har tilstrekkelig vanngiverevne, men det høye innholdet av finstoff i morenedekket antas å gi god beskyttelse av eventuelle grunnvannsmagasin. Lateral variasjon og utbredelse for sand og grus er usikker.

5.8 Nærbø - området

Morenelandskapet rundt Nærbø er kuppert, og grustak nord for Nærbø kirke (040 079) viser 1 m grusig morene over 5 - 6 m glasifluvial sand og grus med blokk i bunnen. Også mindre massetak ved Motland (055 067) viser glasifluvial grus under grusig morene. Undersøkelser med georadar ved Lodetjørna (035 073) (Tønnesen, 1996) konkluderer med et grunnvannsnivå i på 5 - 6 m dyp i grus og sand. Rogalandsmeieriet i Nærbø sentrum henter grunnvann til produksjonen fra ca 25 m dyp, og selv om det tynne og grusige morenedekket i området antas å gi begrenset beskyttelse, bør det kunne tas ut ytterligere vannvolum fra dypere deler av avsetningene i området.

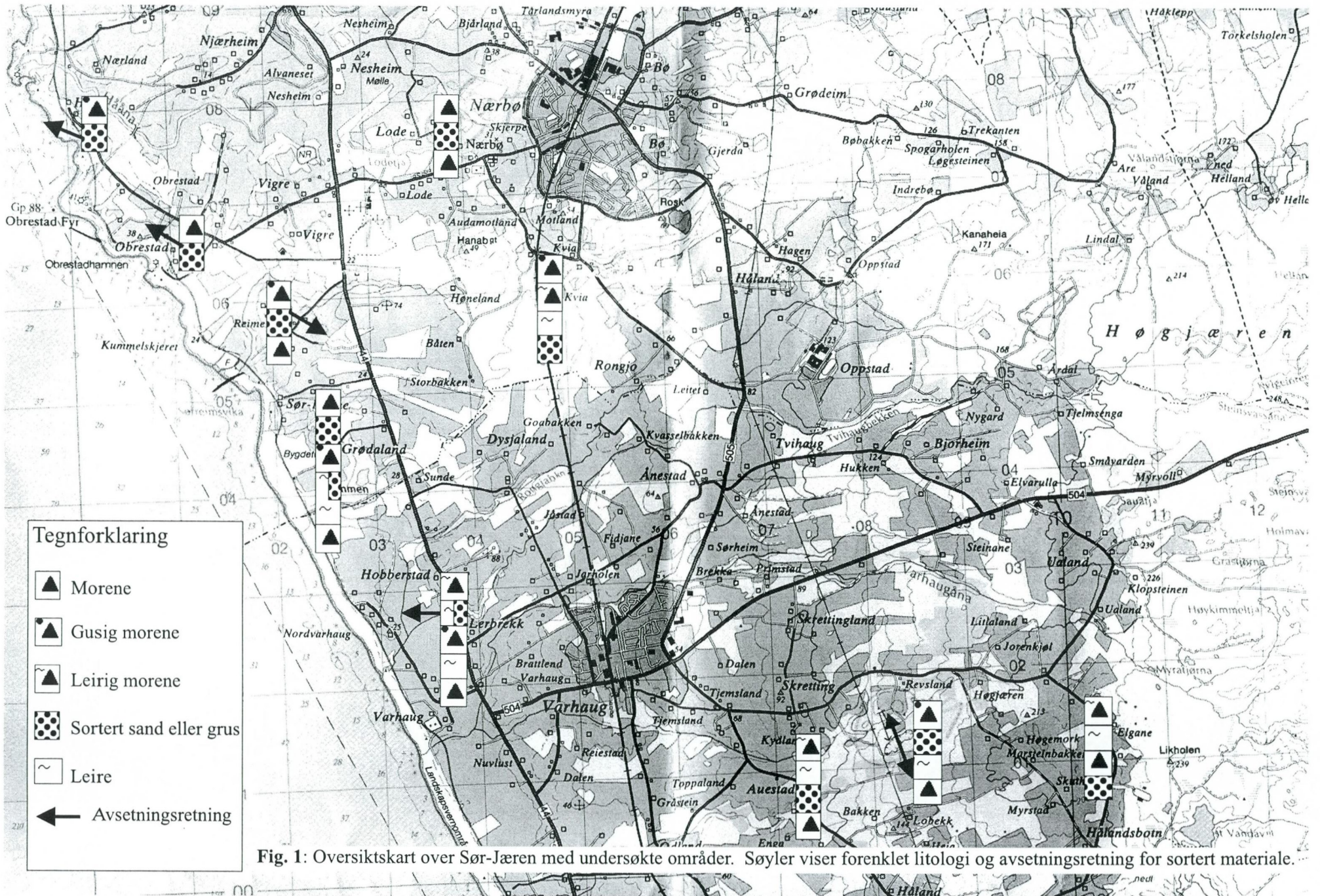
6. KONKLUSJON/ SAMMENDRAG

- Data fra stratigrafiske boringer, prøvepumping, seismiske undersøkelser og øvrig feltarbeid på sørlige deler av Jæren i Rogaland er sammenstilt for å gi en vurdering av de geologiske forhold m.h.p. uttak av grunnvann under morene.
- På Lågjæren sør for Nærbø synes mektige løsmasser med en kompleks stratigrafi å være vel egnet for grunnvannsuttak. Det er faglig grunnlag for å anta at grunnvann fra dypere akviferer vil kunne representere et reelt vannforsyningsalternativ i større målestokk (flere titalls l/s). Morener med høyt finstoffinnhold antas å begrense den vertikale kommunikasjonen til underliggende breenmaterialer og dermed beskytte disse potensielle grunnvannsmagasiner mot diffus avrenning fra industri og intensivt jordbruk. Vannanalyser dokumenterer også dette bl.a. ved et markert lavere innhold av nitrat i dypt grunnvann på Grødeland i forhold til vannprøver fra overflatenære grunnvannsmagasin (Storrø, 1997).
- Det er usikkert i hvilken grad et mer grusig og tynnere morenedekke nord for Nærbø vil gi tilsvarende effekt, men det er etablert grunnvannsbrønn på Nærbø som tar ut vann av god kvalitet fra ca 25 m dyp.
- Dype boringer på Høggjæren har ikke penetrert stratigrafi som synes gunstig for grunnvannsuttak.
- Kvaliteten på de refleksjonsseismiske data er bare moderat og skyldes morenedekket i i toppen som «stjeler» mye av energien.
- Jærens stratigrafi med flere lavpermeable enheter kan gi hengende vannspeil. Ved bruk av georadar vil slike finkornige sedimenter gi problemer med å finne dyp til det virkelige grunnvannsnivå.
- Flere stratigrafiske boringer og ytterligere geofysiske undersøkelser må utføres før en plasserer boringer spesielt beregnet på hydrogeologiske undersøkelser.

7. REFERANSER

- Andersen, B.G., 1964: Har Jæren vært dekket av en Skagerrak-bre? Er "Skagerrak-morenen" en marin leire? *NGU* 228
- Andersen, B.G., Nydal, R., Wangen, O.P. and Østmo, S.R., 1981: Weichselian before 15,000 years B.P. at Jæren-Karmøy in southwestern Norway. *Boreas* 10 297-314
- Andersen, B.G., Wangen, O.P. and Østmo, S.R., 1987: Quaternary geology of Jæren and adjacent areas, southwestern Norway. *NGU Bull.* 411
- Andersen, B.G., Bakken, K., Dale, B., Fugelli, E., Henningsmoen, K.E., Høeg, H.I., Nagy, J., Read, A. and Tellemann, H., 1991: Weichselian Stratigraphy at Oppstad, Høgemork and Foss-Eigeland, Jæren, SW Norway. *Striae* 34 109-124
- Andersen, E.S., Østmo, S.R., Forsberg, C.F. and Lehman, S.J., 1995: Late- and post-glacial depositional environments in the Norwegian Trench, northern North Sea. *Boras* 24 47-64
- Bjørlykke, K.O., 1908: Jæderens Geologi. *NGU* 48
- Boothroyd, J.C. & Ashley, G.M., 1975: Processes, bar morphology and sedimentary structures on braided outwash fans, northeastern Gulf of Alaska. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication* 23 193-222
- Feyling-Hanssen, R.W., 1964: Skagerakmorenen på Jæren. *Norsk Geografisk Tidsskrift* 301-317
- Grimnes, A., 1910: Jæderens Jordbunn. *NGU* 52
- Helland, A., 1885: Om Jæderens løse Afleiringer. *Medd. f. Naturhist. For. i Kristiania* 1885
- Janocko, J., 1997: Genesis of an elongated ridge at Jæren, southwest Norway: Drumlin or marginal moraine? *Geografiska Annaler* 79A (1-2) 57-66
- Janocko, J., Landvik, J., Larsen, E. and Sejrup, H.P., 1997: Stratigraphy and sedimentology of Middle to Upper Pleistocene sediments in the new Grødeland borehole at Jæren, SW Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 77 87-100
- Janocko, J., Landvik, J., Larsen, E., Sejrup, H.P. and Steinsund, P.I., in press: Middle and Late Quaternary depositional history reconstructed from two boreholes at Lågjæren and Høgjæren, SW Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*
- King, E., Sejrup, H.P., Haflidason, H., Elverhøi, A. and Aarseth, I., 1996: Quaternary Seismic Stratigraphy of the North Sea Fan: Glacially-fed Gravity Flow Aprons, Hemipelagic Sedimentation, and Submarine Sliding. *Marine Geology* 130 293-315
- Longva, O. & Thorsnes, T., 1997: Skagerrak in the past and at the present - an intergrated study of geology, chemistry, hydrography and microfossil ecology. In *NGU Special. Publication No. 8*, 100 pp.
- Lønne, I., 1995: Sedimentary facies and depositional architecture of ice-contact glaciomarine systems. *Sedimentary Geology* 98
- Mauring, E. & Rønning, J.S. 1990: Refleksjonsseismiske målinger ved Oppstad på Jæren, Hå kommune, Rogaland. *NGU Rapport* 90.148.
- Miall, A.D., 1977: A Review of the Braided-River Depositional Environment. *Earth-Science Reviews* 13 1-62
- Sejrup, H.P., Aarseth, I., Haflidason, H., Løvlie, R., Bratten, Å., Tjøstheim, G., Forsberg, C.F. and Ellingsen, K.L., 1995: Quaternary of The Norwegian Channel: glaciation history and palaeoceanography. *Norsk Geologisk Tidsskrift.* 75 65-87

- Sejrup, H.P., Larsen, E., Landvik, J., King, E.L., Stalsberg, M., Stalsberg, K. and Jonsdottir, H.E., 1996a: Quaternary of Jæren and adjacent Norwegian Channel; Provenance, chronology and tectonic implication of ice stream deposition. *Report to Enterprise Oil Norge Ltd. University of Bergen.*
- Sejrup, H.P., King, E., Aarseth, I., Hafliðason, H. and Elverhøi, A., 1996b: Quaternary erosion and depositional processes: Western Norwegian fjords, Norwegian Channel and North Sea Fan. *In: DeBaptist, M. and Jacobs, P.: Geology of Siliciclastic Shelf Seas. Geological Society Special Publication 117, 187-202*
- Soldal, O. & Jæger, Ø., 1992: Grunnvann i Jæren-regionen. *NGU.*
- Soldal, O., Ragnhildstveit, J. and Jæger, Ø., 1992: Grunnvatn i Rogaland fylke. *NGU.*
- Stalsberg, K., 1995: Paleogeografisk rekonstruksjon basert på sedimentologiske, stratigrafiske og glasittektoniske studier av senkvartære lagrekker ved Skretting på Jæren. *Cand. scient., Tromsø*
- Storrø, G., 1997: Grunnvannsundersøkelser på Auestad, Grødal og Skretting i Hå kommune, Rogaland fylke. *NGU Rapport nr. 97.059*
- Tønnesen, J.F., 1996: Georadarmålinger på Jæren 1995 i Hå, Klepp, Sandnes og Time kommuner. *NGU Rapport nr. 96.064.*
- Wangen, O.P. & Lien, R., 1990: NÆRBØ. Kvartærgeologisk kart 1212 III - N 1:50 000, med beskrivelse. *NGU.*
- Østmo, S.R., 1974: Vannressurskart Stavanger, grunnvann. *NGU.*
- Østmo, S.R. & Olsen, K.S., 1986: STAVANGER 1212 IV, kvartærgeologisk kart, M. 1:50 000. *NGU.*



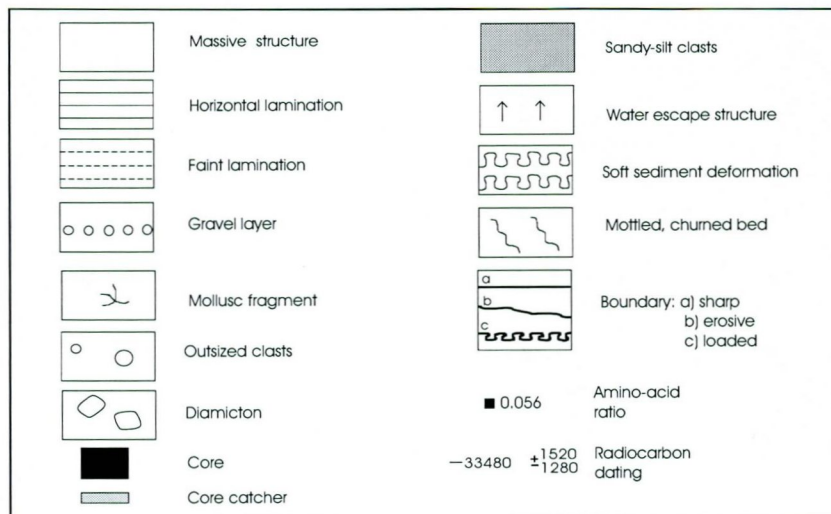
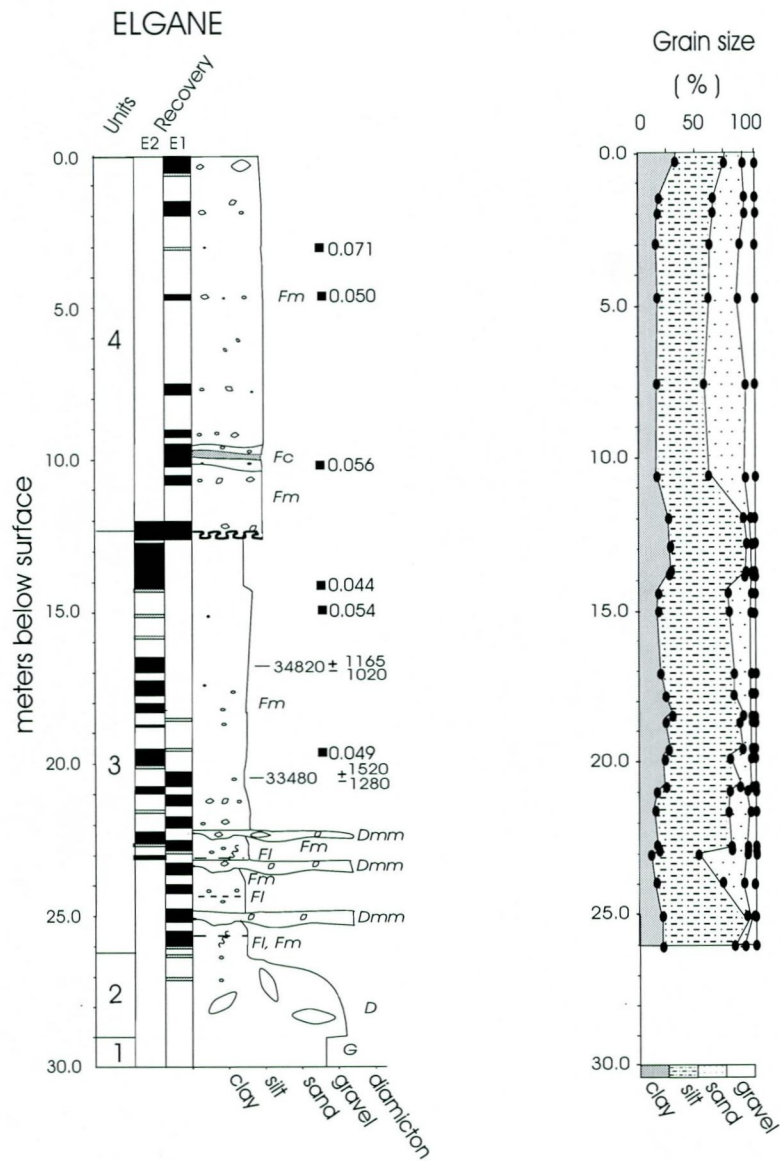


Fig. 2: Elgane. Detaljert logg fra stratigrafisk boring (Janocko *et al.* in press).

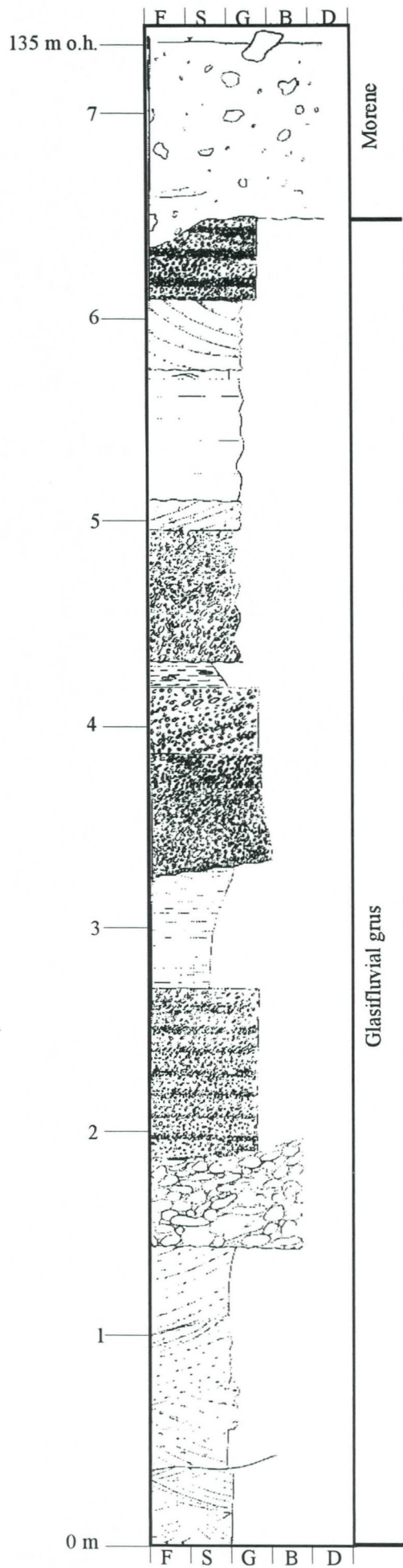


Fig. 3: Skretting. Snitt gjennom glasfluvialt materiale under morene (Stalsberg, 1995).

AUESTAD

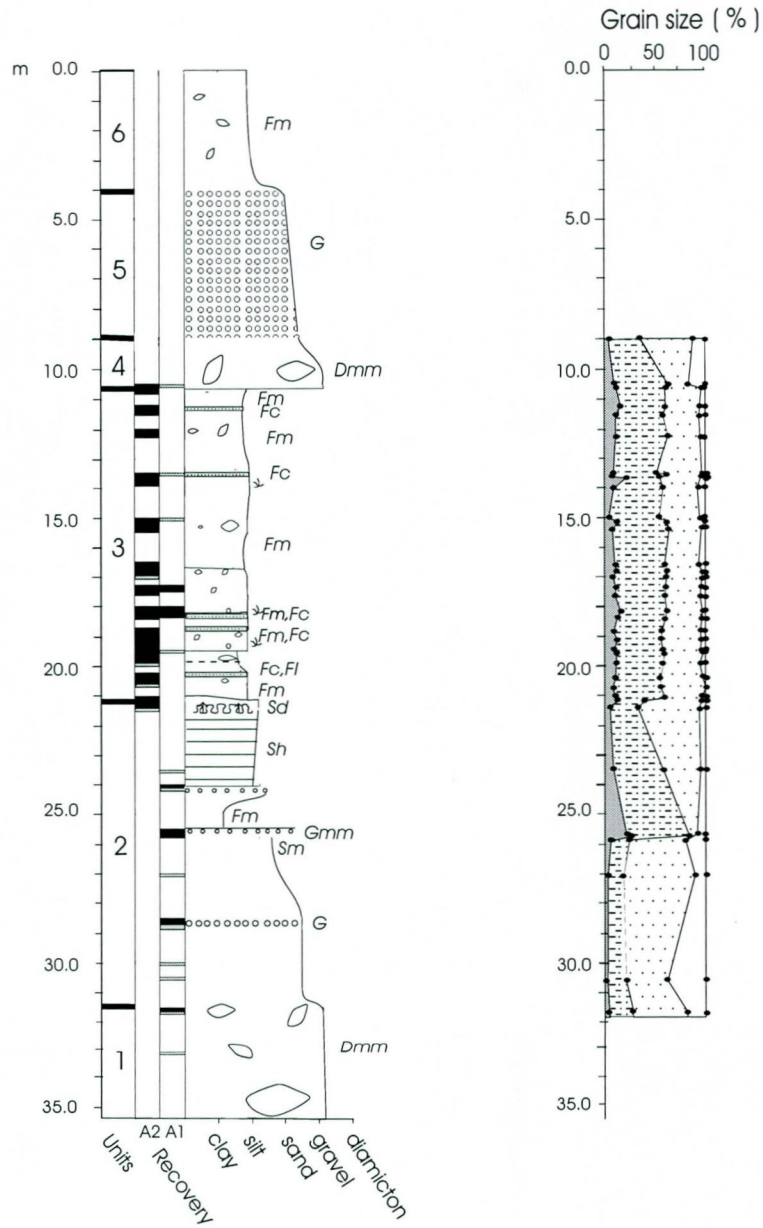


Fig. 4: Auestad. Detaljert logg fra boringen (Janocko *et al.* in press).
Se Fig. 2 for tegnforklaring.

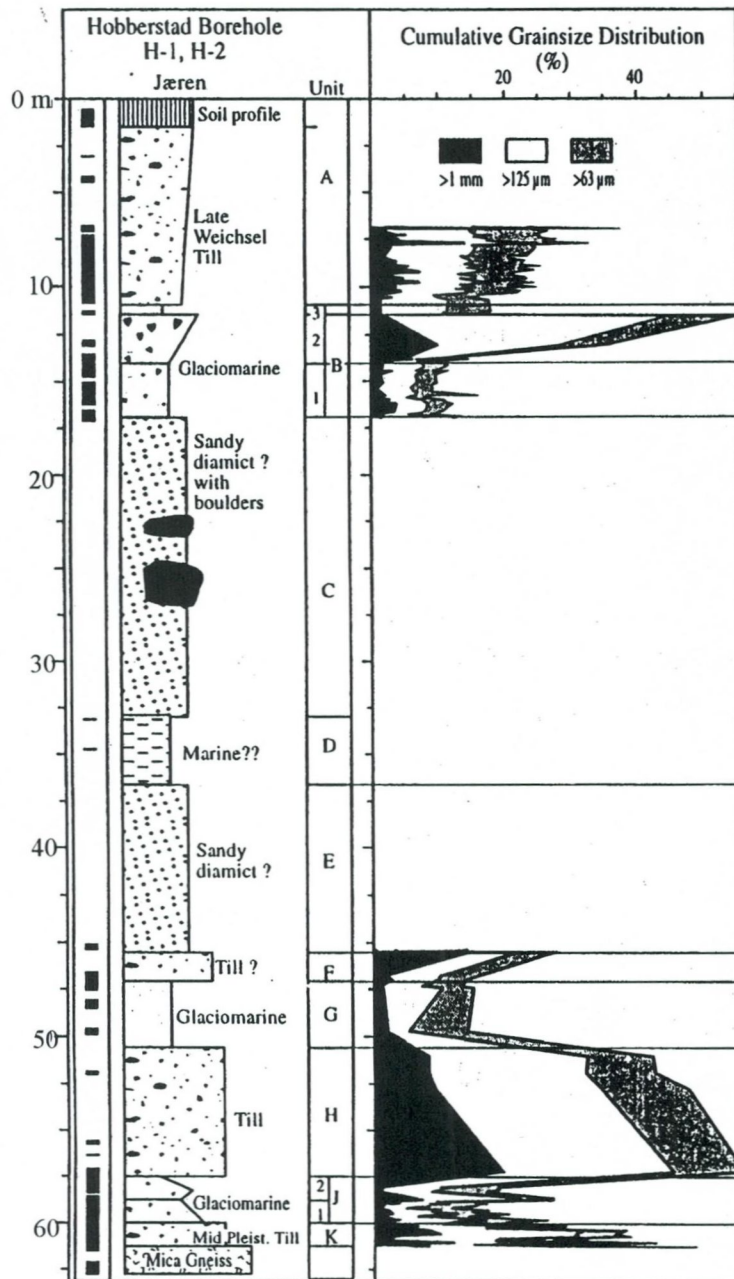


Fig. 5: Hobberstad. Litostratigrafisk logg fra boringen (Sejrup *et al.*, 1996).

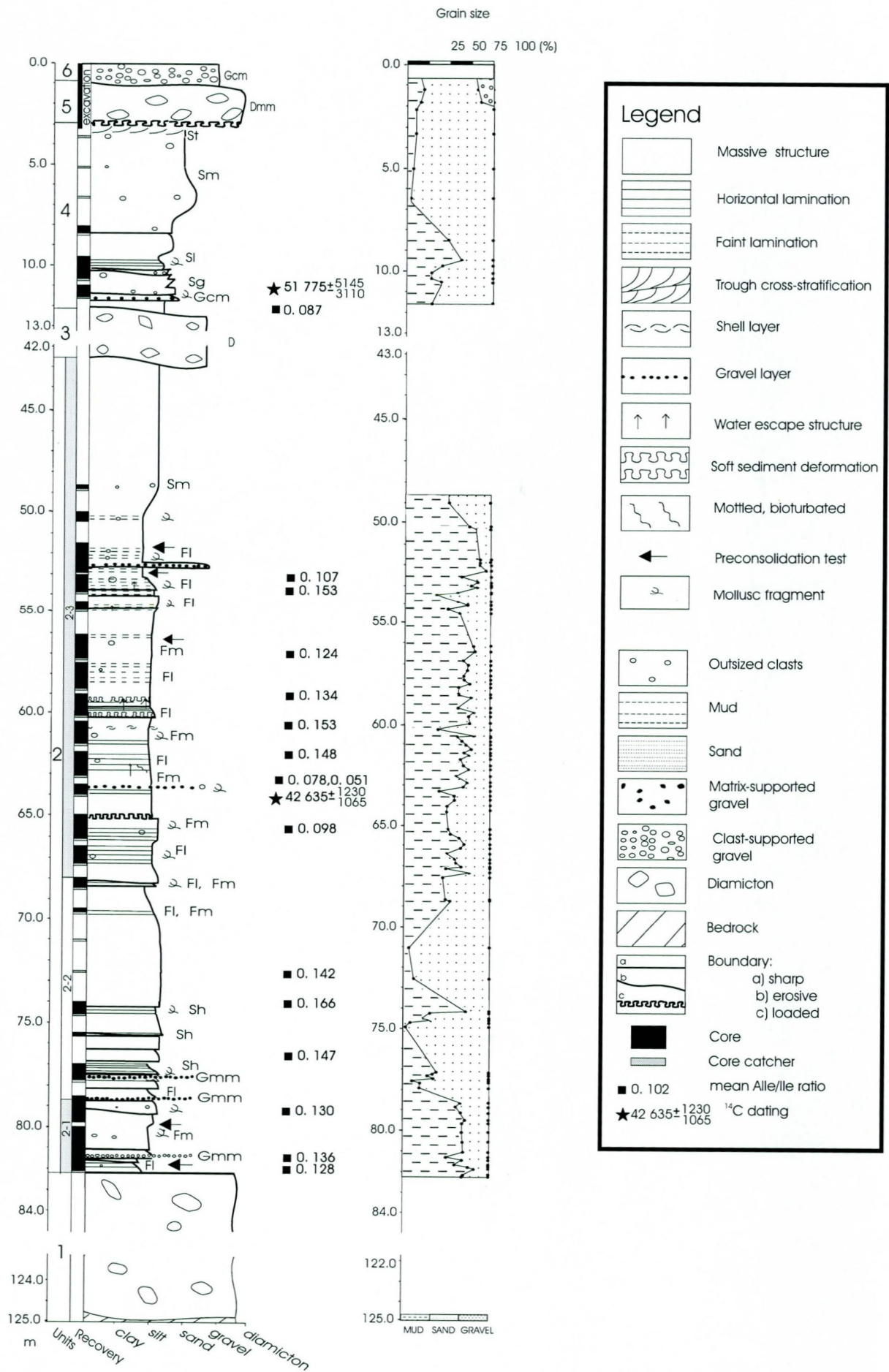


Fig. 6: Grødeland. Detaljert litostratigrafisk logg fra boringen (Janocko *et al.* 1997).

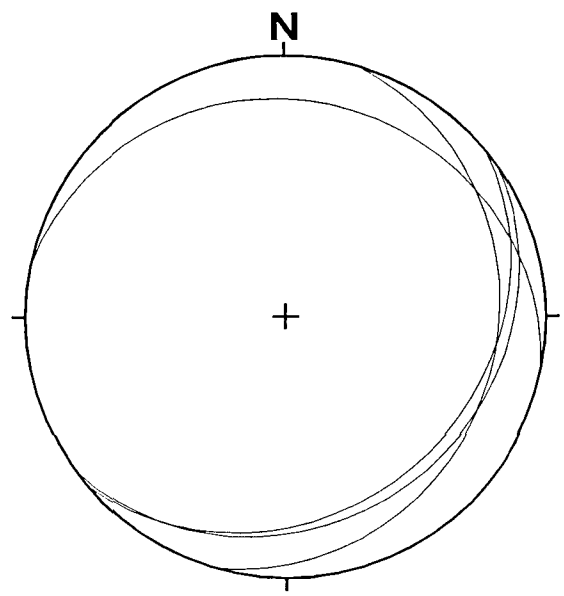
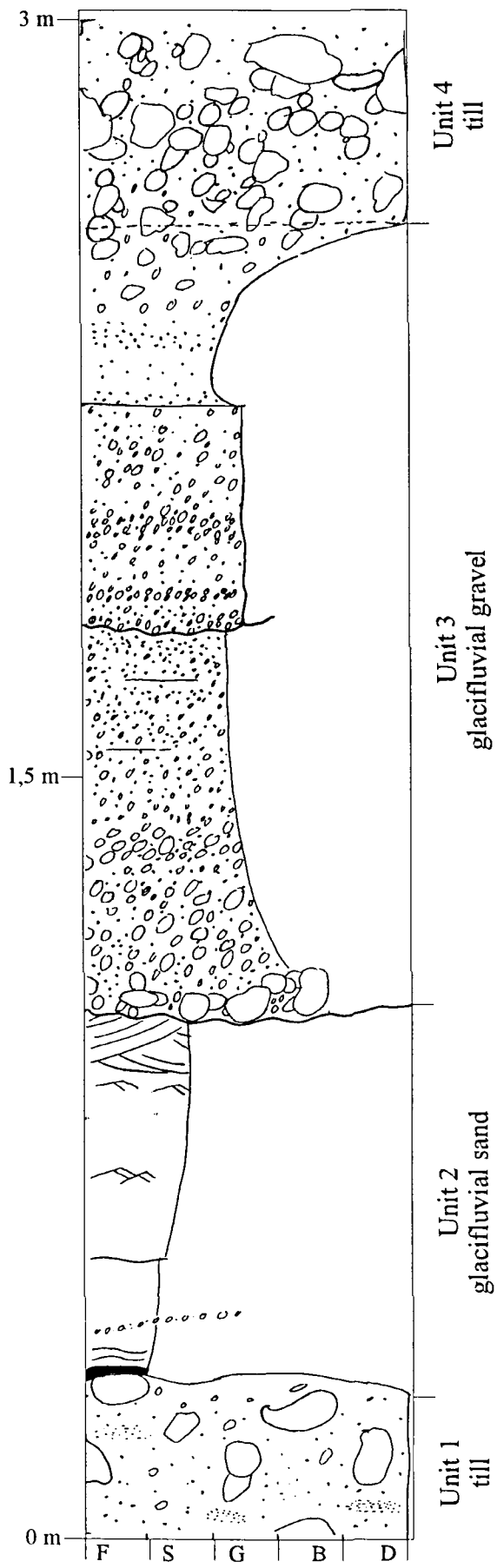


Fig. 7: Reime. Logg fra snitt gjennom glaci-fluvial grus og sand under morene. Stereonet viser lagstilling på kryssjiktet grus som indikerer avsetning mot sørøst.

REFLEKSJONSSEISMIKK - METODEBESKRIVELSE

Refleksjonsseismikk anvendt på løsmasser er tilpasning og modifisering av konvensjonelle refleksjonsseismiske teknikker. I mange tilfeller kan refleksjonsseismikk være et alternativ til refraksjonsseismikk ved undersøkelse av løsmassestratigrafi og fjelltopografi under løsmasser.

Oppløsning/dybderekkevidde

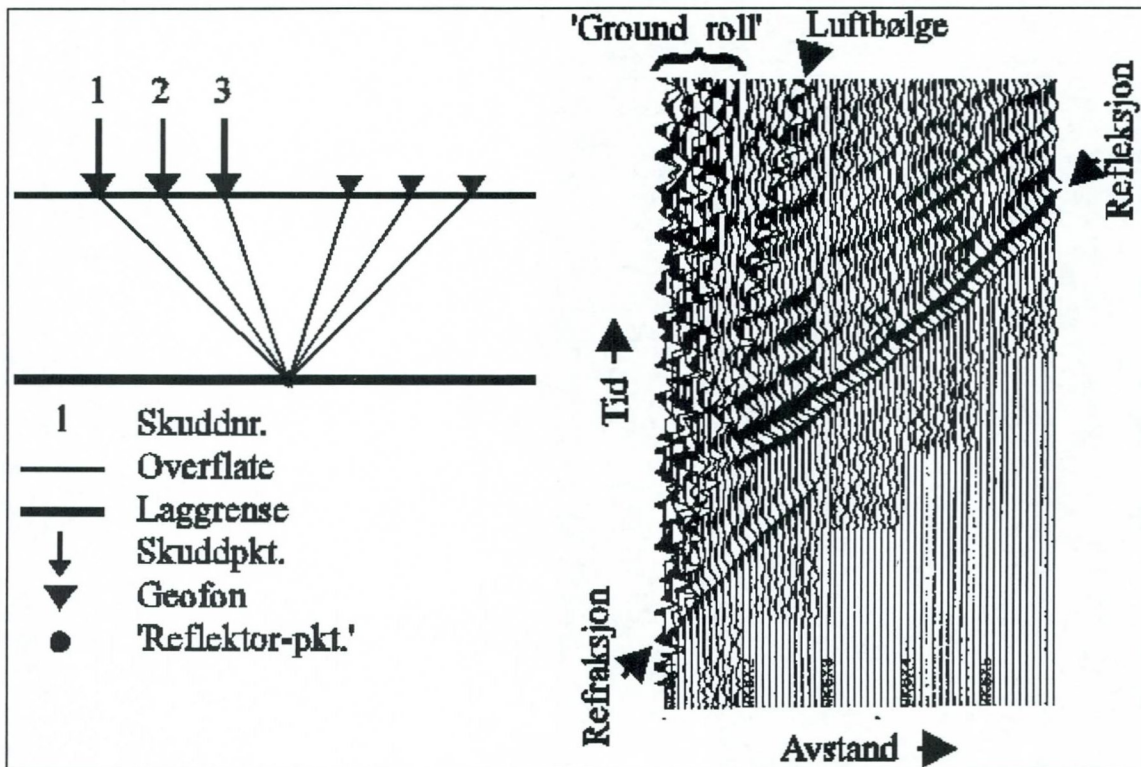
I løpet av de siste årene har det skjedd en utvikling av digitalt refleksjonsseismisk utstyr i retning av høyere oppløsning og mindre tidkrevende prosessering. Oppløsningen er proporsjonal med registrerte signalers frekvensinnhold og seismisk hastighet. Man anvender derfor energiseringskilder som gir høyfrekvent energi. Et eksempel på en slik kilde er haglpatroner avfyrt fra en spesiallagd bølge. Ytterligere framheving av høye frekvenser oppnås ved anvendelse av geofoner med høy egenfrekvens (50 eller 100 Hz), samt analog og digital frekvensfiltrering. En utvikling av seismografer i retning av økende dynamikkområde bidrar også til høyere oppløsning. Reflektorer kan under 'gunstige forhold' (se under) kartlegges på dyp i området 10 - flere hundre meter ved denne metoden. Ved en frekvens på 300 Hz og seismisk hastighet på 2000 m/s, kan man teoretisk sett skille lag med en mektighet større enn 2 m.

Anvendelse/Fordeler og ulemper

Anvendelsen av refleksjonsseismikk avhenger av god forplantning av høyfrekvent energi. Metoden egner seg derfor best der man ved overflaten har finkornige, vannmettede løsmasser. Dette gir best 'kobling' med bakken for skudd og geofoner. Metoden gir dårlige resultater ved grovkornige, tørre masser og over fyllinger og myr. Ved slike grunnforhold bør refraksjonsseismikk benyttes. I forhold til refraksjonsseismikk gir refleksjonsseismikk en mer direkte og detaljert avtegning av lag i jorda, og man har ikke de samme problemer med blindsonelag og hastighetsinversjon. Metoden gir derimot dårligere informasjon om lagenes seismiske hastigheter og tykkelser. Ønskes informasjon om lag grunnere enn 10 m, benyttes refraksjonsseismikk.

'Common depth point (CDP)'

Ved NGU har man tilpasset programvare og utrustning til en måleteknikk kalt 'common depth point'. Teknikken er skissert i figuren på neste side. Det velges en fast avstand mellom skudd og geofonrekke. Avstanden bør være så stor at overflatebølger (Rayleigh-bølger) og luftbølger, som alle betraktes som støy, ankommer geofonene etter signal fra den dypeste laggrense man vil kartlegge (se figur på neste side). Det registreres på 12 kanaler, som gir 6-fold dekning av hvert 'reflektor-punkt'. Et CDP-opptak oppnås ved at første skudd registreres på geofonene 1-12. Deretter flyttes skuddpunktet fram en avstand som tilsvarer geofonavstanden, og man registrerer på geofonene 2-13. Man 'skyver' altså geofonrekka framover i profilretningen. Som vi ser av figuren, oppnås en 6-fold dekning av hvert reflektorpunkt fra og med det sjette skuddet. Data fra hvert skudd blir lagret for seinere prosessering. En bemanning på 3 personer har vist seg å være optimal ved utførelsen av CDP-målinger. Når man benytter teknikken CDP, kan man under 'normale' forhold profilere 300-400 m pr. dag.



Figuren til venstre viser et opplegg for målinger ved 'common depth point'-teknikken. Figuren til høyre viser et utvalg av seismiske hendelser som er vanlige i et opptak.

Prosessering

Prosessering av CDP-data er meget tidkrevende, og krever en rask PD med stor lagringskapasitet. De viktigste prosesseringstrinn skal her skisseres;

1) Oppbygging av geometrifiler. Her leses inn navn på råopptaksfiler med tilhørende skuddpkt.-plassering. En kan her avgjøre om et opptak skal utelates ved CDP-sorteringen. Data for beregning av statistisk korreksjon kan også leses inn (statistisk korreksjon utføres for å fjerne effekten av ujevn topografi og variasjoner i hastighet i det øverste laget). Data om selve oppdraget/profilet leses inn og lagres i en parameterfil.

2) Editering av råopptak. Man ser på hvert opptak for å fjerne eventuelle traser (eng.: trace) med dårlig oppløsning eller dårlig signal/støy-forhold. Disse trasene vil da ikke benyttes ved stacking (se under) av data.

3) Bestemmelse av filterparametre. Prosesseringsprogrammene som benyttes kan utføre båndpassfiltrering, F-K-filtrering og dekonvolving ved sortering eller stacking. Det er oftest vanlig (og nødvendig) å utføre båndpassfiltrering. Ved båndpassfiltrering konstrueres et filter slik at man fjerner de frekvenser som ligger utenfor frekvensområdet for refleksjoner, og/eller de frekvenser som er representert i støy. F-K-filtrering og dekonvolving brukes bare unntaksvis ved prosesseringen, og omtales ikke nærmere.

4) Sortering av CDP-data. Ved sorteringen plukker man ut traser med felles midtpunkt og grupperer disse ('CDP gathers'). Filtrering kan utføres under sorteringen.

5) Hastighetsanalyse. Gjennomsnittlig seismisk hastighet ned til reflektorer bestemmes for enkelte 'CDP gathers'. Disse hastighetene benyttes ved NMO ('Normal Moveout') før stacking (se under). Hastighetsanalyse kan utføres på 3 forskjellige måter, der den vanligste er tilpasning av en hyperbel

over tydelige refleksjoner som framtrer i en 'CDP-gather'.

6) Muting. Utføres på 'CDP gathers' for å fjerne støy innenfor et tidsvindu som defineres av bruker. Vanlig støy kan være luftbølger fra skuddet, Rayleigh-bølger eller refraksjoner.

7) Stacking. Data for hver 'CDP gather' slås sammen etter at NMO-korreksjon er utført. Filtrering (båndpass, F-K eller dekonvolvering) kan utføres før eller etter stacking.

8) 'Residual statics'. Fjerner resterende effekt av ujevn topografi og variasjoner i hastighet i det øverste laget (se pkt. 1). Prosedyren er basert på at en gjennomgående, kraftig reflektor opptrer i den seismiske tidsseksjonen. Ved å legge en linje langs denne reflektoren, vil programmet gå inn på hver 'CDP gather' og justere trasene i tid slik at stackingen langs reflektoren/linjen blir optimal. Deretter må en på nytt utføre hastighetsanalyse og stacking. 'Residual statics' utgjør ofte siste trinn i prosesseringen.

Plotting

Ved plotting av seismisk seksjon benyttes AGC ('automatic gain control') for å normalisere amplituder og for å framheve svake reflektorer. Grafisk framstilles amplitudeutslag v.h.j.a. en kombinasjon av 'wiggle trace' og 'variable area' (som i figuren). Plottet kan skrives ut i bestemte filformat eller sendes direkte til skriver eller plotter. I tillegg til seismisk seksjon blir detaljer om oppdrag, opptaksparametre og prosessering skrevet ut.

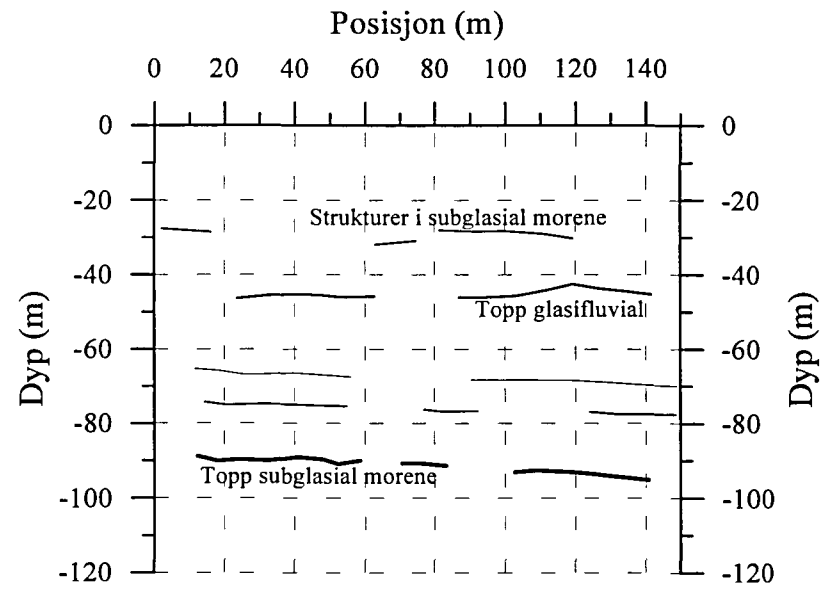
Tolkning

Tolkning av ferdig prosessert seismisk seksjon baserer seg på gjenkjenning og sammenknytning av refleksjoner. Sammenholdt med opplysninger om seismiske hastigheter avledes en geologisk modell, der man også trekker inn resultater fra eventuelle andre undersøkelser.

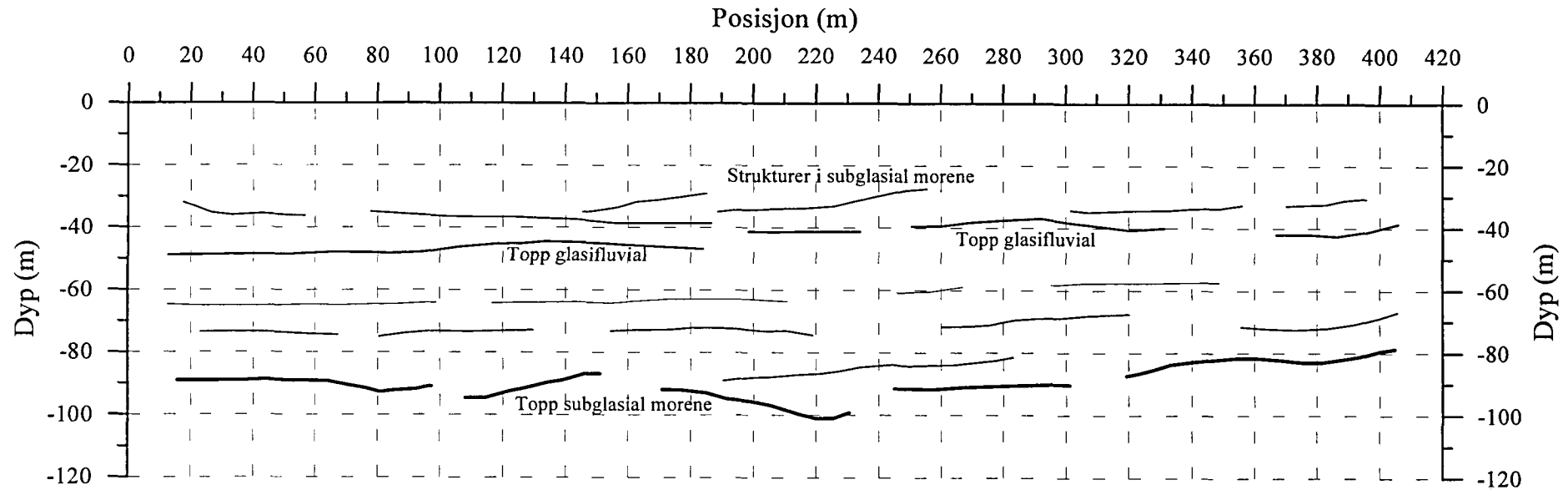
P-BØLGEHASTIGHET I NOEN MATERIALTYPER

<i>Luft</i>		<i>330 m/s</i>
<i>Vann</i>		<i>1400-1500 m/s</i>
<i>Organisk materiale</i>		<i>150-500 m/s</i>
<i>Sand og grus</i>	<i>- over vannmettet sone</i>	<i>200-800 m/s</i>
<i>Sand og grus</i>	<i>- i vannmettet sone</i>	<i>1400-1700 m/s</i>
<i>Morene</i>	<i>- over vannmettet sone</i>	<i>700-1500 m/s</i>
<i>Morene</i>	<i>- i vannmettet sone</i>	<i>1500-1900 m/s</i>
<i>Hardpakket bunnmorene</i>		<i>1900-2800 m/s</i>
<i>Leire</i>		<i>1100-1800 m/s</i>
<i>Oppsprukket fjell</i>		<i>< 4000 m/s</i>
<i>Fast fjell</i>		<i>3500-6000 m/s</i>

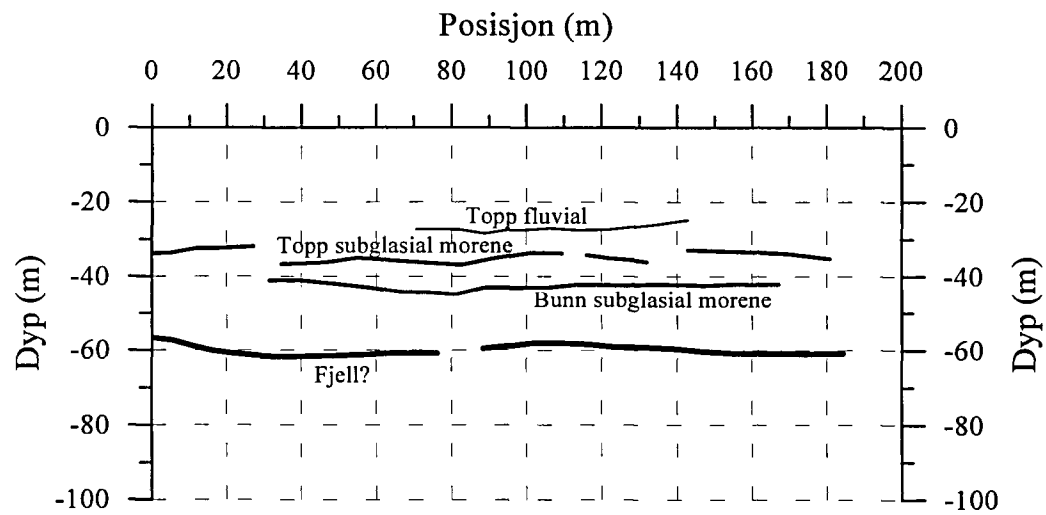
GRØDALAND, digitaliserte reflekterer, P1



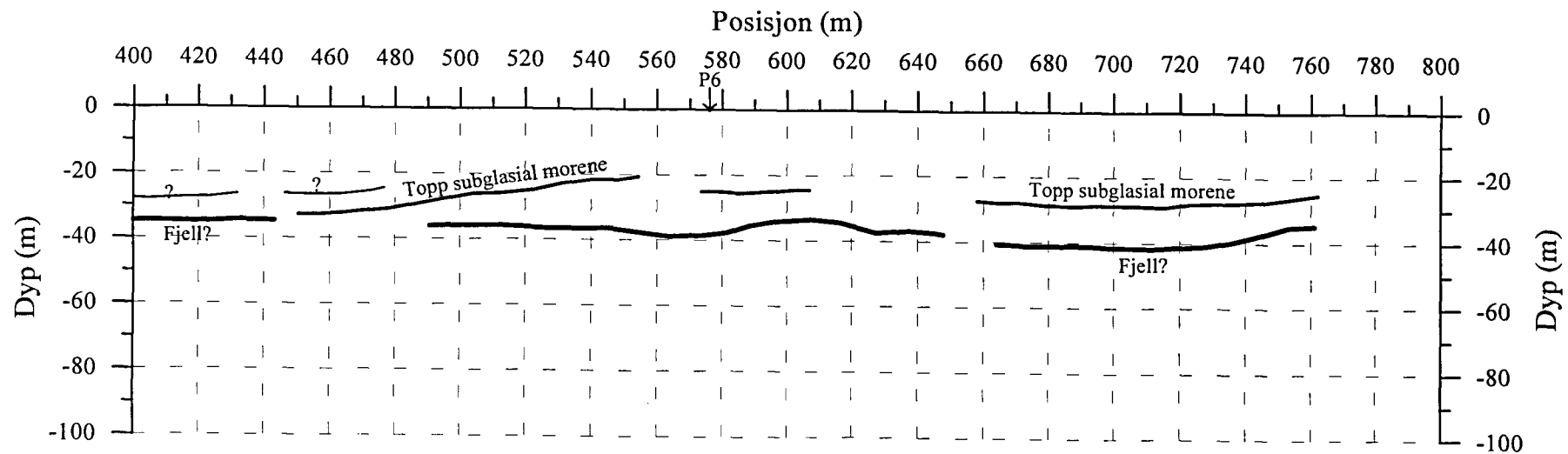
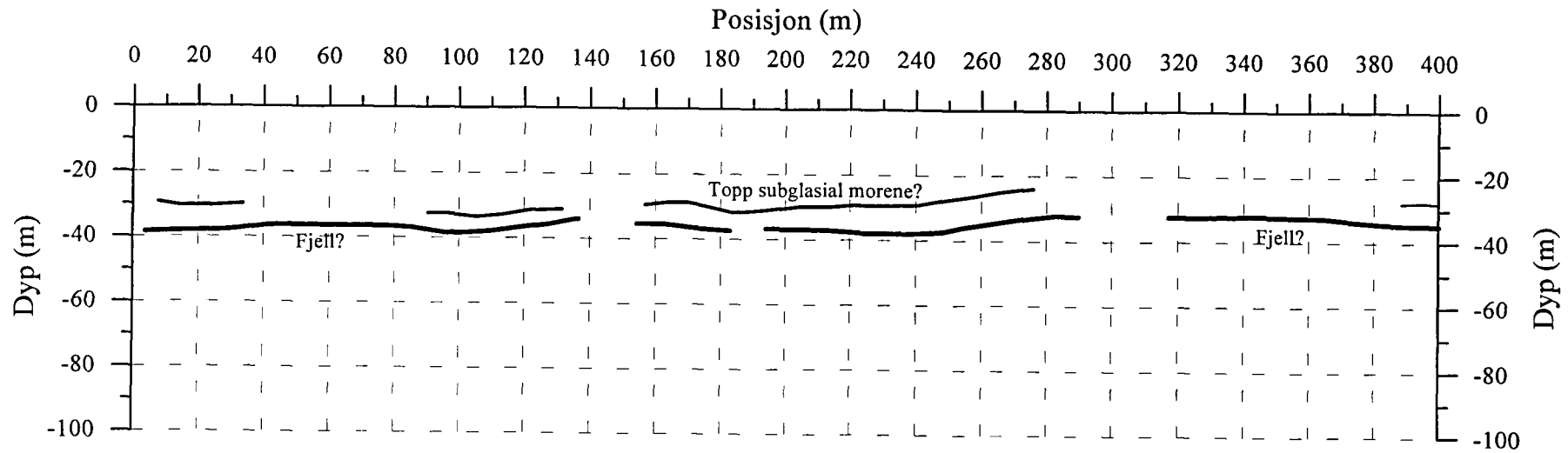
GRØDALAND, digitaliserte reflektorer, P2



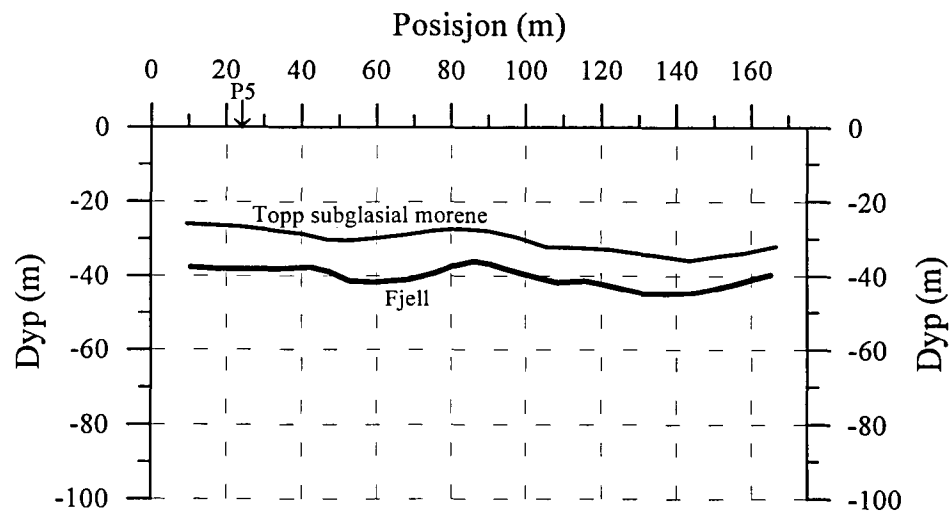
AUESTAD, digitaliserte reflektorer, P4



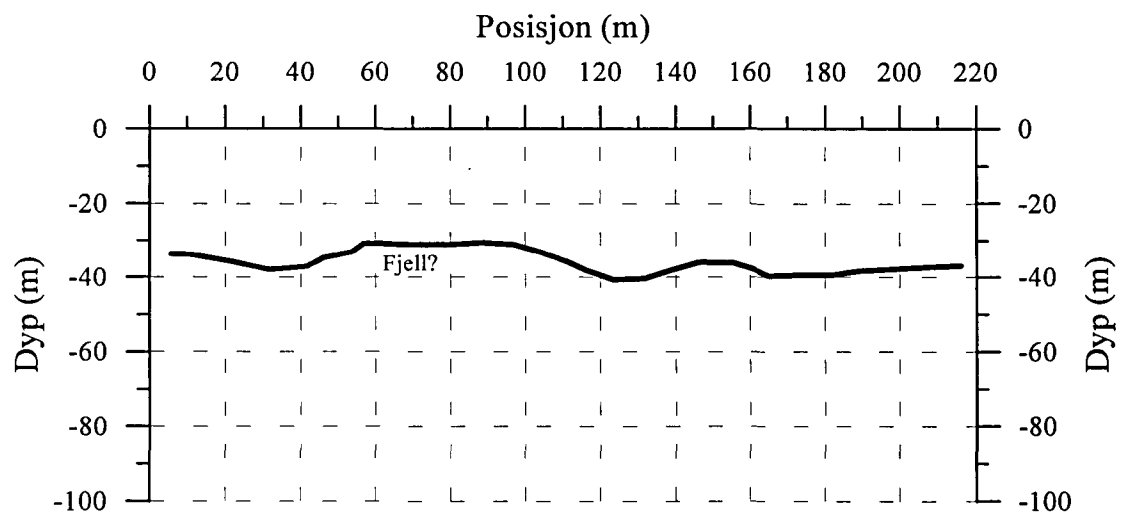
ELGANE, digitaliserte reflektorer, P5

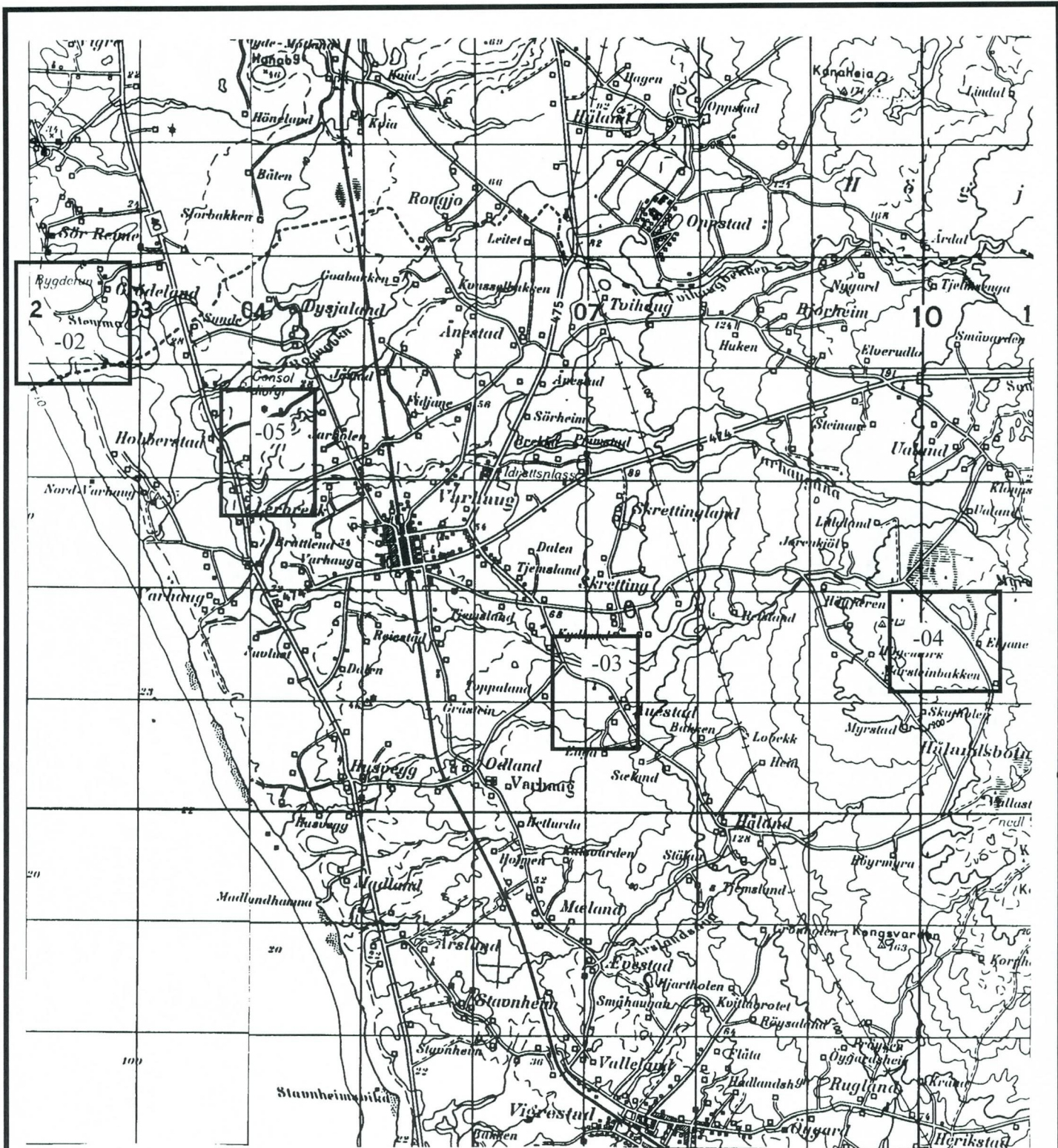


ELGANE, digitaliserte reflektorer, P6



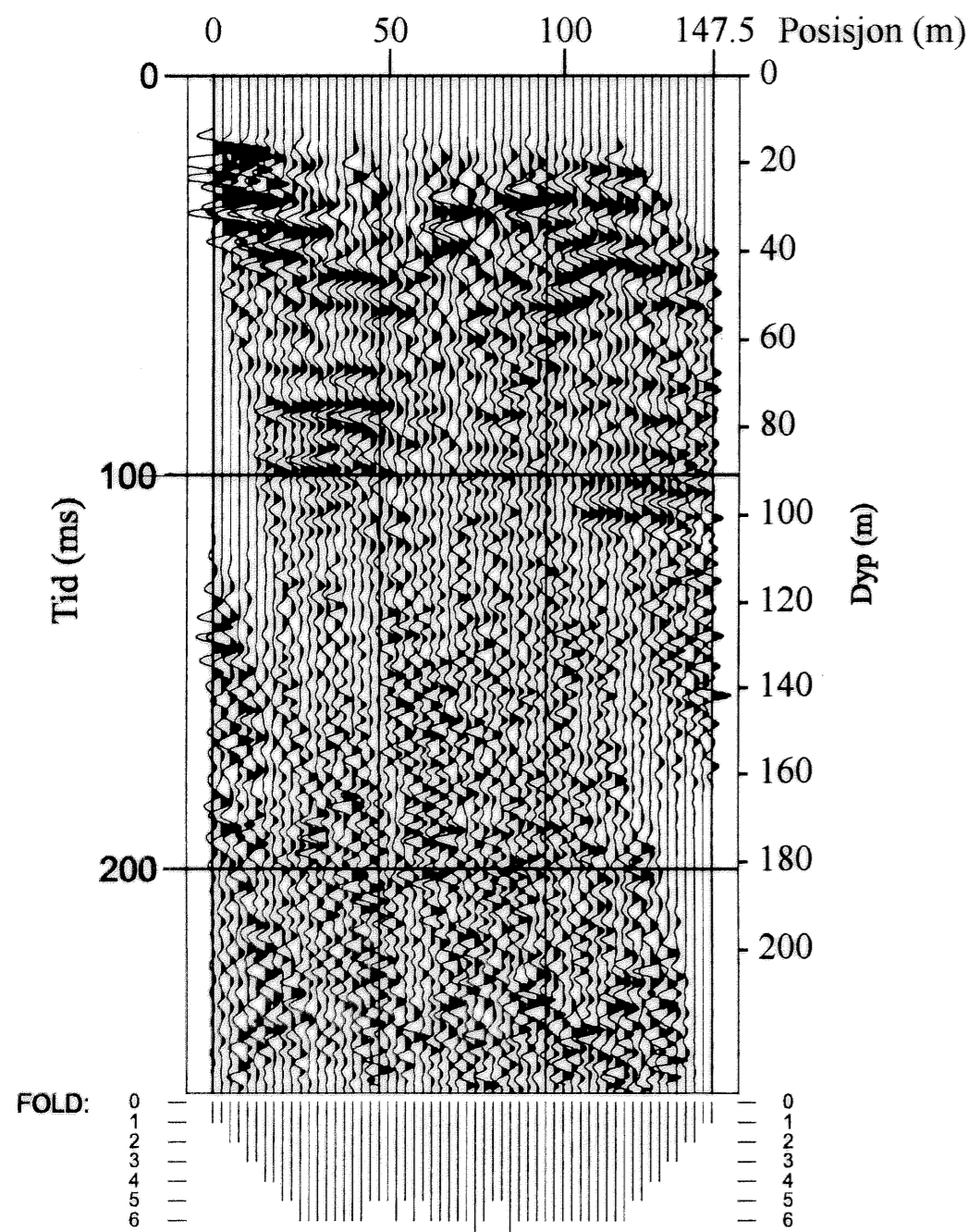
LERBREKK, digitaliserte reflektorer, P7



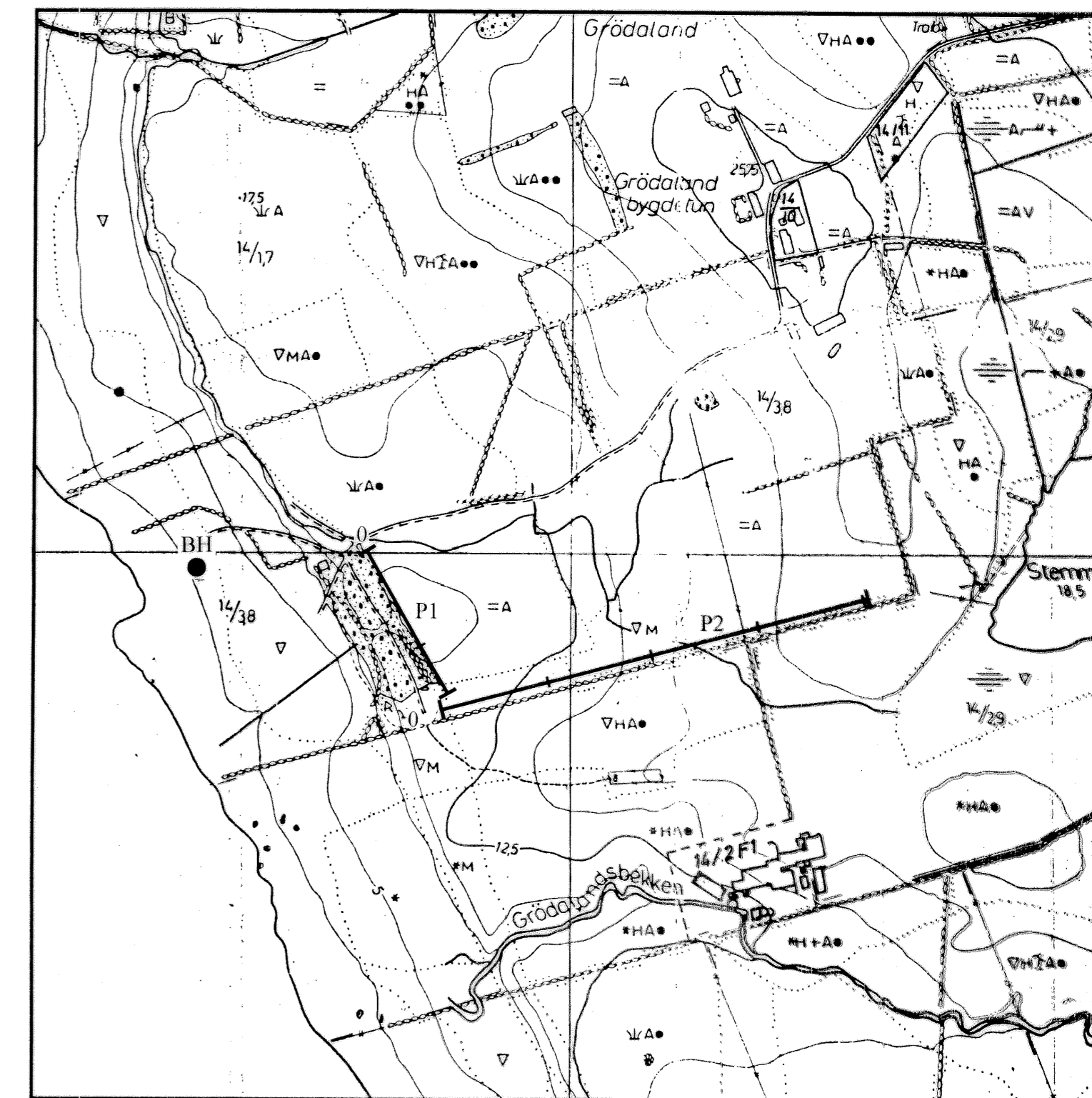
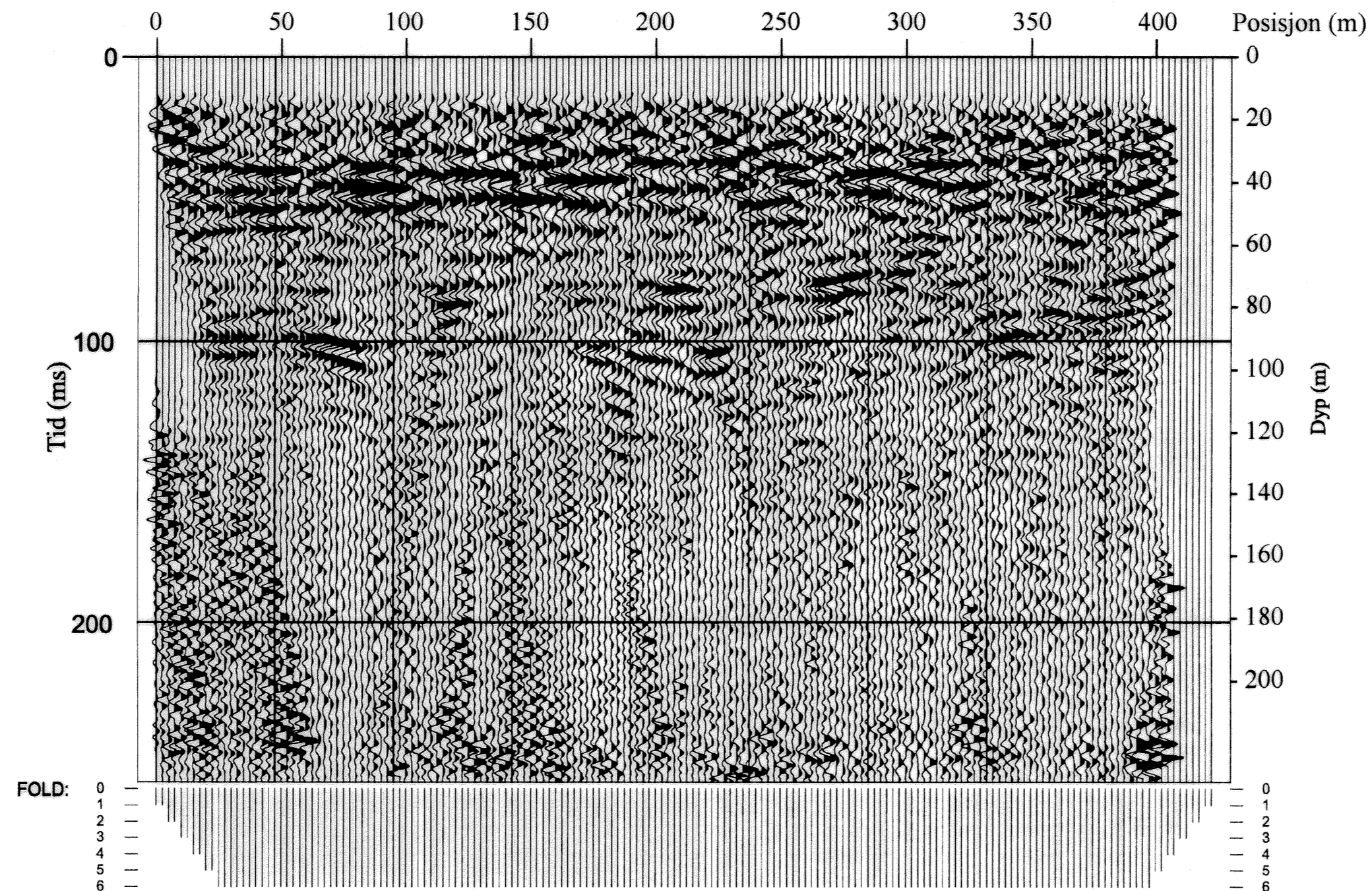


NGU/Norges Forskningsråd/UiB OVERSIKTSKART, UNDERSØKTE OMRÅDER JÆREN HÅ KOMMUNE, ROGALAND	MÅLESTOKK	MÅLT JSR	Aug. -96
	1:50 000	TEGN EM	Sept. -96
		TRAC	
		KFR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 97.028-01	KARTBLAD NR 1212 III	

P1



P2

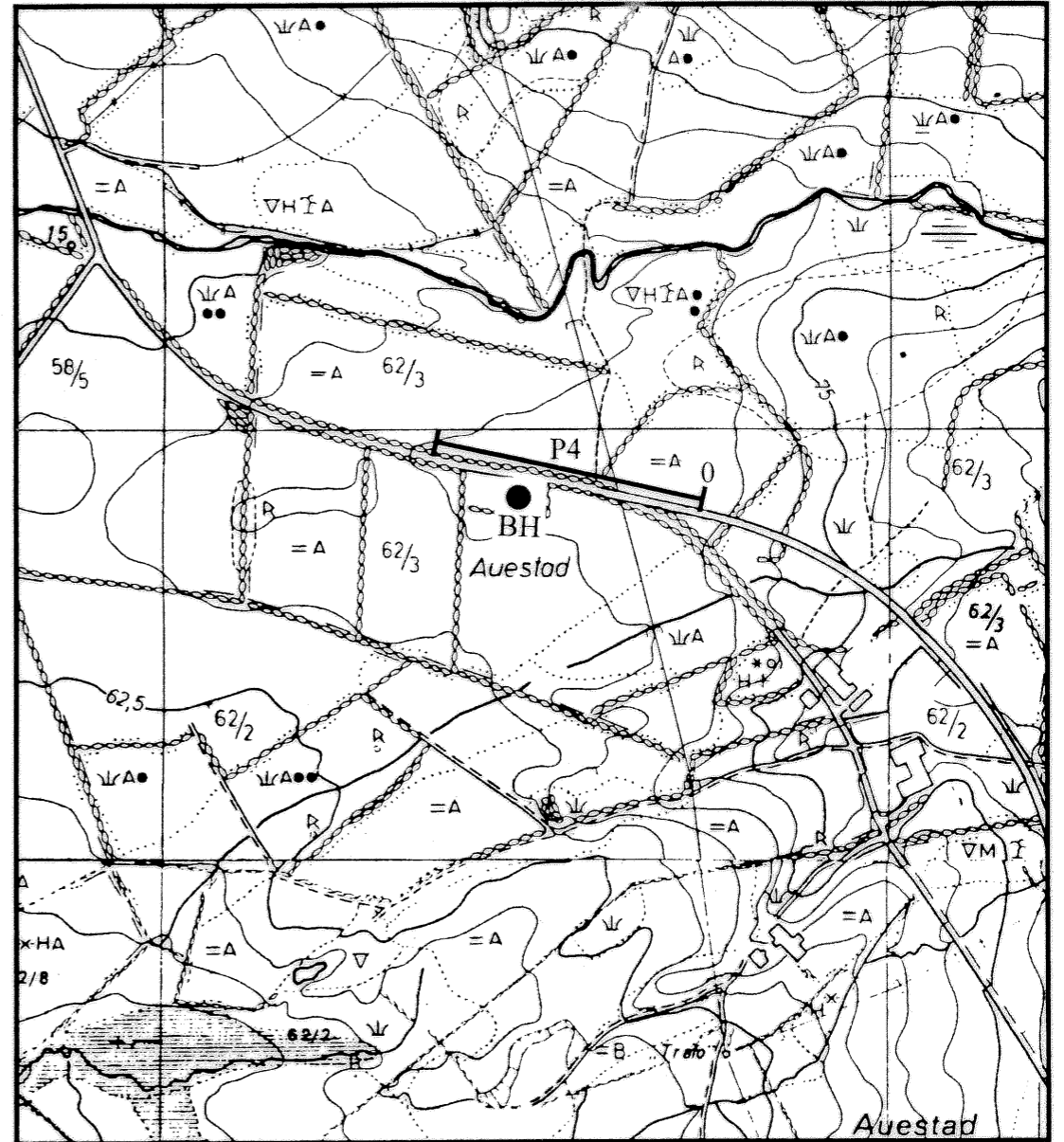
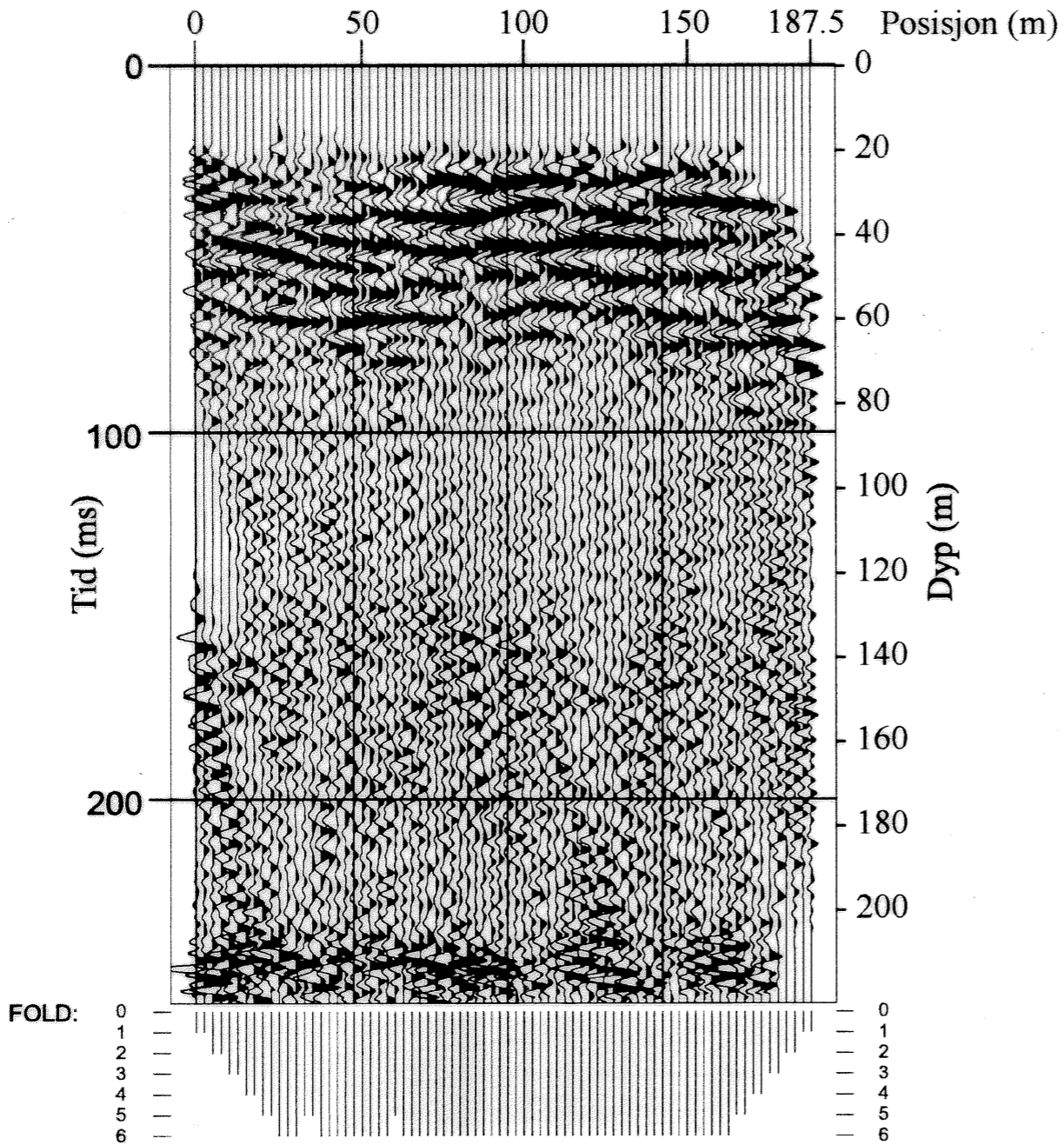


Refleksjonsseismisk profil med startposisjon og markering for hver 100 meter

BH ● Borhull

NGU REFLEKSJONSSEISMISKE OPPTAK, P1 OG P2 GRØDALAND, JÆREN HÅ KOMMUNE, ROGALAND	MÅLESTOKK	MÅLT JSR	Aug. -96
	1:5000 (Kart)	TEGN EM	Sept. -96
TRAC			
KFR			
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 97.028-02	KARTBLAD NR 1212 III	

P4



P4 0 Refleksjonsseismisk profil med startposisjon

● Borhull
BH

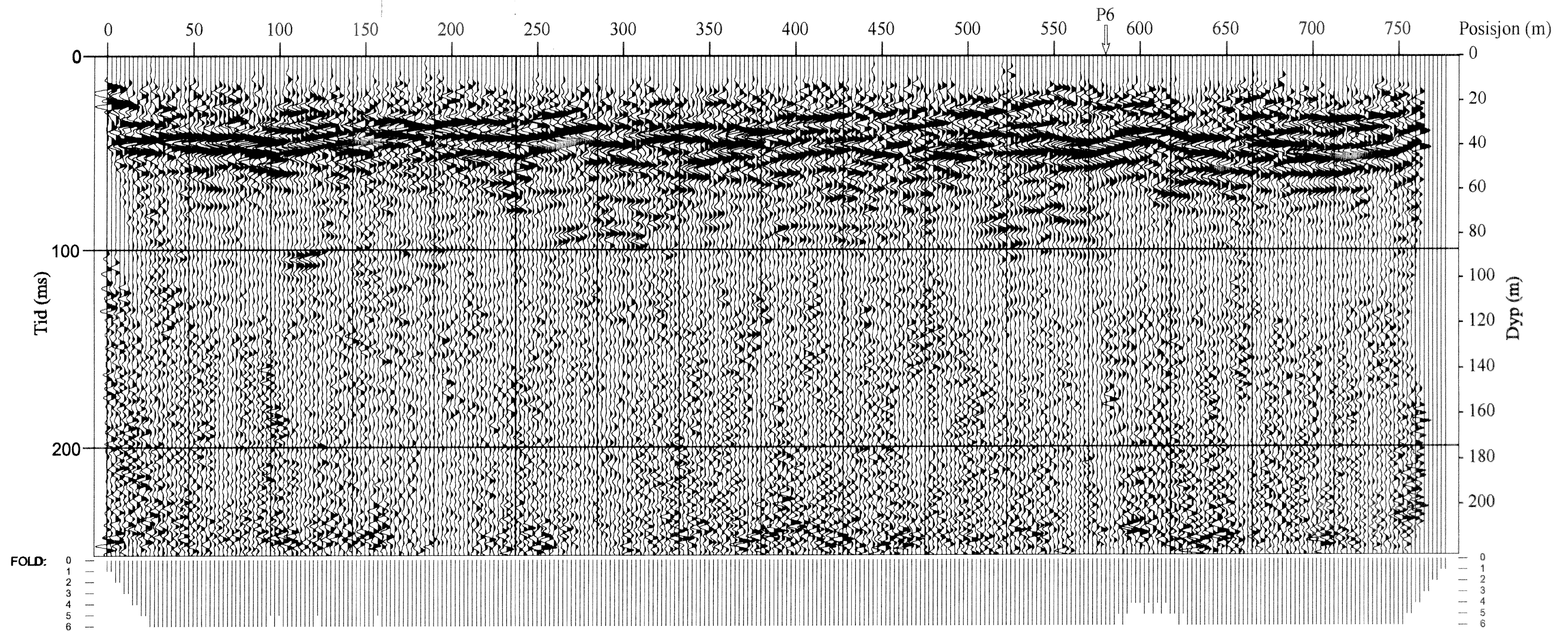
NGU
REFLEKSJONSSEISMISK OPPTAK, P4
AUESTAD, JÆREN
HÅ KOMMUNE, ROGALAND

MÅLESTOKK 1:5000 (Kart)	MÅLT JSR	Aug. -96
	TEGN EM	Sept. -96
	TRAC	
	KFR	

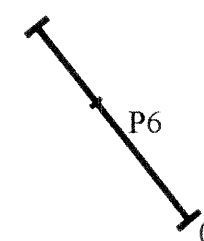
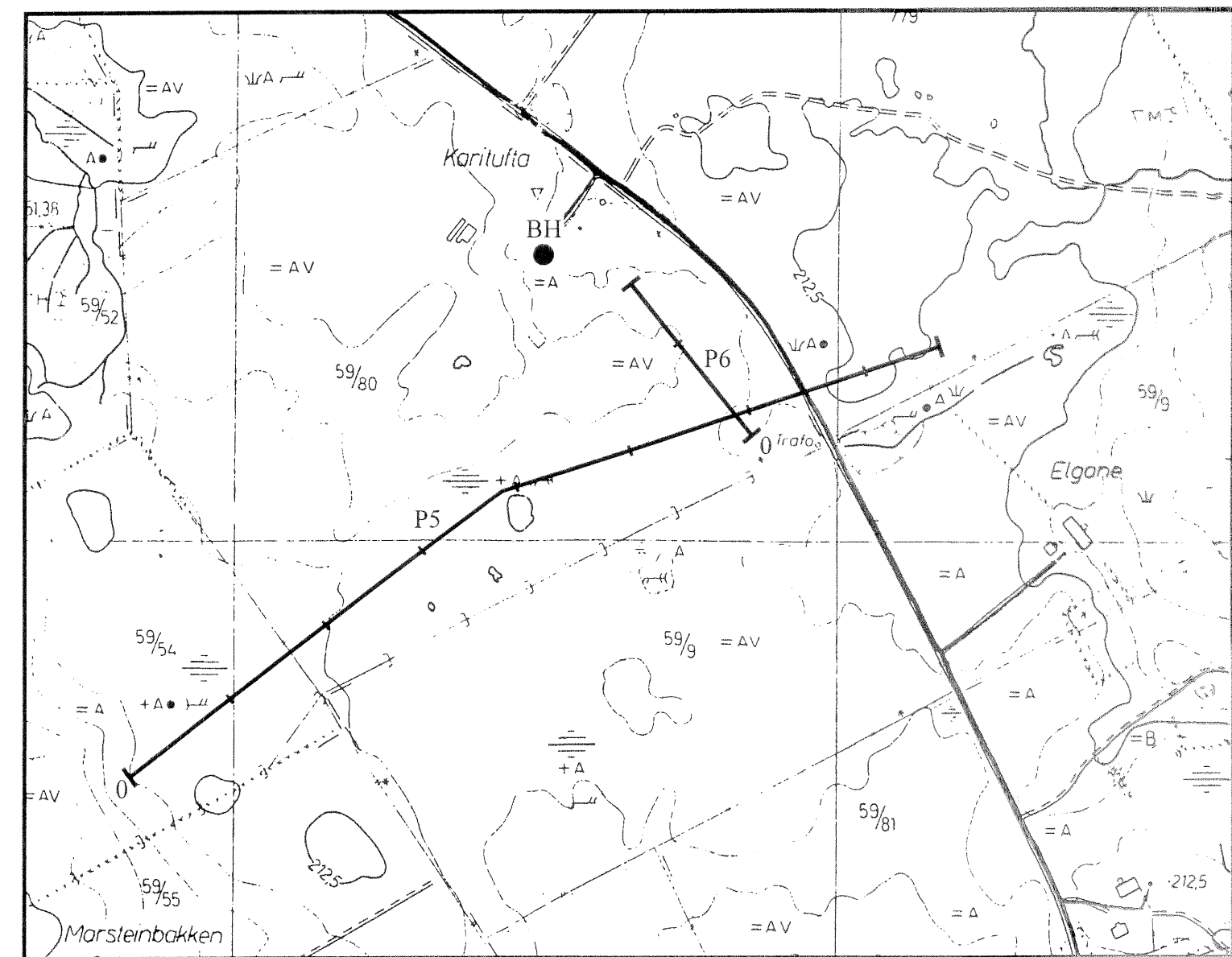
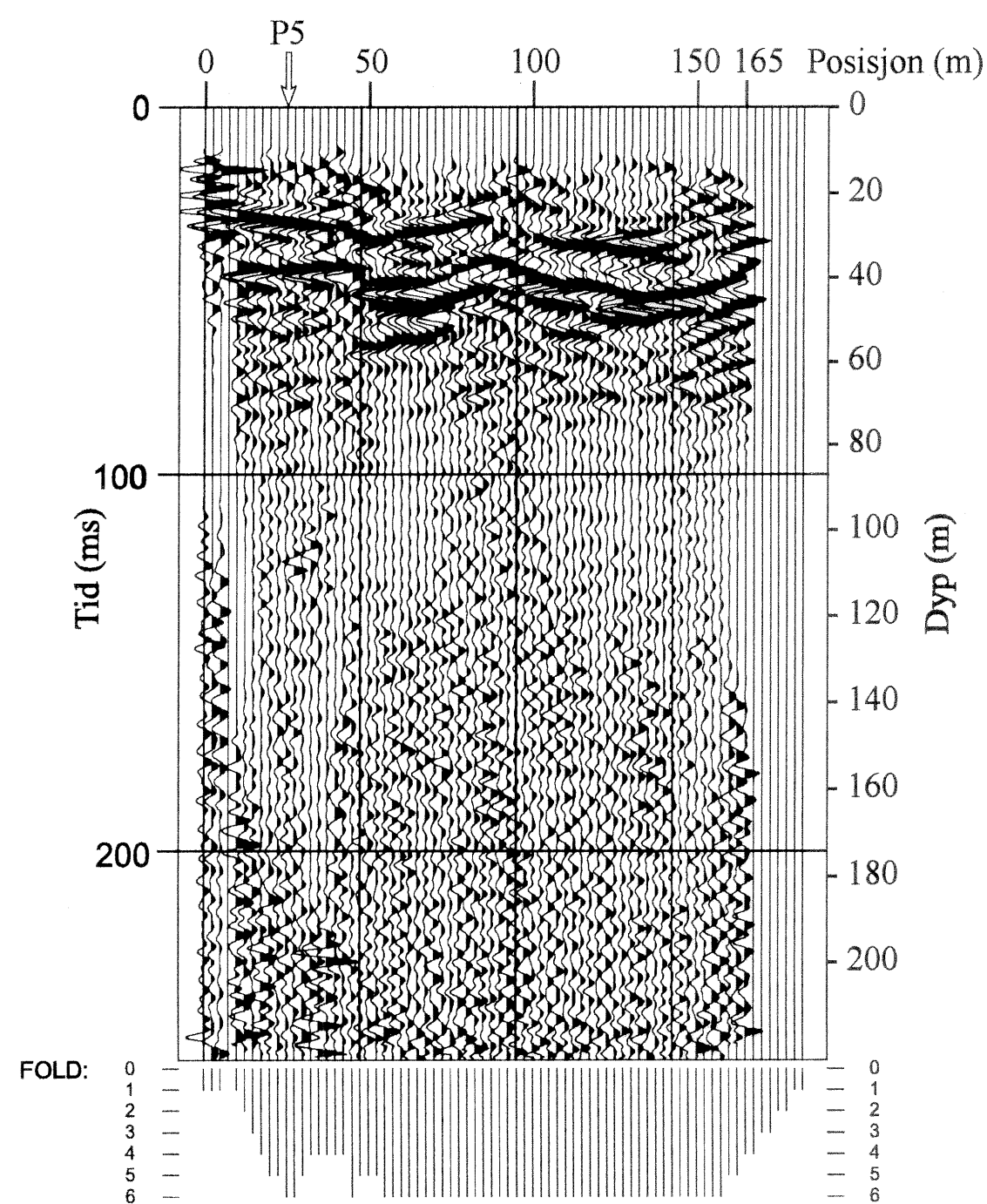
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

TEGNING NR 97.028-03	KARTBLAD NR 1212 III
-------------------------	-------------------------

P5



P6



Refleksjonsseismisk profil med startposisjon og markering for hver 100 meter

BH
● Borhull

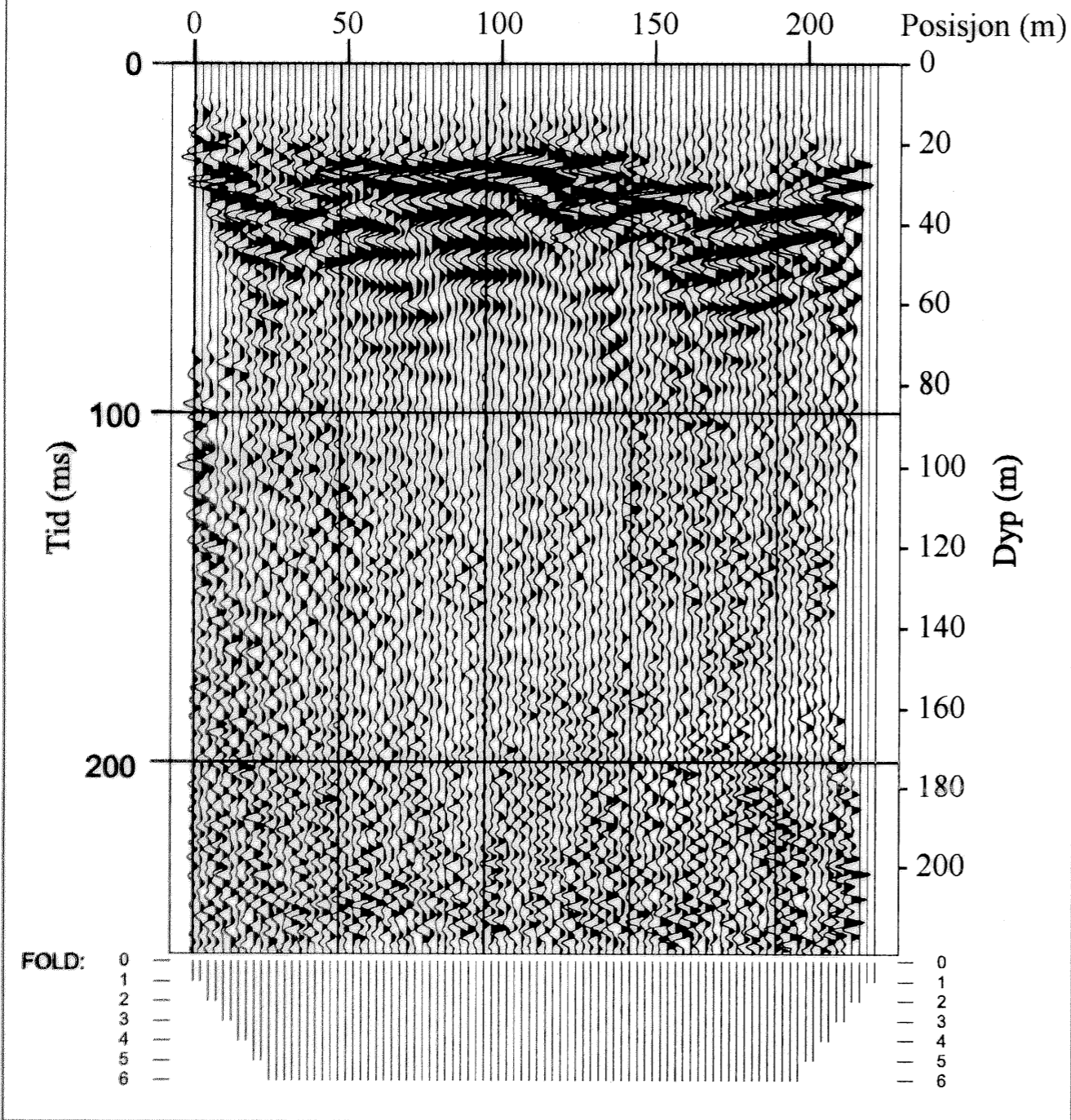
NGU
GEORADAROPPTAK, P5 OG P6
ELGANE, JÆREN
HÅ KOMMUNE, ROGALAND

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

MÅLESTOKK 1:5000 (Kart)	MÅLT JSR	Aug. -96
	TEGN EM	Sept. -96
	TRAC	
	KFR	

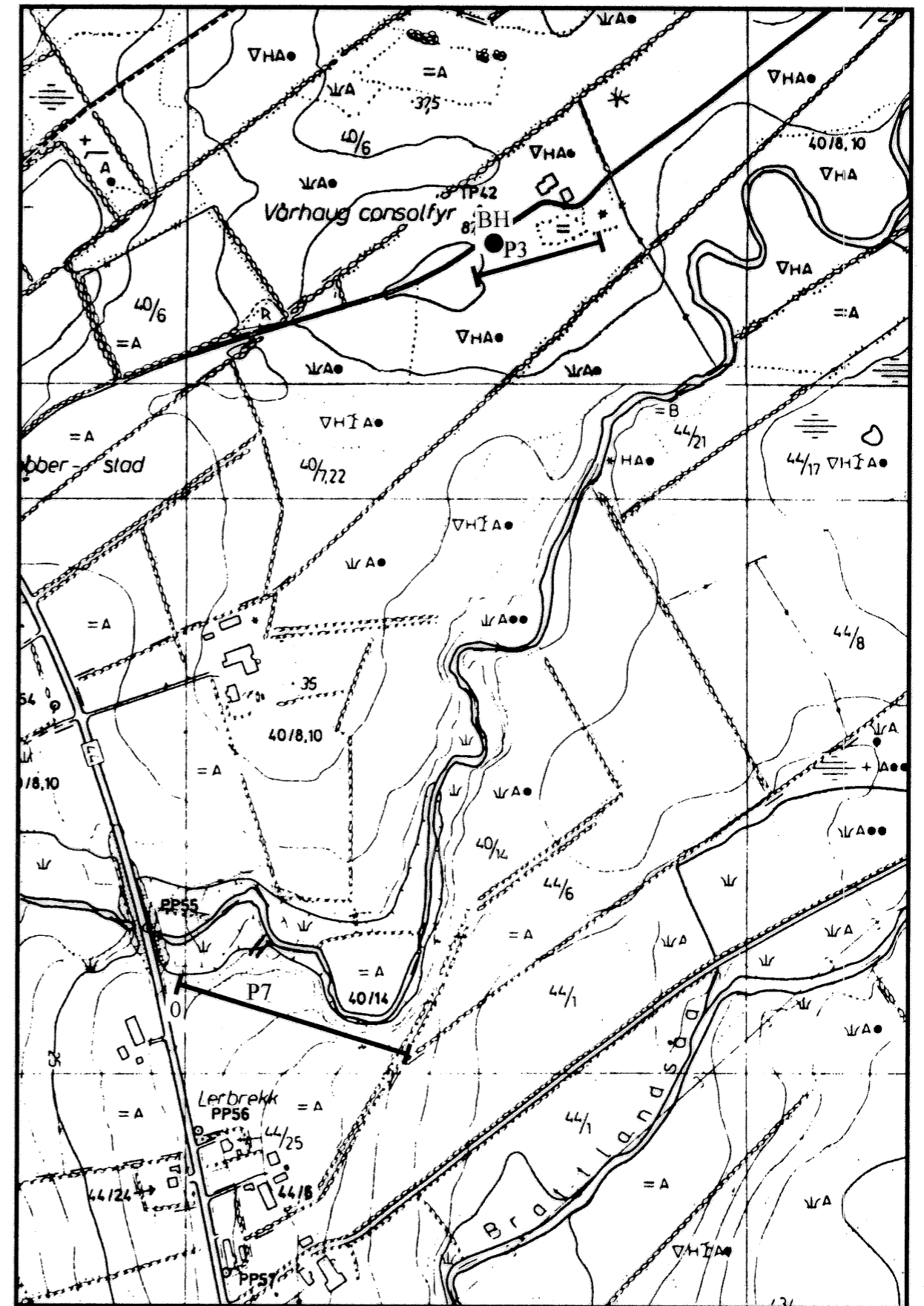
TEGNING NR 97.028-04	KARTBLAD NR 1212 III
-------------------------	-------------------------

P7



Refleksjonsseismisk profil med startposisjon

BH ● Borhull



NGU REFLEKSJONSSEISMISK OPPTAK, P7 LERBREKK HÅ KOMMUNE, ROGALAND	MÅLESTOKK	MÅLT JSR	Aug. -96
	1:5000 (Kart)	TEGN EM	Sept. -96
TRAC			
KFR			
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR	KARTBLAD NR	
	97.028-05	1212 III	