

NGU Rapport 95.052

Testmålinger med georadar
utført på Haslemoen,
Våler kommune, Hedmark

Rapport nr. 95.052		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Testmålinger med georadar utført på Haslemoen, Våler kommune, Hedmark.				
Forfatter: Eirik Muring, Janusz Koziel & Jan S. Rønning		Oppdragsgiver: NGU		
Fylke: Hedmark		Kommune: Våler		
Kartbladnavn (M=1:250.000) Hamar		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 2016 II Flisa		
Forekomstens navn og koordinater: Haslemoen 32V 6570 6725		Sidetall: 21		Pris: 220,-
		Kartbilag: 7		
Feltarbeid utført: Oktober 1993	Rapportdato: 28/8-1995	Prosjektnr.: 63.2586.00	Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i>	
<p>Sammendrag:</p> <p>Det er utført georadarmålinger langs 6 profiler på Haslemoen. Hensikten med målingene var å undersøke hvilken innvirkning valg av senderspenning og antennefrekvens har på EM-bølgers signal/støy-forhold, penetrasjonsdyp og oppløsning.</p> <p>Resultatene viser at målinger med 1000 V sender generelt gir høyere signal/støy-forhold enn 400 V sender i det området som er undersøkt. Selv om penetrasjonsdypet generelt sett er høyere ved 1000 V sender, er det marginal forskjell i penetrasjonsdyp for 400 V og 1000 V sender der en har godt ledende materiale.</p> <p>Målinger med 200 MHz antenner ga jevnt over dårlige resultater i det undersøkte området. Grunne lag kom imidlertid meget godt fram på 200 MHz-opptakene på grunn av langt bedre vertikal oppløsning enn det som oppnås med 50 MHz antenner. Grunnvannsspeil og bunnen av koppjordlag opptrådte som distinkte reflektorer. Disse lå for grunt til at de kunne sees tydelig på 50 MHz-opptakene. En antenne senterfrekvens på 50 MHz med 1000 V sender viste seg å være best egnet til å kartlegge løsmassestrukturer og fjelltopografi i dette området.</p> <p>Undersøkelsen viser at det er for stort sprang mellom 50 MHz- og 200 MHz-antennene når det gjelder penetrasjonsdyp og oppløsning, og at NGU derfor bør anskaffe 100 MHz antenner.</p>				
Emneord: Geofysikk		Kvartærgeologi		
Georadar				
Metode		Fagrapport		

INNHOOLD

1 INNLEDNING.....	4
2 MÅLEMETODE OG UTFØRELSE.....	4
2.1 Senderspenning	4
2.2 Antenne senterfrekvens	5
2.3 Utførelse.....	7
3 RESULTATER OG DISKUSJON	7
4 KONKLUSJON	13
REFERANSER.....	14

Tekstbilag

1. Georadar - metodebeskrivelse

Databilag

1. Utsnitt av P1 (200 MHz)
2. Utsnitt av P2 (200 MHz)
3. Utsnitt av P3 (200 MHz)
4. Utsnitt av P4 (200 MHz)
5. Utsnitt av P5 (200 MHz)
6. Utsnitt av P6 (200 MHz)

Kartbilag

- 95.052-01: Oversiktskart, Haslemoen
- 95.052-02: Georadaropptak, profil P1
- 95.052-03: Georadaropptak, profil P2
- 95.052-04: Georadaropptak, profil P3
- 95.052-05: Georadaropptak, profil P4
- 95.052-06: Georadaropptak, profil P5
- 95.052-07: Georadaropptak, profil P6

1 INNLEDNING

Det er utført georadarmålinger langs 6 profiler på Haslemoen, Våler kommune, Hedmark. Målingene er utført som en del av NGU-prosjektet 'FOU miljøgeofysikk'. Formålet med målingene var å undersøke hvilken innvirkning valg av senderspenning og antennefrekvens har på signal/støyforhold, penetrasjonsdyp og oppløsning. Målingene ble utført av Janusz Koziel i oktober 1993.

2 MÅLEMETODE OG UTFØRELSE

Selv om det står noe informasjon om georadar i tekstbilag 1, er det nødvendig å utdype enkelte tema som har betydning for å forstå effekter av endret senderspenning og/eller oppløsning.

2.1 Senderspenning

Økning av senderspenning medfører en økning i georadarsystemets ytelse. Sammenhengen er som følger;

$$Q = 10 \log_{10} \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 = 20 \log_{10} \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \quad (1)$$

Q = systemets ytelse (dB)

A₁ = senderspenning (V)

A₂ = mottakerfølsomhet (V)

Sensors & Software Inc. angir mottakerfølsomhet til å være ca. 200 μV. Vi har benyttet to senderspenninger på 400V og 1000 V. For 400 V sender blir systemets ytelse;

$$Q = 20 \log_{10} \left(\frac{400 \text{ V}}{200 \cdot 10^{-6} \text{ V}} \right) \approx 126 \text{ dB}$$

For 1000 V sender blir systemets ytelse;

$$Q = 20 \log_{10} \left(\frac{1000 \text{ V}}{200 \cdot 10^{-6} \text{ V}} \right) \approx 134 \text{ dB}$$

En økning i senderspenning fra 400 V til 1000 V øker altså systemets ytelse med ca. 8 dB. Denne økningen medfører vanligvis større penetrasjon og kraftigere reflekterte signaler for 1000 V sender.

Det er svært vanskelig å tallfeste økning i penetrasjonsdyp pga. økning i ytelse. Vanligvis benyttes følgende ligning til dette (Davis & Annan 1989).

$$Q = \frac{\xi_T \xi_R G_T G_R P a e^{-4\alpha L}}{64\pi^3 f^2 L^4} \quad (2)$$

Q = systemets ytelse

ξ_T, ξ_R = effektiviteten til hhv. sender- og mottakerantenne

G_T, G_R = forsterkning for hhv. sender- og mottakerantenne

L = ønsket dybderekkevidde

α = dempning i mediet

f = antennesystemets senterfrekvens

P = modulen til refleksjonskoeffisienten

a = arealet av objektet (på dyp L) som reflekterer mesteparten av energien

Flere av parametrene i likningen er svært vanskelig å bestemme, og likningen er derfor vanskelig å bruke til å tallfeste penetrasjonsdyp. Den er allikevel tatt med her, fordi den har relevans også når det gjelder sammenhengen mellom penetrasjonsdyp og frekvens.

2.2 Antenne senterfrekvens

Økning av antenne senterfrekvens øker vertikal oppløsning. Denne refererer seg til minimum avstand mellom to reflektorer slik at vi kan se at to reflektorer opptrer og ikke én. Vertikal oppløsning er relatert til bølgelengden som er gitt ved;

$$\lambda = \frac{v}{f}, \quad \text{der } v \approx \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

$c = 2,998 \cdot 10^8$ m/s

f = frekvens (Hz)

ϵ_r = dielektrisitetskonstant i mediet som EM-bølgen forplantes gjennom (ubenevnt)

Vertikal oppløsning er i området $\lambda/4$ - $\lambda/2$ (Sheriff 1984, Trabandt 1984). Vi ser av uttrykket for λ at denne avtar med frekvensen. Økning i antenne senterfrekvens fra 50 MHz til 200 MHz fører til at oppløsningen øker med en faktor 4.

Samtidig med at vertikal oppløsning øker, avtar penetrasjonsdypet med økende frekvens. Det er flere årsaker til at dette skjer. Dempningsfaktoren kan forenklet skrives som (Davis & Annan 1989);

$$\alpha = \frac{1.69 \cdot 10^3 \sigma}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad , \quad \sigma = \sigma_{DC} + \omega \epsilon_r' \epsilon_0 \quad (4)$$

σ = ledningsevne (S/m)

σ_{DC} = ledningsevne ved likestrøm (S/m)

$\omega = 2\pi f$ (rad/s)

$\epsilon_0 = 10^{-9}/36\pi$ (F/m)

ϵ_r' = frekvensavhengig tap som øker nær resonansfrekvensen til forskjellige polarisasjonsfenomener. Imaginær del av dielektrisitetskonstanten.

ϵ_r' øker i området 50 MHz til 200 MHz pga. polarisering av vannmolekyler (Daniels 1989). I følge likning (4) vil da dempningen øke med frekvensen.

En annen faktor som har betydning for tap av energi er spredningen. Denne oppstår ved at bølgene reflekteres og refrakteres uordnet mellom forskjellige løsmassepartikler. Mye av energien vil da spres i ulike retninger slik at den ikke fanges opp av mottakerantennen. Når frekvensen øker, nærmer bølgelengden seg partikkelstørrelsen i løsmassene og spredningen øker (Rønning 1992).

Med utgangspunkt i likning (2) ser vi at ytelsen (Q) avtar med f^2 . Dette har sammenheng med at arealet av antennene avtar med økende frekvens, og mindre energi kan fanges opp.

Mesteparten av energien som reflekteres fra et objekt kommer fra arealet;

$$A = \frac{c}{4f\sqrt{\epsilon_r}} + \frac{d}{\sqrt{\epsilon_r - 1}} \quad (5)$$

d = dypet til en reflektor

Vi kan se at 'A' avtar med økende frekvens. 'A' er den samme som 'a' i likning (2). Når 'a' avtar, vil dette si at en mindre andel av utsendt energi blir reflektert.

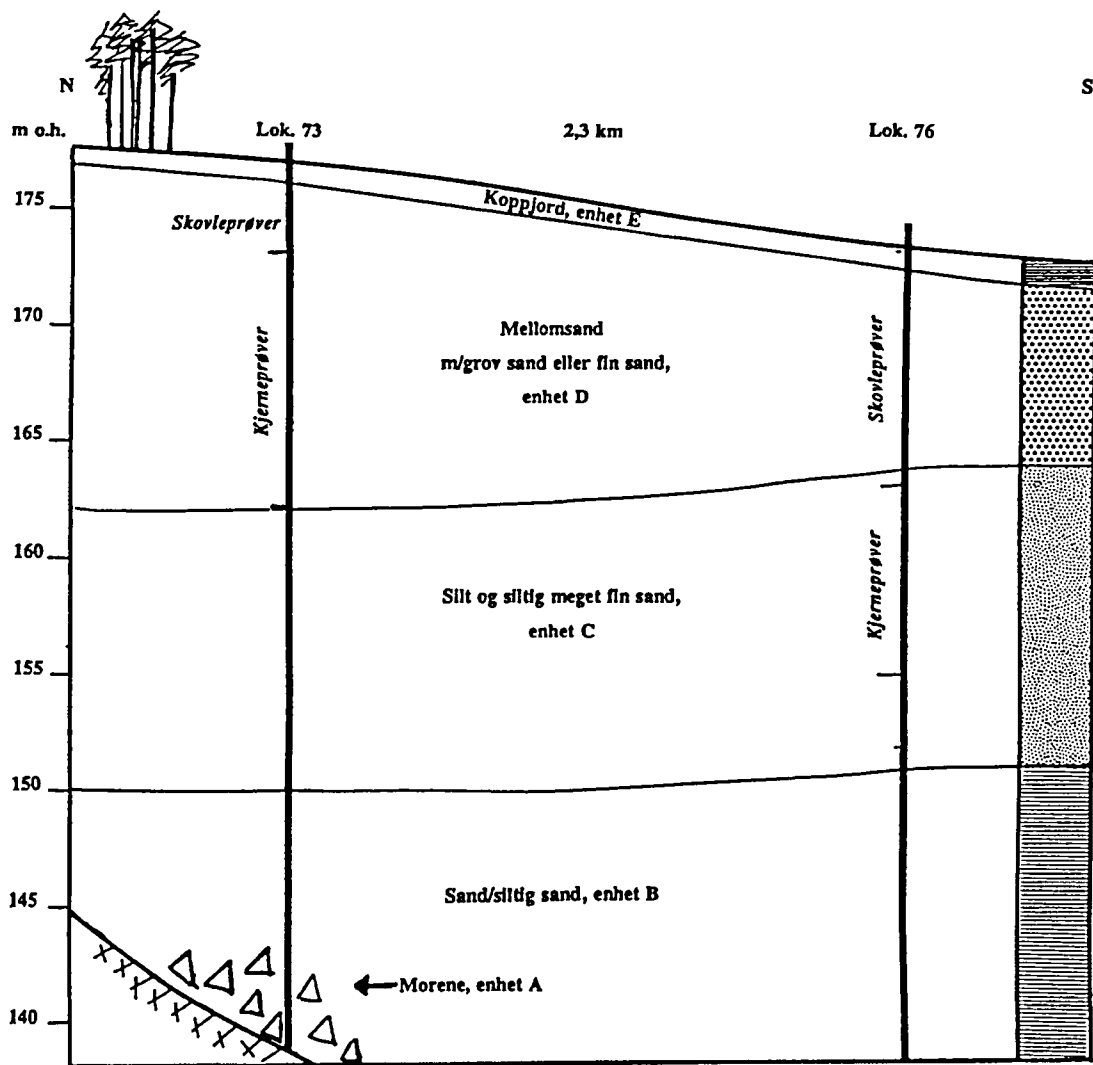
2.3 Utførelse

Det ble målt seks profiler (se kartbilag -01 for plassering). Samtlige profiler ble målt tre ganger. Ved første måling ble det anvendt 50 MHz antenner og 400 V sender, ved andre måling ble det anvendt 50 MHz antenner og 1000 V sender og ved tredje måling ble det anvendt 200 MHz antenner og 400 V sender. Opptakene er vist i kartbilag -02-07. Georadaren som ble benyttet er digital og av typen pulseEKKO IV (Sensors & Software Inc., Canada). Det ble benyttet en antenne- og flyttavstand på 1 m. For 50 MHz-opptakene ble samplingsintervallet satt til 1,6 ns, mens det ble satt til 0,8 ns for 200 MHz-opptakene. Opptakstiden ble satt til 1200 ns, bortsett fra 200 MHz-opptakene i profil P3 og P4, der opptakstiden ble satt til 600 ns. Samtlige opptak er plottet til 800 ns for direkte sammenligning. Signalene ble 'stacket' 32 ganger ved hvert målepunkt. Reell lengde av profiler er noe forskjellig fra lengder angitt på kart, på grunn av feil ved flyttavstander. Under beskrivelsen av georadaropptakene refereres det til posisjoner på opptakene. Ved dybdekonvertering av opptakene er det benyttet en hastighet på 0,07 m/ns. Denne er funnet fra CMP-målinger utført tidligere i samme område (Rønning & Mauring 1991). Ved utskrift av data ble det for det meste anvendt egendefinert (lineær) forsterkning, mens for enkelte opptak er det benyttet SEC-forsterkning (SEC = 'spreading and exponential compensation'). For hvert profil ble det benyttet samme forsterkning på 400 V- og 1000 V-opptak (for 50 MHz antenner) for direkte sammenligning av signalstyrke. Det ble benyttet 5-punkts og 2-punkts 'stacking' langs traser (for hhv. 50 MHz- og 200 MHz-opptak) for å redusere høyfrekvent støy.

3 RESULTATER OG DISKUSJON

Avsetningstyper (etter Riis 1992)

De kvartære avsetninger ved Haslemoen består øverst av et ca. 1 m tykt lag av koppjord (enhet E, se fig. 1). Denne antas å være enten lakustrint avsatt, marint avsatt eller flomavsatt. Under koppjorden har vi lag av mellomsand med grov sand eller fin sand som antas å være forgrenete elveløpsavsetninger (enhet D). Under disse opptrer lag av silt og siltig meget fin sand som er flomavsatt (enhet C). Deretter følger lag av sand/siltig sand i en antatt glasimarin avsetning (enhet B) over fjell. Stedvis opptrer morenemateriale (enhet A) over fjell.



Figur 1. Haslemoavsetningens sedimentologiske enheter (etter Riis, 1992).

Profil P1

Profilen ble valgt pga. at tidligere georadarmålinger viste meget gode data her. En ønsket å se hvordan høyere energi og frekvens innvirket på datakvaliteten. Opptakene er vist i kartbilag -02. En sammenligning av opptakene målt med 50 MHz antenner for 400 V og 1000 V sender viser at refleksjonene er kraftigere for 1000 V-opptaket. Fjellreflektoren er langt enklere å følge på dette opptaket. Denne kan sees ved ca. 200 ns fra posisjon 0 til 180. Fra posisjon 180 skråner fjellet nedover til ca. 550 ns ved posisjon 270. Fra posisjon 350 skråner fjellet jevnt oppover til ca. 250 ns mot enden av profilet. I begge opptak kan grunnvannsspeil antydes ved ca. 100 ns. Reflektiviteten avtar tydelig under grunnvannsspeil for 400 V-opptaket, mens dette ikke er like tydelig på 1000 V-opptaket. Begge opptak viser horisontale/subhorisontale reflektorer ned til ca. 200 ns. Etter 200 ns avtar reflektiviteten i begge opptak, og skrå reflektorer kan sees. Avsetningene er av Riis (1992) tolket som enhet D. Tilstedeværelsen av skrå reflektorer har ført til en videre oppdeling av enheten (D'). Opptaket målt med 1000 V sender viser enkelte strukturer i fjell (fra posisjon ca. 270 og til enden av profilet). Diffraksjoner som indikerer uregelmessig forløp av fjellreflektor sees på 1000 V-opptaket ved posisjon 235 og 270.

Opptaket målt med 200 MHz antenner viser grunnvannsspeil som en langt mer distinkt reflektor enn 50 MHz-opptakene pga. høyere oppløsning, men kan bare sees tydelig fra posisjon 195 til enden av profilet. Årsaken til at grunnvannsspeil ikke sees så tydelig mellom posisjon 0 og 195 kan være at en her har finkornige avsetninger og at disse er fuktige over grunnvannsspeil. Fjellreflektoren sees tydelig fra posisjon 485 til enden av profilet. Den kan også sees flere steder, men kan vanskelig erkjennes uten at en på forhånd vet forløpet av denne på bakgrunn av 50 MHz-opptakene, og det er vanskelig å følge reflektorer. Dette skyldes stedvis at signal/støy-forholdet er for lavt til at signaler kan skilles fra støy. For å se reflektorene tydeligere, er det i databilag 1 vist et utsnitt av 200 MHz-opptaket mellom posisjon 375 og 450 mellom 0 og 400 ns. En reflektor på ca. 40 ns representerer trolig bunnen av koppjordlaget (enhet E). Grunnvannsspeil sees som en meget kraftig reflektor ved ca. 80-100 ns. Utsnittet viser også en multippel av grunnvannsspeil, noe som viser hvor kraftig refleksjonene fra toppen av grunnvannsspeil kan være. Det er derfor en betydelig andel energi som ikke fortsetter videre nedover i undergrunnen.

Profil P2

Profilet ble valgt fordi tidligere georadarmålinger viste uforklarlig overgang fra veldefinert refleksjonsmønster til mer eller mindre kaotisk refleksjonsmønster. Også for dette profilet oppnås det langt bedre signal/støy-forhold ved å benytte 1000 V sender framfor 400 V sender. Ned til ca. 100 ns sees subhorisontale reflektorer på opptakene målt med 50 MHz antenner. Opptakene (vist i kartbilag -03) er ellers karakterisert ved at de for en stor del viser et kaotisk refleksjonsmønster ned til ca. 350 ns. Under 350 ns viser 1000 V-opptaket svake, horisontale reflektorer til posisjon 230. De horisontale reflektorene kan ikke sees på 400 V-opptaket. Fra posisjon 230 er refleksjonsmønsteret også kaotisk for hendelser etter 350 ns. Dette kan skyldes at opptaket er pålagret støy. Denne eventuelle støyen opptrer ved samme tidspunkt og posisjoner på 400 V- og 1000 V-opptaket, og støyen er dermed ikke instrumentgenerert. Flere støyhendelser sees tydelig å være diffraksjoner som kan skyldes objekter på overflaten (trær?). Hendelser før 350 ns er av Riis (1992) tolket til å representere enhet D (forgrenete elveløpsavsetninger). Hendelser mellom 350 ns og fjell på 600-800 ns er tolket å representere enhet C (flomavsetninger).

På 200 MHz-opptaket sees kraftige, horisontale/subhorisontale reflektorer ned til ca. 100 ns. Grunnvannsspeil sees mellom posisjon 250 og enden av profilet (0-40 ns). Mellom posisjon 0 og 250 er grunnvannsspeilet svært nær overflaten og kan ikke skjernes fra andre grunne hendelser. Etter ca. 100 ns sees kun sporadisk sammenhengende reflektorer, og det er svært lite informasjon å hente her. For å kunne se mer detaljert på grunne hendelser, er det i databilag 2 vist et utsnitt av 200 MHz-opptaket mellom posisjon 270 og 365 i tidsintervallet 0-400 ns. Grunnvannsspeil sees som en tydelig reflektor i nivå 30-50 ns. En reflektor i nivå ca. 20 ns representerer sannsynligvis bunnen av koppjordlaget. Ellers sees refleksjoner rundt nivå 100 ns. Tilsvarende sees på 50 MHz-opptakene, og refleksjonene representerer trolig lagdeling i enhet D. På grunn av manglende penetrasjon er det umulig å si noe om det påviste kaotiske refleksjonsmønster er avhengig av antennefrekvens.

Profil P3

Profil 3 ble valgt av samme grunn som profil 2. Tidligere målinger viste en utvikling i refleksjonsmønster fra veldefinerte strukturer til kaotisk. Opptakene er vist i kartbilag -04. Ned til ca. 100 ns er 50 MHz-opptakene dominert av en suksjon av nær horisontale reflektorer. En reflektor ved ca. 100 ns representerer trolig grunnvannsspeil. Det er for dårlig oppløsning til å se forløpet av grunnvannsspeil langs hele profilet. Forskjellen mellom 400 V- og 1000 V-opptaket viser seg igjen å være signal/støy-forholdet. De to opptakene viser stort sett de samme hendelser, men med større amplituder på 1000 V-opptaket. Mellom posisjon 0 og 150 sees tydelig skrålagning (enhet D') mellom 200 og 520 ns. Skrålagningen er mest tydelig på 1000 V-opptaket. Ved ca. 520-540 ns sees en horisontal reflektor som muligens representerer topp av enhet C. Reflektorer i enhet C er horisontale/subhorisontale og sees best på 1000 V-opptaket. Fjellreflektoren sees å skrå nedover fra posisjon 0 (400 ns) til posisjon 55 (650 ns) der den ikke lenger er synlig. En viktig observasjon her er at fjellreflektoren ikke kan følges over en lengre avstand på 1000 V-opptaket. Fra posisjon 150 er refleksjonsmønsteret mer kaotisk etter ca. 200 ns, selv om reflektor på 540 ns kan følges mer eller mindre kontinuerlig fram til posisjon 320 på 1000 V-opptaket. Det kaotiske refleksjonsmønsteret kan sees både på 400 V- og 1000 V-opptaket, og hendelser kan korreleres. Hendelsene skyldes derfor ikke instrumentgenerert støy (som f.eks. antenne-ringing) og synes energiuavhengig. De kan skyldes refleksjoner fra lag i løsmassene eller objekter på overflaten. Flere hendelser krysser reflektoren på 540 ns, noe som indikerer støy på grunn av refleksjoner fra objekter på overflaten.

Opptaket målt med 200 MHz antenner viser grunnvannsspeil som en svært markant reflektor på ca. 100 ns. Grunnet høy oppløsning interfererer ikke refleksjoner fra grunnvannsspeil med andre hendelser som for 50 MHz-opptakene. Over grunnvannsspeil sees flere horisontale reflektorer. Skrålagning sees ned til ca. 400 ns fram til posisjon 150. Skrålagningen er svært diffus grunnet lavt signal/støy-forhold. Som for 50 MHz-opptakene er refleksjonsmønsteret kaotisk fra posisjon 150, og det synes derfor som om dette kaotiske refleksjonsmønsteret er uavhengig av frekvens. Databilag 3 viser 200 MHz-opptaket i større detalj (0-400 ns) mellom posisjon 0 og 120. Grunnvannsspeil sees her som en kraftig og noe undulerende reflektor i nivå 100-120 ns. Undulasjonen skyldes trolig små terrengvariasjoner. En reflektor i nivå 80-100 ns mellom posisjon 20 og 65 har omtrent samme signatur som refleksjonen fra grunnvannsspeil, men representerer en lagdeling i enhet D'. Reflektor i nivå 20-40 ns er trolig bunnen av koppjordlaget. Skrå reflektorer (i enhet D') sees under 200 ns.

Profil P4

Profilet er valgt fordi tidligere målinger viste sterkt redusert penetrasjon pga. en forurensningsplum. En ønsket å se hvilken innvirkning økende energi og frekvens har på penetrasjonsdypet i dette området. Opptakene er vist i kartbilag -05. Opptakene målt med 50 MHz antenner viser horisontale/subhorisontale reflektorer ned til ca. 100 ns, der den ved ca. 100 ns representerer grunnvannsspeil. Fram til posisjon 185 er refleksjonsmønsteret stort sett kaotisk etter 100 ns, og signal/støy-forholdet er tydelig bedre med 1000 V sender enn med 400 V sender. Antydning til skrålagning sees mellom posisjon 130 og 160 og er meget framtreddende på 1000 V-opptaket. Horisontale reflektorer mellom 600 og 700 ns kan såvidt sees. Ved posisjon 185 går en inn i et område der undergrunnen er

forurenset grunnet overdreven gjødsling. Dette har ført til dannelsen av en nitratplum som har høy ledningsevne. Dette er årsaken til redusert penetrasjon i dette området. Penetrasjonen er her bare stedvis bedre med 1000 V sender enn med 400 V sender. Økning av senderspenning har altså liten betydning i dette området. Skråreflektor mellom posisjon 490 og 505 (600-420 ns) skyldes trolig siderefleksjon fra objekt på overflaten.

Opptaket målt med 200 MHz antenner gir lite informasjon etter ca. 150 ns. For å kunne se grunne reflektorer bedre, viser databilag 4 opptaket mellom posisjon 0 og 110 i tidsintervallet 0-400 ns. En diffus reflektor ved 80-100 ns kan representere grunnvannsspeil. Bunnen av koppjordlaget kan muligens sees som en undulerende reflektor ved 20-40 ns.

Profil P5

Profil 5 ble valgt pga. at tidligere målinger viste interessante detaljer, men et noe lavt signal/støy-forhold. Opptakene er vist i kartbilag -06. 50 MHz-opptakene viser et meget detaljert bilde av strukturer i løsmasser samt fjelltopografien. Opptaket målt med 1000 V sender viser reflektorer langt tydeligere enn 400 V-opptaket. Opptakene er dominert av en veksling mellom sekvenser av skrå og parallelle reflektorer, og kan trolig korreleres til enhet D og D' (Riis 1992). Horisontale reflektorer under 300 ns (og ned til fjellreflektor) mellom posisjon 380 og enden av profilet representerer enhet C. I dette området sees fjellreflektoren dårlig, trolig på grunn av demping som skyldes det finkornige materialet i enhet C (silt og siltig meget fin sand). En indikasjon på finkornig materiale har en også mellom posisjon 190 og 270. Dette er indikert ved at fjellreflektoren er svake-re og at det er et parallelt refleksjonsmønster fra 300 ns til fjellreflektoren. Ved posisjon 180 blir horisontale reflektorer avbrudt av en traufomet struktur som kan indikere et gammelt elveløp.

Informasjonen som fås fra 200 MHz-opptaket er neglisjérbar sammenlignet med 50 MHz-opptakene. Signal/støy-forholdet for hendelser etter ca. 150 ns er altfor lavt til at reflektorer kan følges. Fjellreflektoren kan følges fra starten av profilet til posisjon 60. Ellers kan fjellreflektoren sporadisk sees, men dette er betinget av at en kan sammenligne med 50 MHz-opptakene. Databilag 5 viser 200 MHz-opptaket mellom posisjon 0 og 110 i intervallet 0-400 ns. Reflektorer i nivå 20-40 ns kan representere en interferens mellom bunnen av koppjordlag og toppen av grunnvannsspeil. Fjell sees tydelig mellom posisjon 0 (120 ns) og 65 (400 ns). En diffraksjon ved posisjon 50 (300 ns) indikerer uregelmessig fjellreflektor.

Profil P6

Profil 6 ble valgt på grunnlag av gode resultater ved tidligere målinger, men hvor det var vanskelig å følge fjellreflektor dypere enn ca. 17 m. Opptakene er vist i kartbilag -07. De som er målt med 50 MHz-antenner gir et detaljert bilde av strukturer i løsmassene, og de vises klart best på 1000 V-opptaket. Reflektor på ca. 80 ns representerer trolig grunnvannsspeil. Fjellreflektoren sees ved 240 ns i posisjon 0. Den skråner nedover til 500 ns ved posisjon 80. Den går videre omtrent horisontalt til posisjon 110. På 400 V-opptaket kan det se ut som om fjellreflektoren fortsetter omtrent horisontalt i nivå 460-500 ns fra posisjon 110 og til enden av profilet, men 1000 V-opptaket viser at dette

ikke er tilfellet. Fjellreflektoren sees her å skråne ned til 720 ns ved posisjon 150. Fra denne posisjonen kan ikke reflektoren følges videre. Den kraftige reflektoren i nivå 460-500 ns mellom posisjon 110 og enden av profilet representerer toppen av en sekvens av parallelle reflektorer som trolig representerer enhet C (flomavsetninger). Over denne enheten er reflektorene bølget og representerer strukturer i forgrenete elveløpsavsetninger (enhet D og D').

Opptaket målt med 200 MHz antenner gir svært lite informasjon. Grunnvannsspeil kan tydeligere skilles fra andre hendelser her enn på 50 MHz-opptakene. Stedvis sees skrå reflektorer, men stort sett kan ingen sammenhengende reflektorer sees under grunnvannsspeil. Opptaket gir lite informasjon om strukturer som kan danne grunnlag for tolkning av avsetningstype(r). For å kunne se på eventuelle grunne reflektorer i mer detalj, er et utsnitt av opptaket mellom posisjon 0 og 110 (0-400 ns) presentert i databilag 6. Reflektor i nivå 30-40 ns representerer bunnen av koppjordlaget, mens grunnvannsspeil sees i nivå 70 ns. Diffraksjon ved posisjon 5 (nivå 250 ns) representerer trolig et lite sprang i fjellreflektoren. Dette spranget er indikert på 50 MHz-opptakene, men her ser en ingen diffraksjoner.

4 KONKLUSJON

Georadarmålinger er utført langs 6 profiler på Haslemoen. Hensikten med målingene var å undersøke hvilken innvirkning valg av senderspenning og antennefrekvens har på EM-bølgenes signal/støyforhold, penetrasjonsdyp og oppløsning.

Resultatene viser at målinger med 1000 V sender generelt gir høyere signal/støy-forhold enn 400 V sender i det området som er undersøkt. Strukturer i løsmasser samt fjelltopografi kommer tydeligere fram ved 1000 V sender. Penetrasjonsdypet er generelt sett høyere ved 1000 V sender, selv om det i ett profil viste seg å være marginal forskjell i penetrasjonsdyp for 400 V og 1000 V sender der en har godt ledende materiale.

Målinger med 200 MHz antenner ga jevnt over dårlige resultater med sterkt begrenset penetrasjon (stedvis 4-5 m) i det undersøkte området. Signal/støy-forholdet under grunnvannsspeil var altfor lavt til at kontinuerlige reflektorer kunne følges. Dette skyldes først og fremst større demping og mindre antenneareal for 200 MHz antennesystem. Grunne lag kom imidlertid meget godt fram på opptakene målt med 200 MHz antenner på grunn av langt bedre vertikal oppløsning enn det som oppnås med 50 MHz antenner. Grunnvannsspeil og bunnen av koppjordlag opptrådte som distinkte reflektorer. Disse lå for grunt til at de kunne sees tydelig på 50 MHz-opptakene.

En antenne senterfrekvens på 50 MHz med 1000 V sender viste seg å være best egnet til å kartlegge løsmassestrukturer og fjelltopografi i dette området.

Det er påvist et stort gap i oppløsningsevne og penetrasjon mellom 50 MHz og 200 MHz antenner, og NGU bør derfor anskaffe mellomliggende 100 MHz antenner.

REFERANSER

- Daniels, J.J. 1989: Fundamentals of ground penetrating radar. *In: proceedings of the symposium on the application of geophysics to engineering and environmental problems. SAGEEP '89, march 13-16, 1989, Colorado School of Mines, Golden, Colorado.*
- Davis, J.L. & Annan, A.P. 1989: Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophys. prosp. Vol. 37, No. 5, 531-551.*
- Riis, V. 1992: Avsetningsmodell og hydrogeologi av Haslemoen. *Cand. Scient.-oppgave i geologi. Institutt for geologi, Universitetet i Oslo, desember 1992.*
- Rønning, J.S. 1992: Geofysiske metoder. I: Byggeråstoffer; kartlegging, undersøkelse og bruk. *Red. Peer-R. Neeb. Tapir forlag 1992. ISBN 82-519-1122-2.*
- Rønning, J.S. & Måring, E. 1991: Georadar og refleksjonsseismiske målinger på Haslemoen, Våler kommune, Hedmark. *NGU Rapport 91.270.*
- Sheriff, R.E. 1984: Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics, 2nd ed. *Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, OK. 323 pp.*
- Trabant, P.K. 1984: Applied High-Resolution Geophysical Methods. *International Human Resources Development Corp., Boston. 265 pp.*

GEORADAR - METODEBESKRIVELSE

Georadar er en elektromagnetisk målemetode som kan benyttes til undersøkelse av lagdeling og strukturer i grunnen. Med en spesiell antenne sendes elektromagnetiske bølgepulser ned i jorda. En del av bølgeenergien blir reflektert tilbake til overflaten når bølgepulsen treffer en grense som representerer en endring i mediets dielektriske egenskaper. Resten av energien vil fortsette nedover og det kan fås reflekterte signaler fra en rekke grenseflater. Refleksjonene kan registreres med en mottakerantenne på overflaten. De mottatte signaler overføres til en kontrollenhet for forsterkning (og digitalisering ved digital georadar). Signalene sendes derfra til skriver (ved analog georadar) eller PD (digital georadar). Fra en utskrift av et georadar-opptak kan toveis gangtid (t_{2v}) til de forskjellige reflektorene avleses. For å bestemme virkelig dyp til en reflektor må bølgehastigheten (v) i overliggende medium være kjent eller kunne bestemmes.

Bølgehastigheten kan bestemmes ved CDP-målinger ('common depth-point'). Slike målinger utføres ved å flytte sender- og mottakerantenne skrittvis og like langt ut til hver side fra et fast midtpunkt og registrere for hver ny posisjon. Refleksjoner vil da ideelt sett komme fra samme punkt på en reflektor som er planparallel med overflaten. Når antenneavstanden øker, vil reflekterte bølger få lenger gangvei og økning i gangtid. Denne økning i gangtid kan det ved digitale opptak kompenseres for ved å utføre NMO-korreksjon ('normal move-out'). Størrelsen på korreksjonen er avhengig av antenneavstand, toveis gangtid og bølgehastighet i materialet over reflektoren. Et CDP-opptak korrigeres med forskjellige hastigheter, og den hastighet som etter NMO-korreksjon gir best amplitude etter summering av trasene, angir radarbølgehastigheten i mediet.

Etter at hastigheten er bestemt kan dypet (d) beregnes etter uttrykket;

$$d = \frac{vt_{2v}}{2}$$

I vakuum er bølgehastigheten lik lyshastigheten: $c = 3.0 \cdot 10^8$ m/s. I alle andre media gjelder følgende relasjon;

$$\epsilon_r = \left(\frac{c}{v}\right)^2$$

hvor ϵ_r er det relative dielektrisitetsstallet. ϵ_r -verdien for et materiale vil derfor være en bestemmende faktor for beregning av dyp til reflektorer. I tabellen på neste side er det gitt en oversikt over erfaringstall for ϵ_r i en del materialtyper. Tabellen viser også hastigheter og ledningsevne i de samme media.

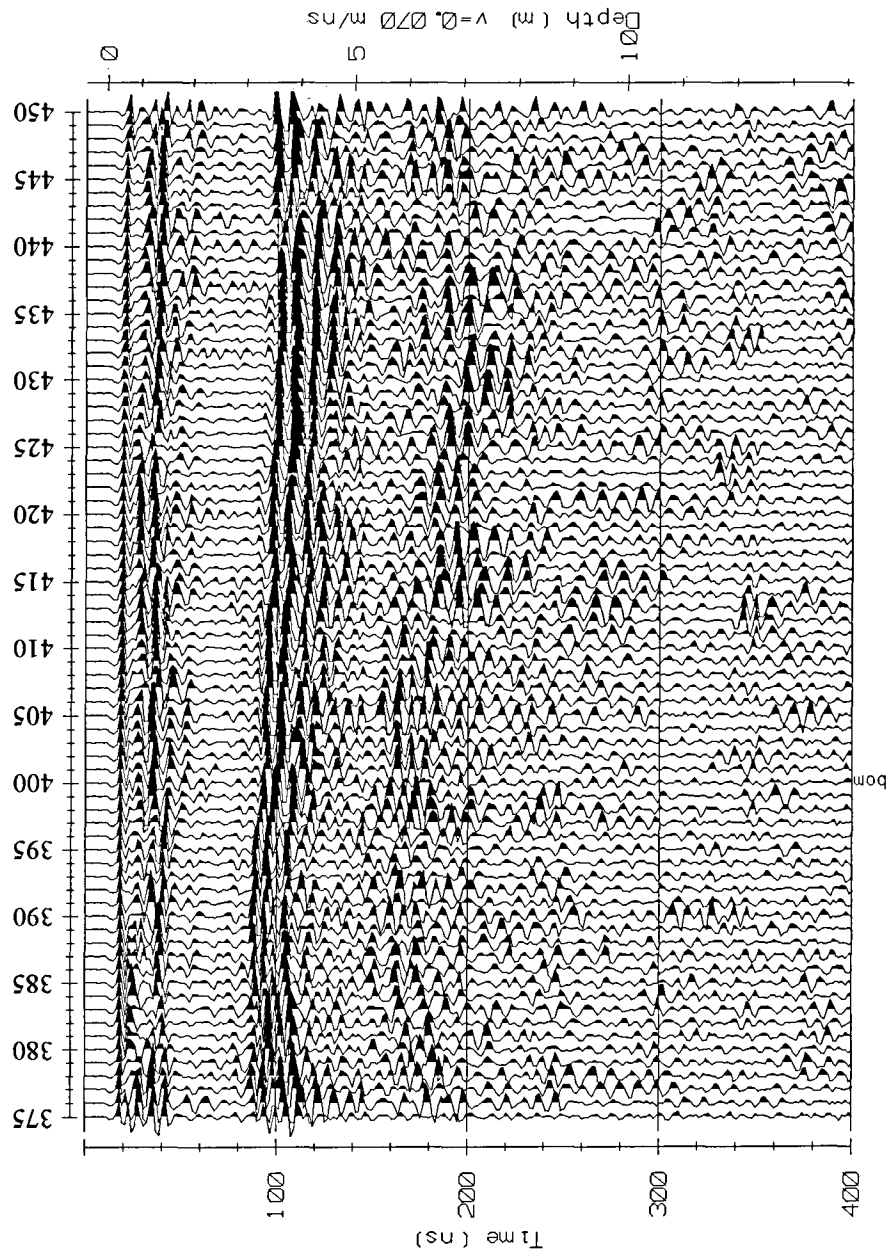
Dybderekkevidden for georadarmålinger er i stor grad avhengig av elektrisk ledningsevne i grunnen og av den utsendte antennefrekvens. Både økende ledningsevne og en økning i antennefrekvens vil

føre til hurtigere dempning av bølgepulsene og dermed minkende penetrasjon. I godt ledende materiale som marin silt og leire vil penetrasjonen være helt ubetydelig. I dårlig ledende materiale som f.eks. tørr sand, kan det forventes en dybderekkevidde på flere titalls meter når det benyttes en lavfrekvent antenne (f.eks. 50 eller 100 Mhz). For grunnere undersøkelser vil en mer høyfrekvent antenne gi bedre vertikal oppløsning.

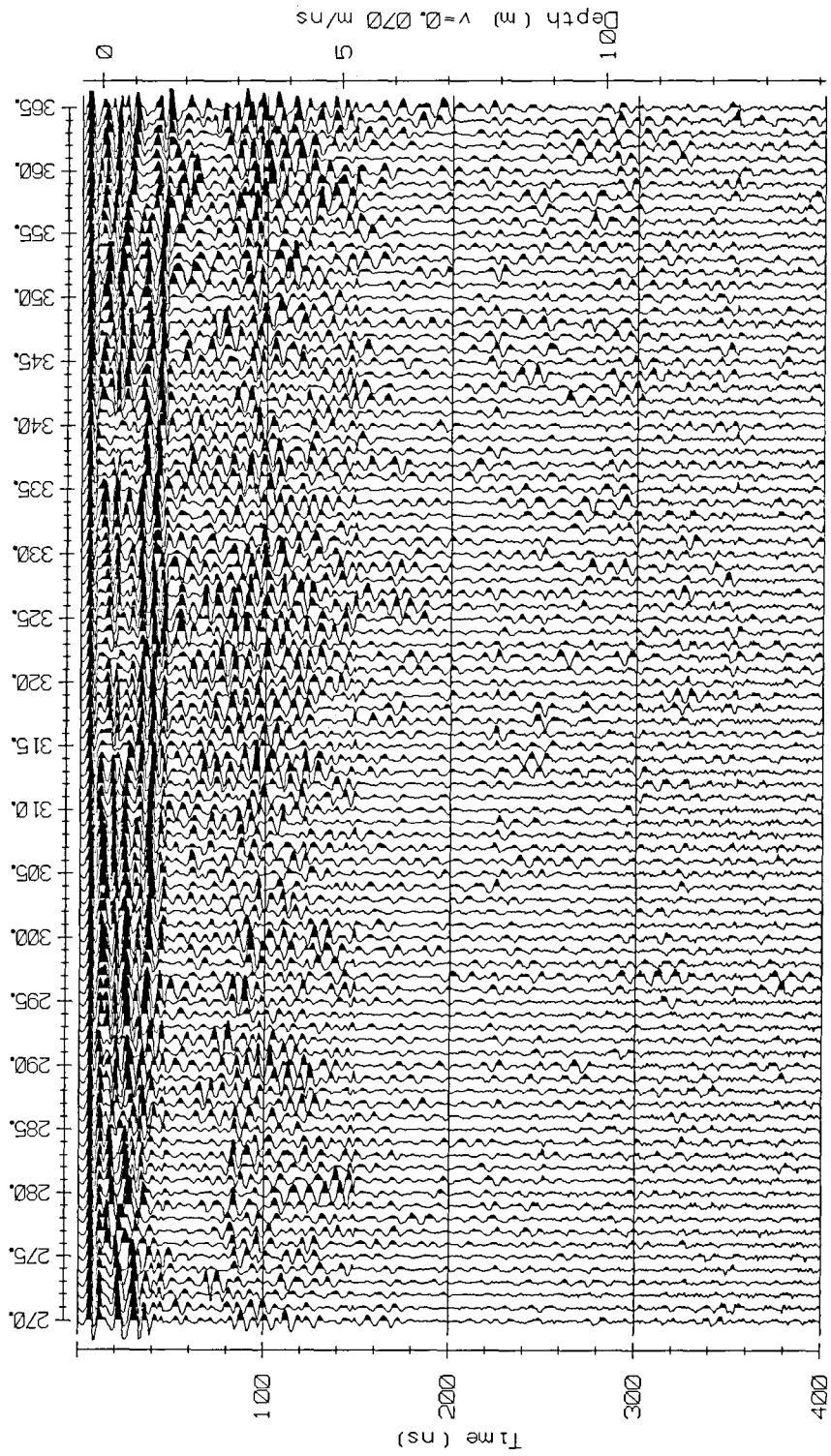
<i>Medium</i>	ϵ_r	v (m/ns)	<i>ledningsevne (mS/m)</i>
<i>Luft</i>	1	0.3	0
<i>Ferskvann</i>	81	0.033	0.1
<i>Sjøvann</i>	81	0.033	1000
<i>Leire</i>	5-40	0.05-0.13	1-300
<i>Tørr sand</i>	5-10	0.09-0.14	0.01
<i>Vannmettet sand</i>	15-20	0.07-0.08	0.03-0.3
<i>Silt</i>	5-30	0.05-0.13	1-100
<i>Fjell</i>	5-8	0.10-0.13	0.01-1

Tabell over relativt dielektrisitetstall, radarbølge-hastigheter og ledningsevne i vanlige materialtyper.

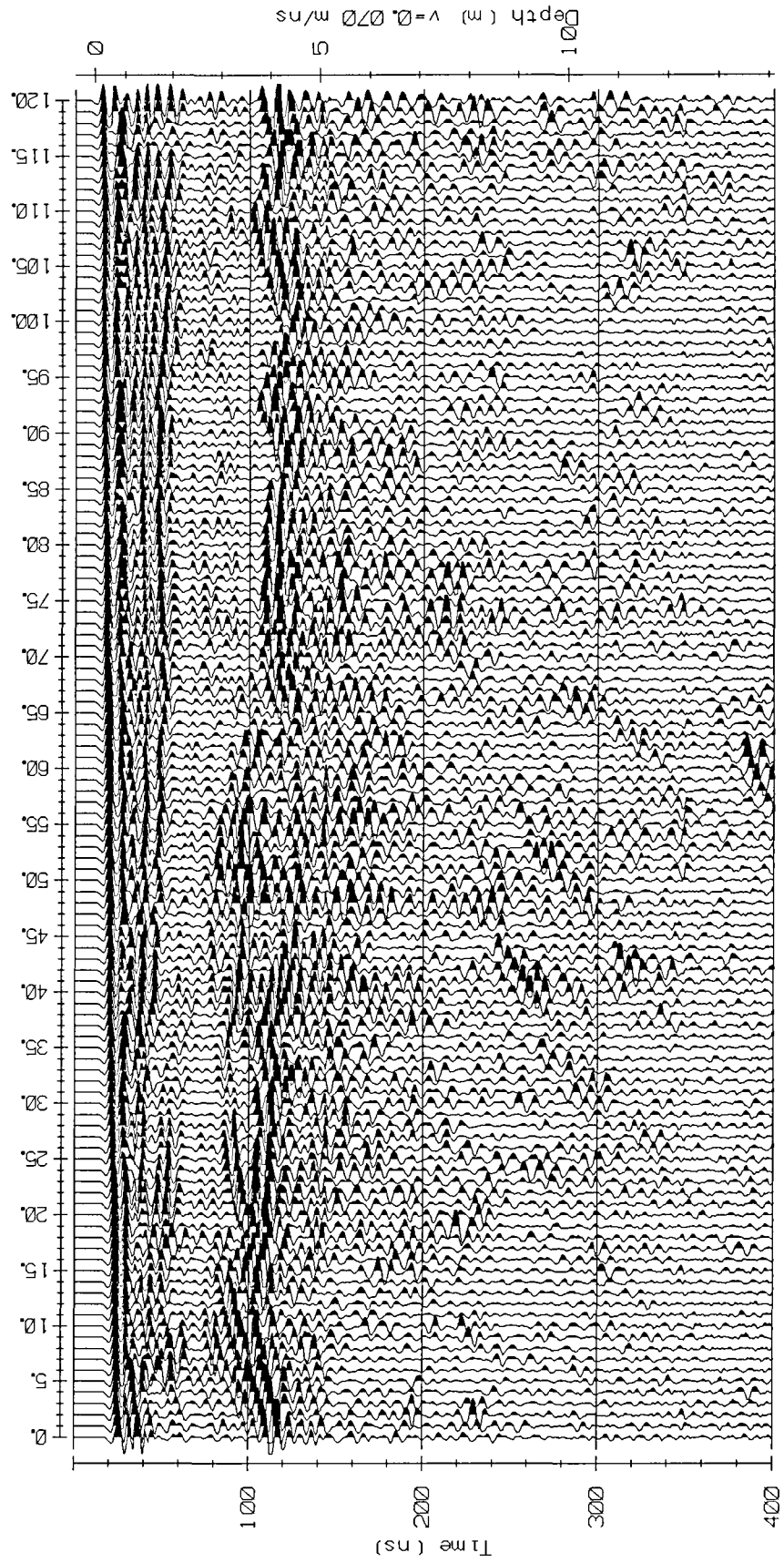
Utsnitt av P1 (200 MHz)



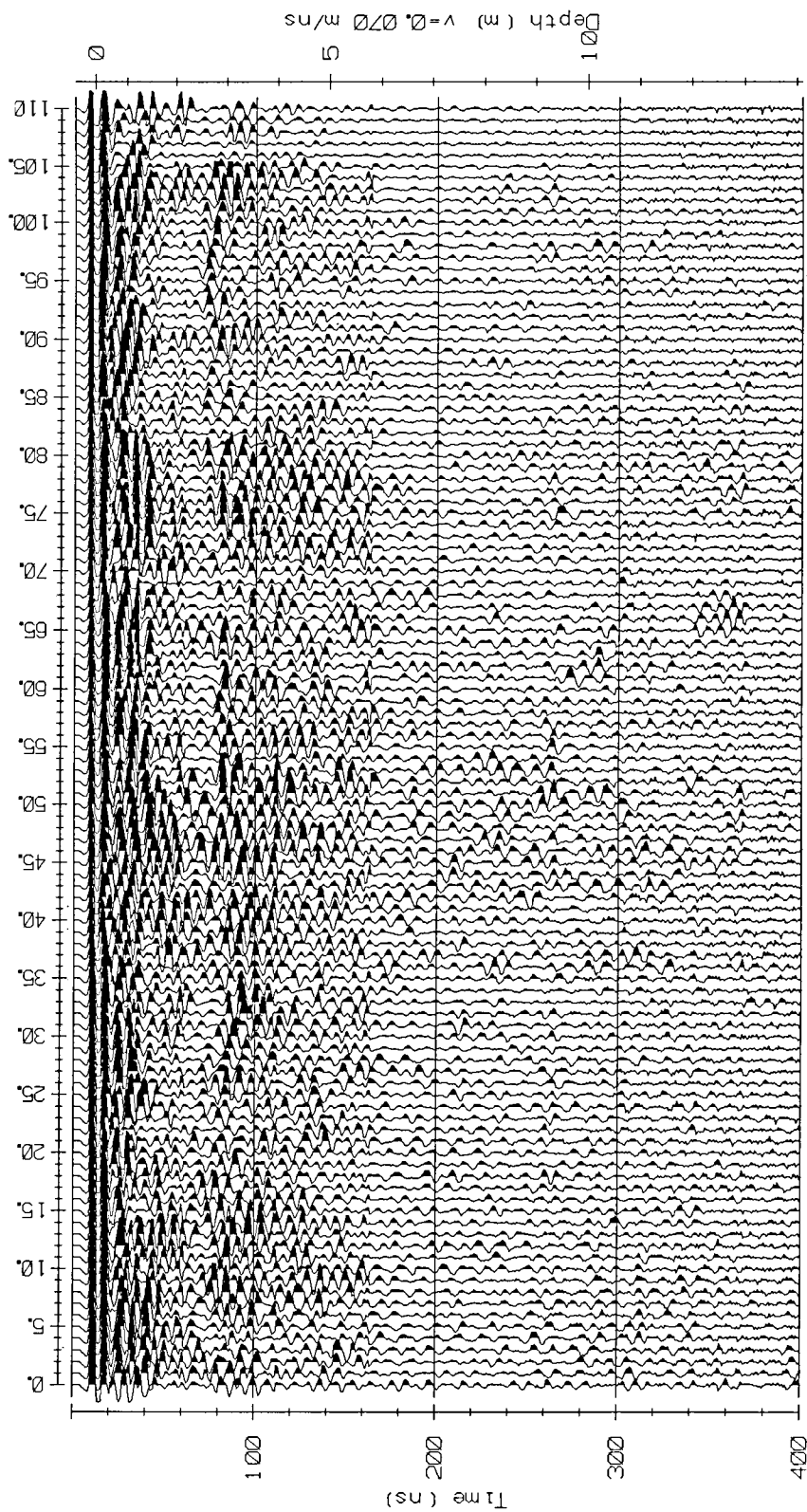
Utsnitt av P2 (200 MHz)



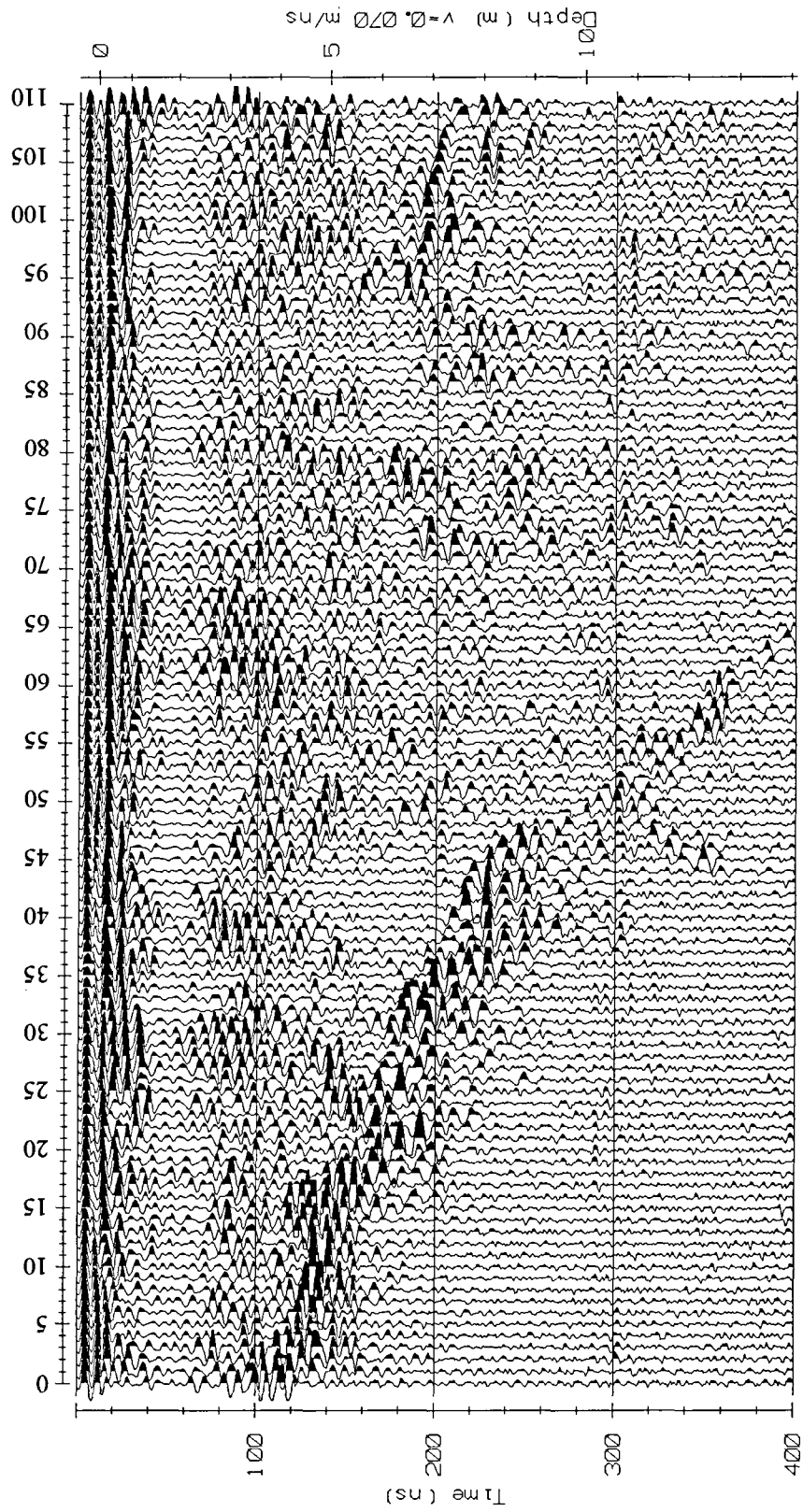
Utsnitt av P3 (200 MHz)



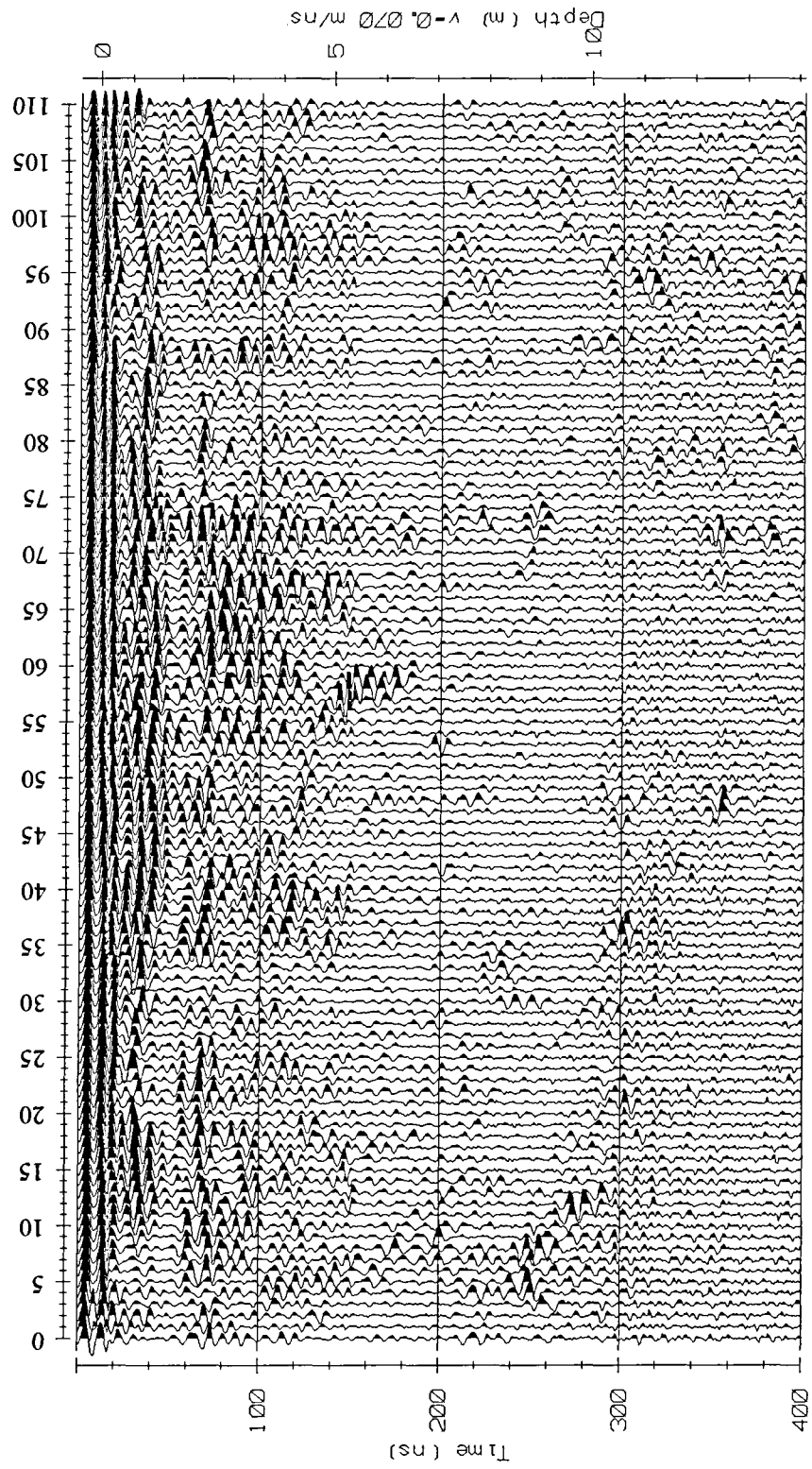
Utsnitt av P4 (200 MHz)

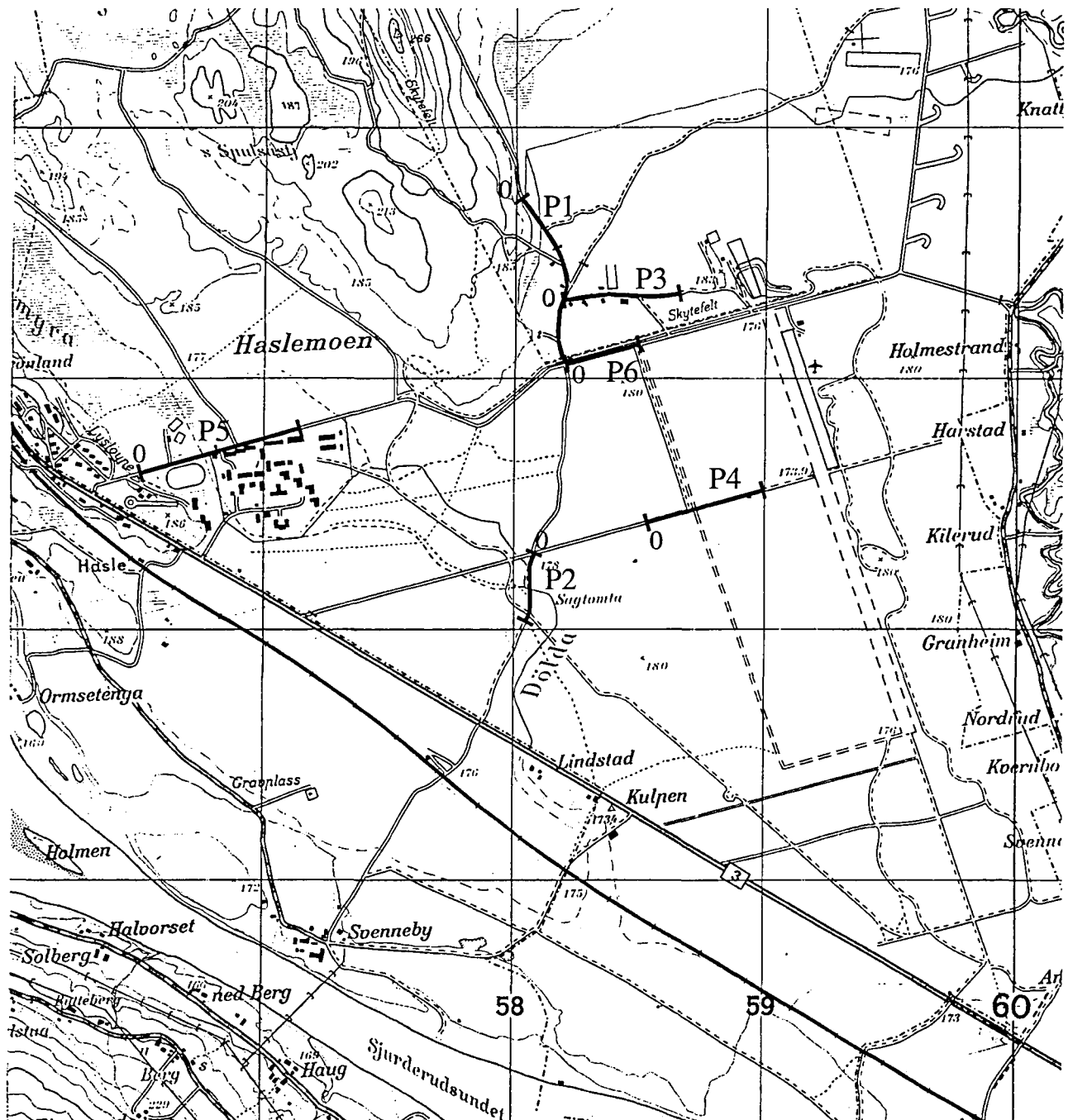


Utsnitt av P5 (200 MHz)



Utsnitt av P6 (200 MHz)





NGU
OVERSIKTSKART

HASLEMOEN

VÅLER KOMMUNE, HEDMARK

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

MÅLESTOKK

1:25000

MÅLT JK

TEGN EM

TRAC

KFR

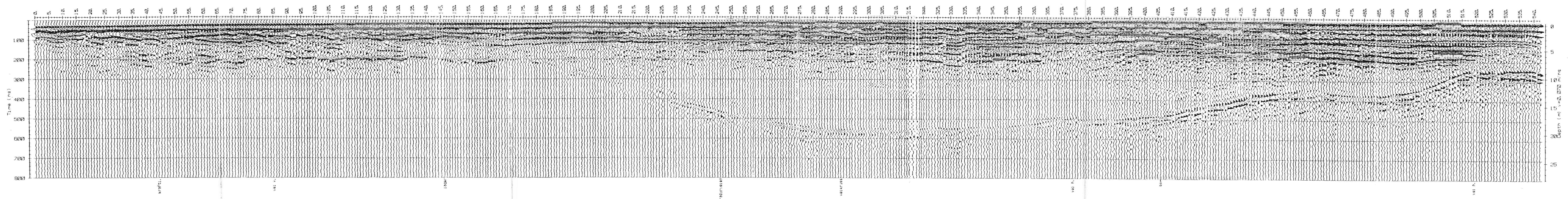
Okt. -93

Mars -95

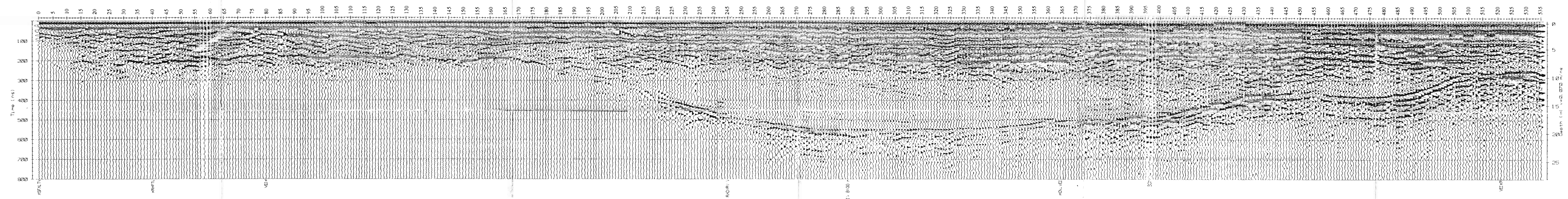
TEGNING NR
95.052-01

KARTBLAD NR
2016 II

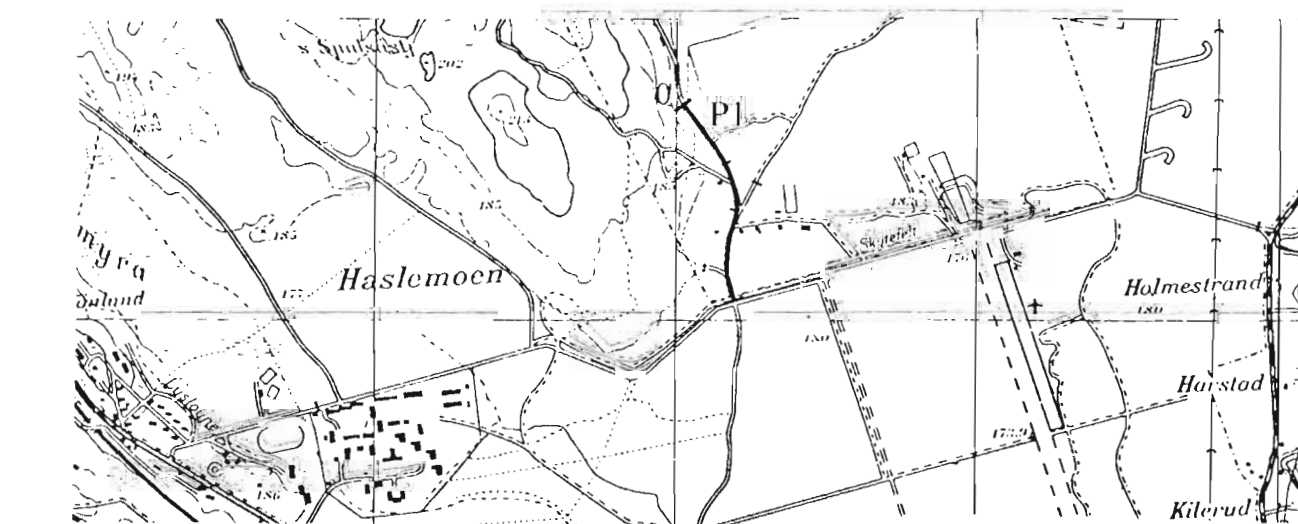
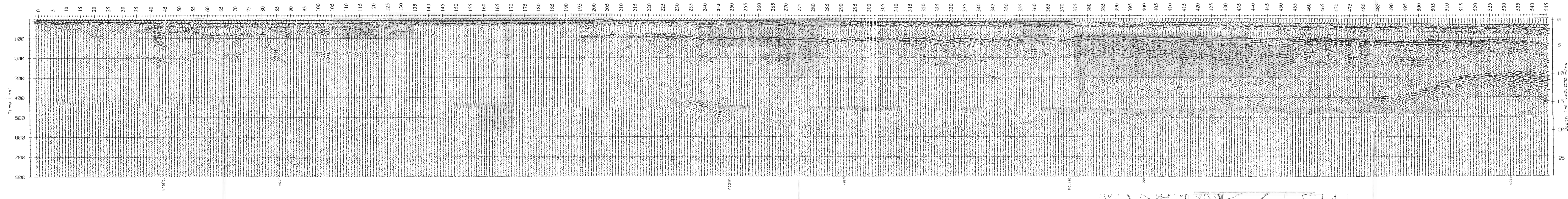
P1, 50 MHz, 400 V



P1, 50 MHz, 1000 V

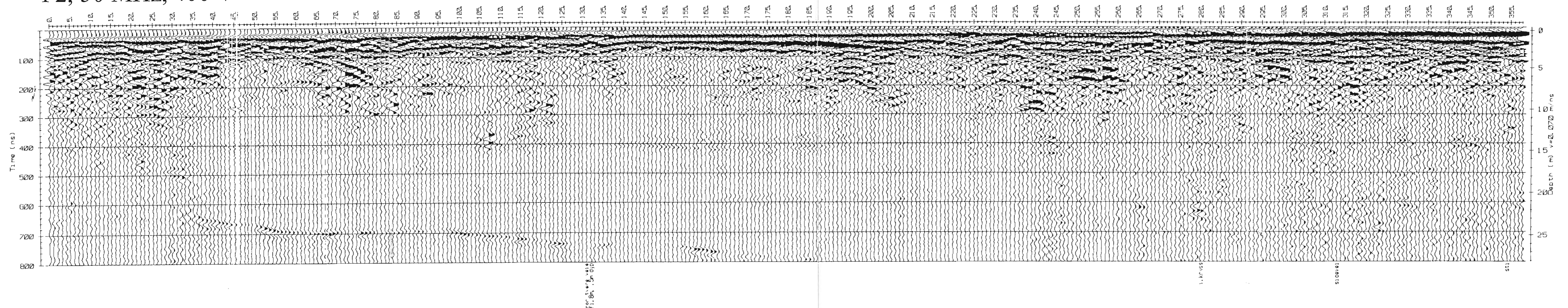


P1, 200 MHz, 400V

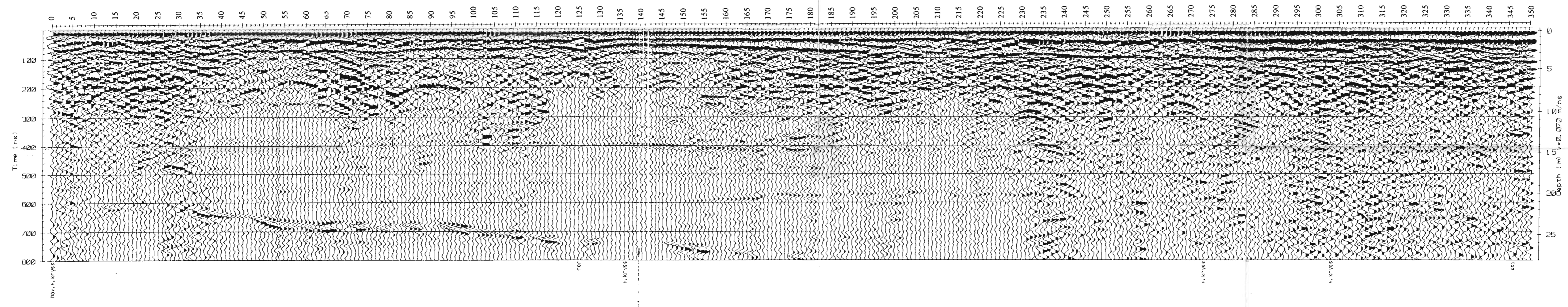


NGU GEORADARPROFIL P1 HASLEMOEN VÅLER KOMMUNE, HEDMARK		MÅLSTOKK 1:25000	OBS. JK OKI. 93
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM		TEGNING NR. 95.052-02	OKI. 95 Mars. 95
		KARTBLAD NR. 2016 II	

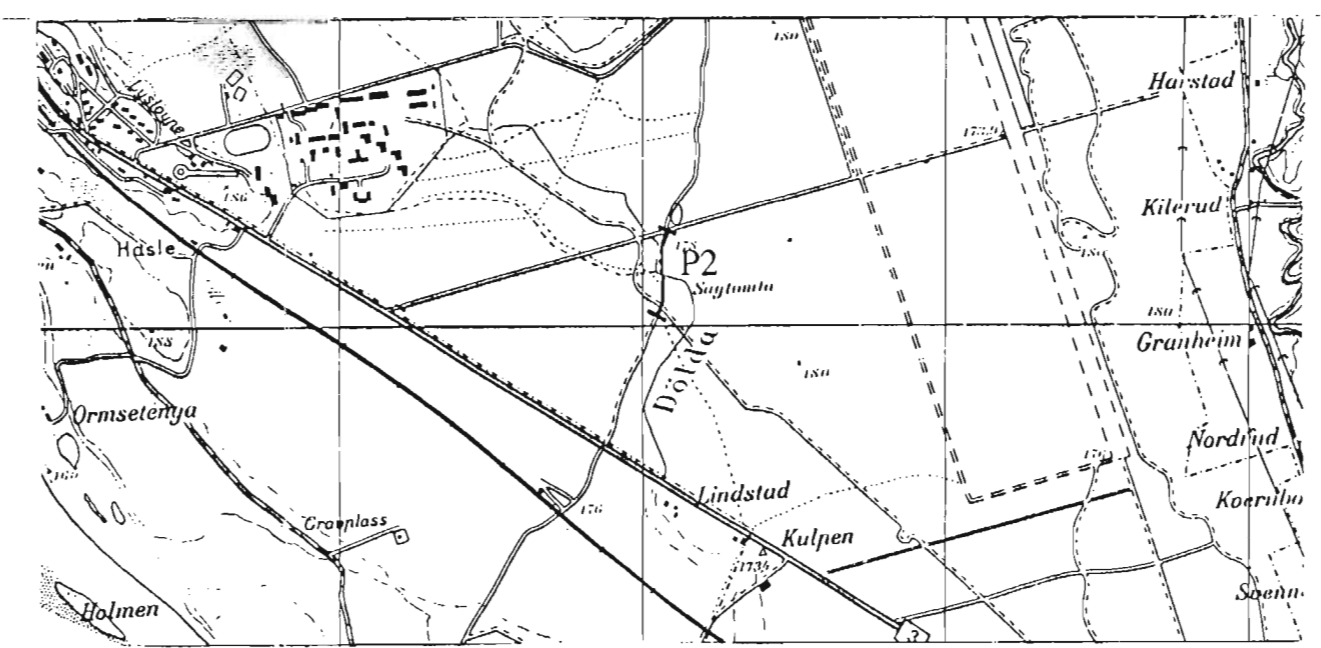
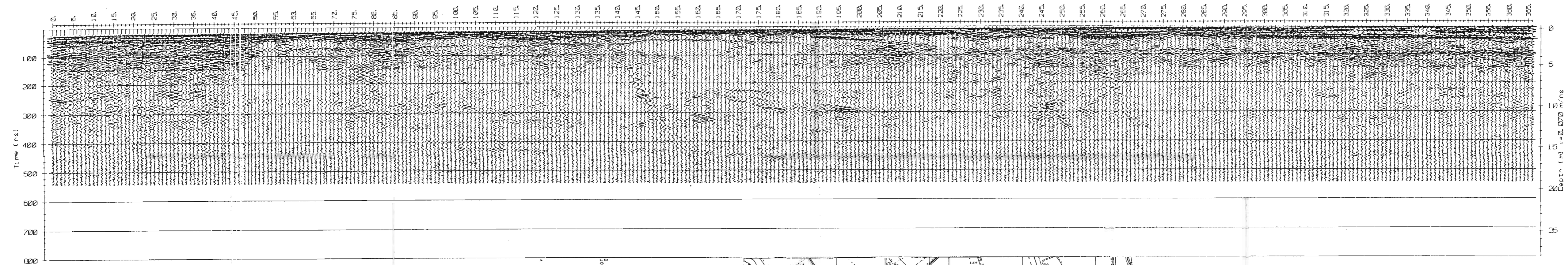
P2, 50 MHz, 400 V



P2, 50 MHz, 1000 V

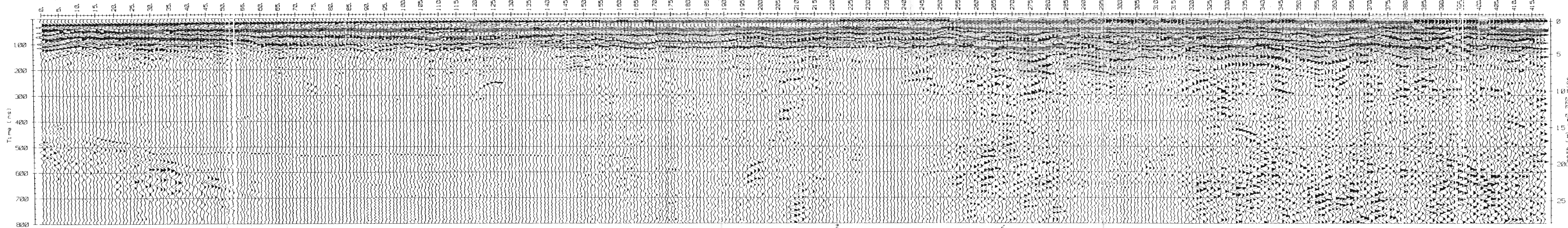


P2, 200 MHz, 400V

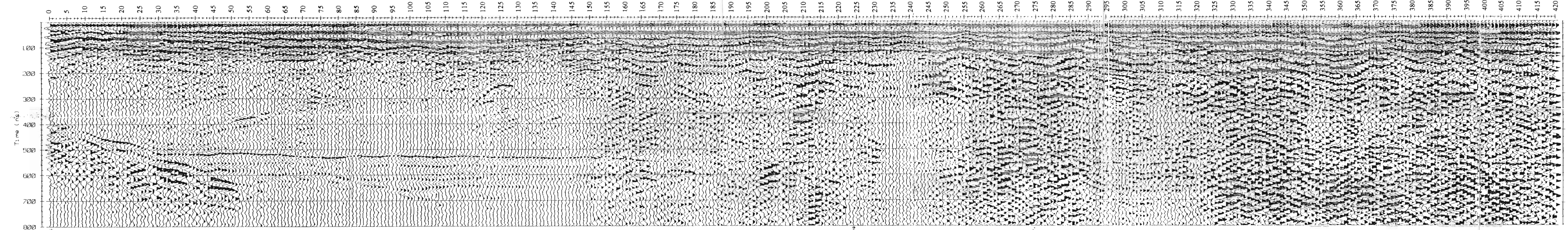


NGU GEORADARPROFIL P2 HASLEMOEN VÅLER KOMMUNE, HEDMARK	MÅLESTOKK	OBS. JK	Okt. -93
	1:25000	TEGN. EM	Mars -95
		TRAC.	
	KFR.		
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 95.052-03	KARTBLAD NR. 2016 II	

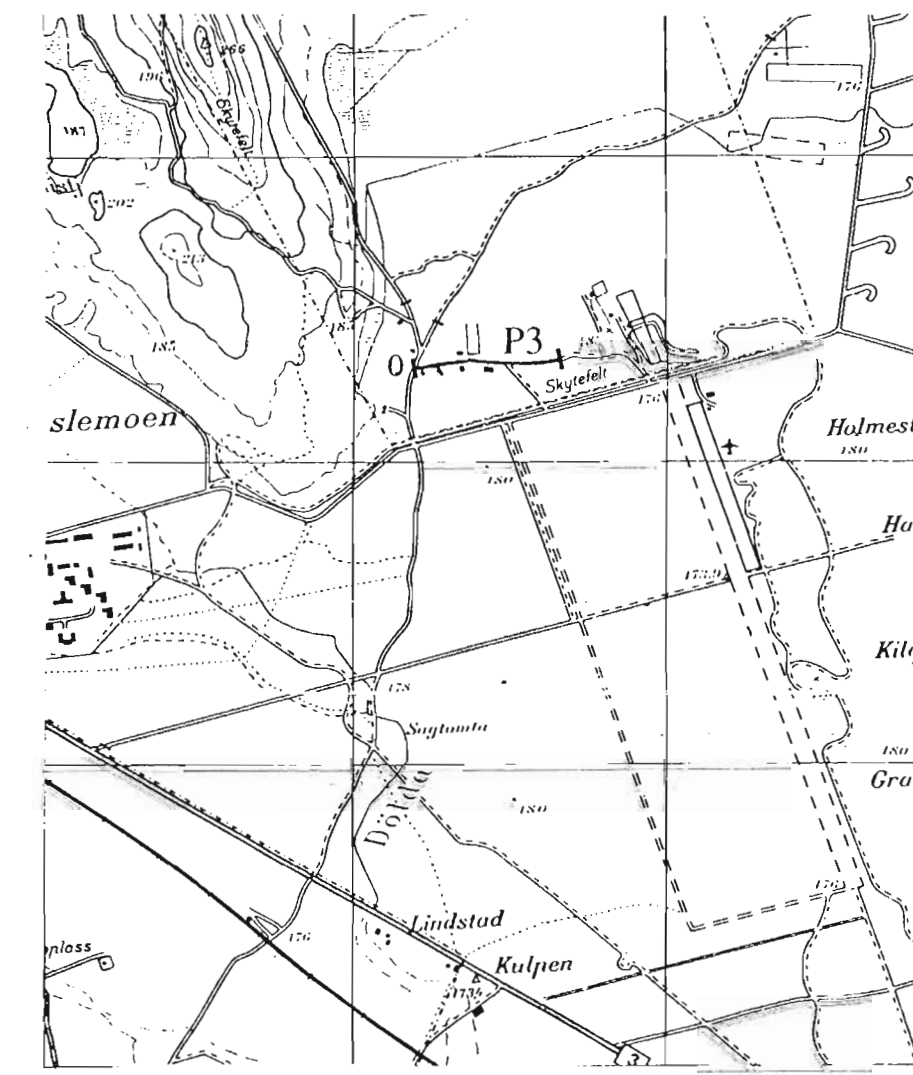
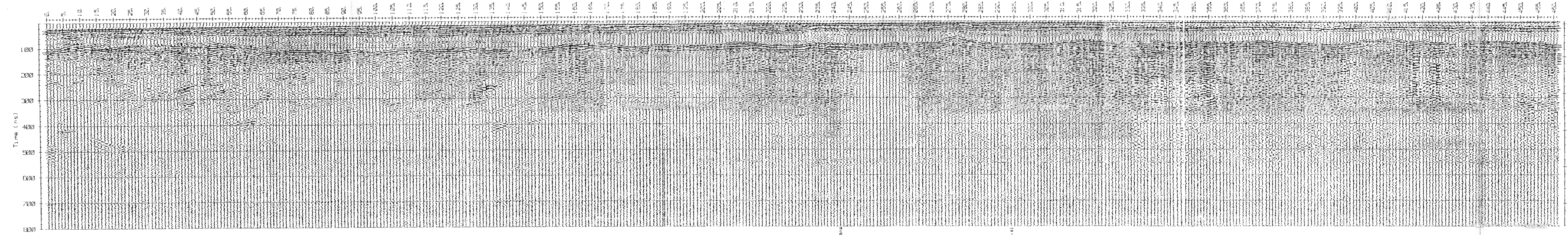
P3, 50 MHz, 400 V



P3, 50 MHz, 1000 V

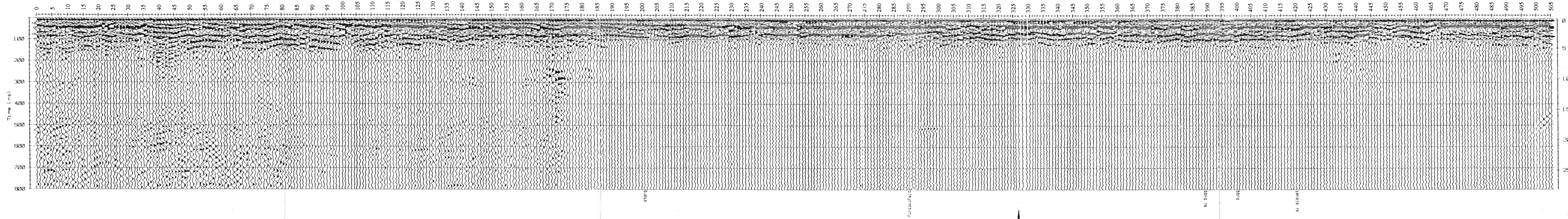


P3, 200 MHz, 400V

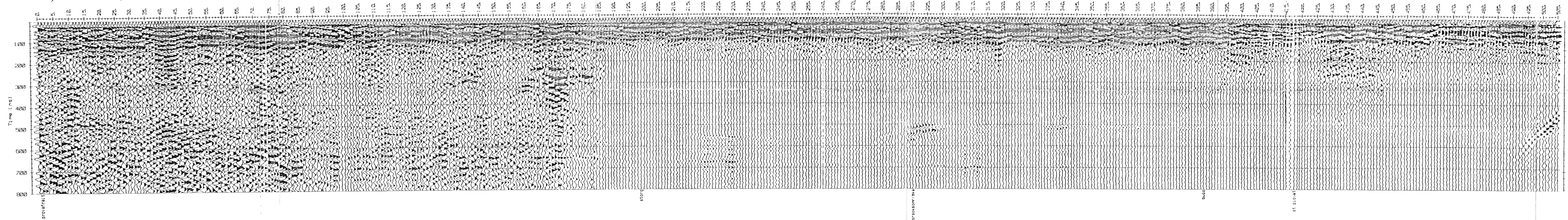


NGU GEORADARPROFIL P3			MÅLESTOKK	OBS. JK	Okt -93
HASLEMOEN			1:25000	TEGN. EM	Mars -95
VÅLER KOMMUNE, HEDMARK				TRAC.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM				KFR.	
TEGNING NR. 95.052-04		KARTBLAD NR. 2016 II			

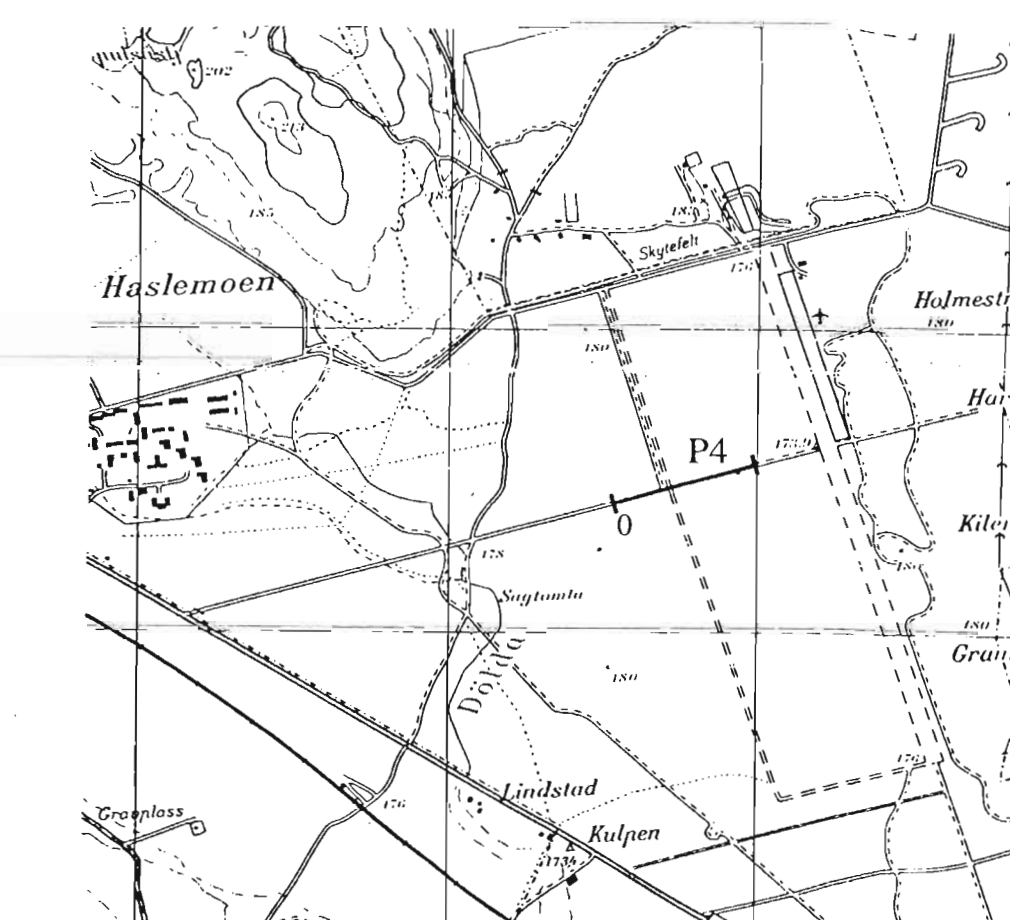
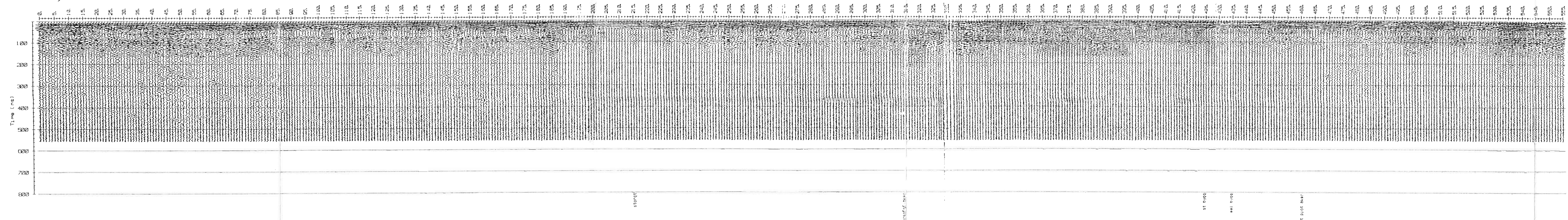
P4, 50 MHz, 400 V



P4, 50 MHz, 1000 V

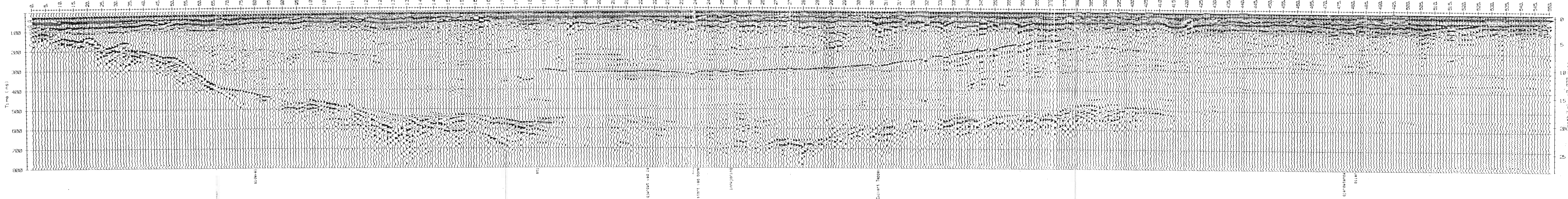


P4, 200 MHz, 400V

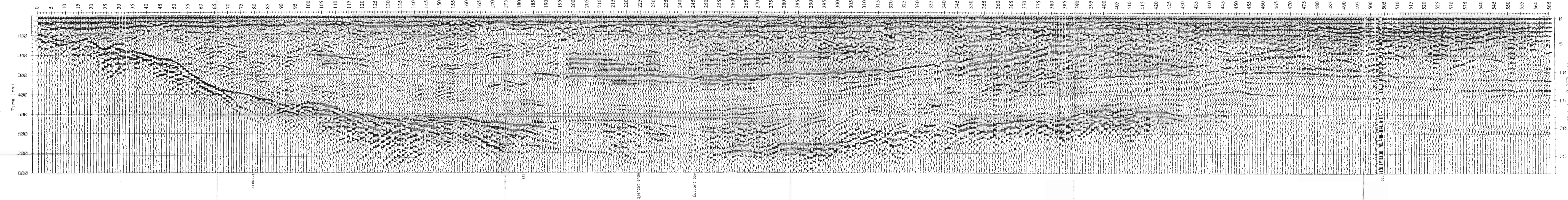


NGU GEORADARPROFIL P4			MÅLESTOKK	OBS. JK	Okt. '93
HASLEMOEN			1:25000	TEGN. EM	Mars '95
VÅLER KOMMUNE, HEDMARK				TRAC	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM				KFR	
				TEGNING NR.	KARTBLAD NR.
				95.052-05	2016 II

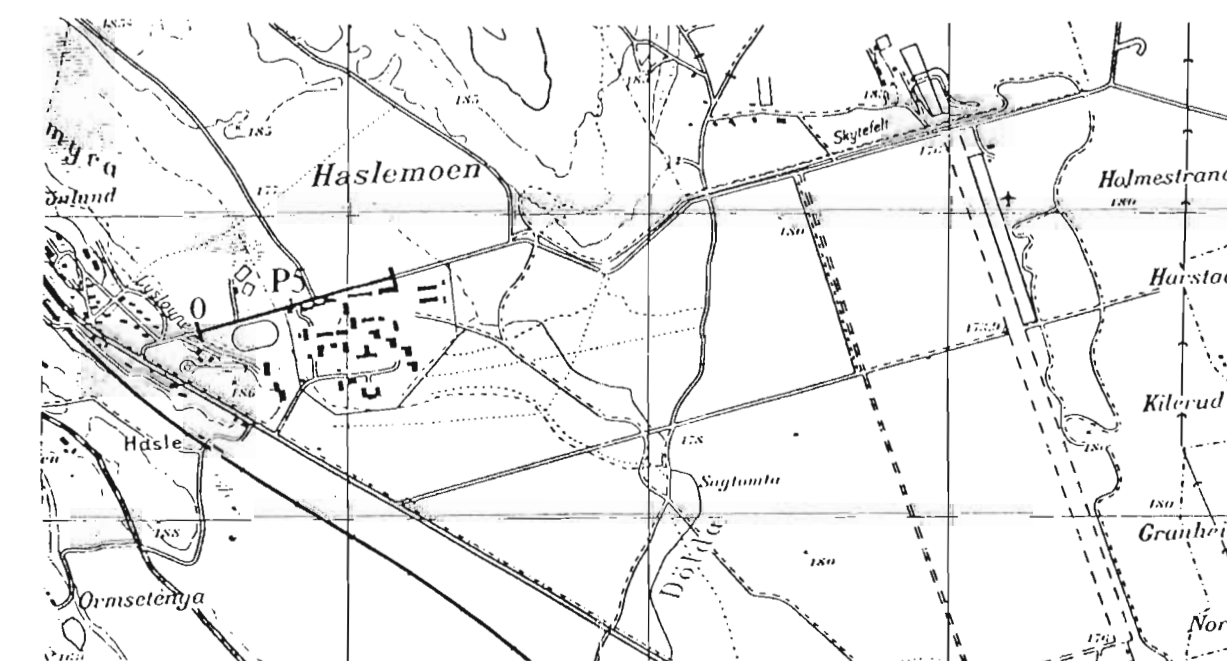
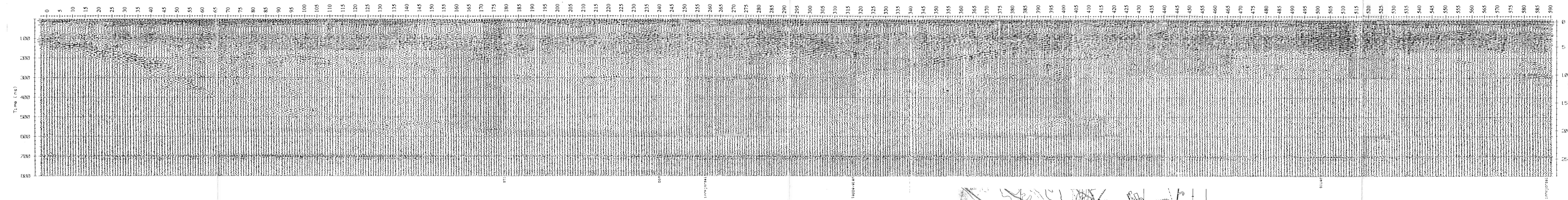
P5, 50 MHz, 400 V



P5, 50 MHz, 1000 V

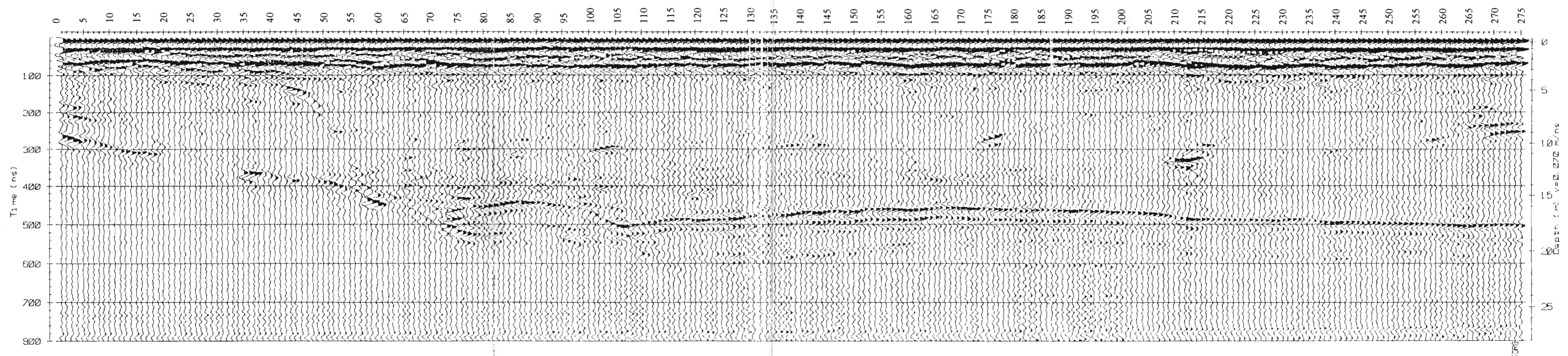


P5, 200 MHz, 400V

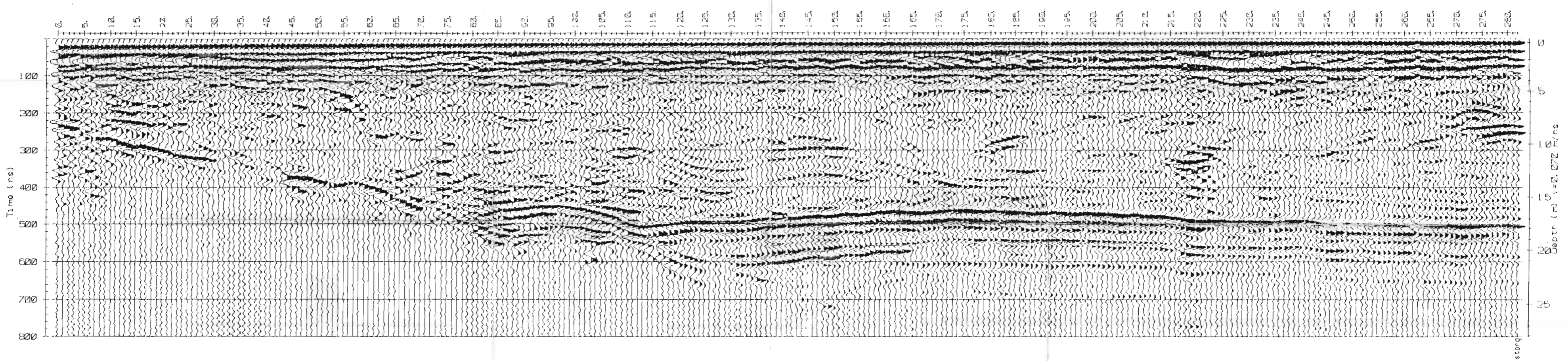


NGU GEORADARPROFIL P5 HASLEMOEN VÅLER KOMMUNE, HEDMARK NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	MÅLSTOKK 1:25000	OBS. JK Oki-93
	TRAC KER	TEGN. EM Mars-95
TEGNING NR. 95.052-06	KARTBLAD NR. 2016 II	

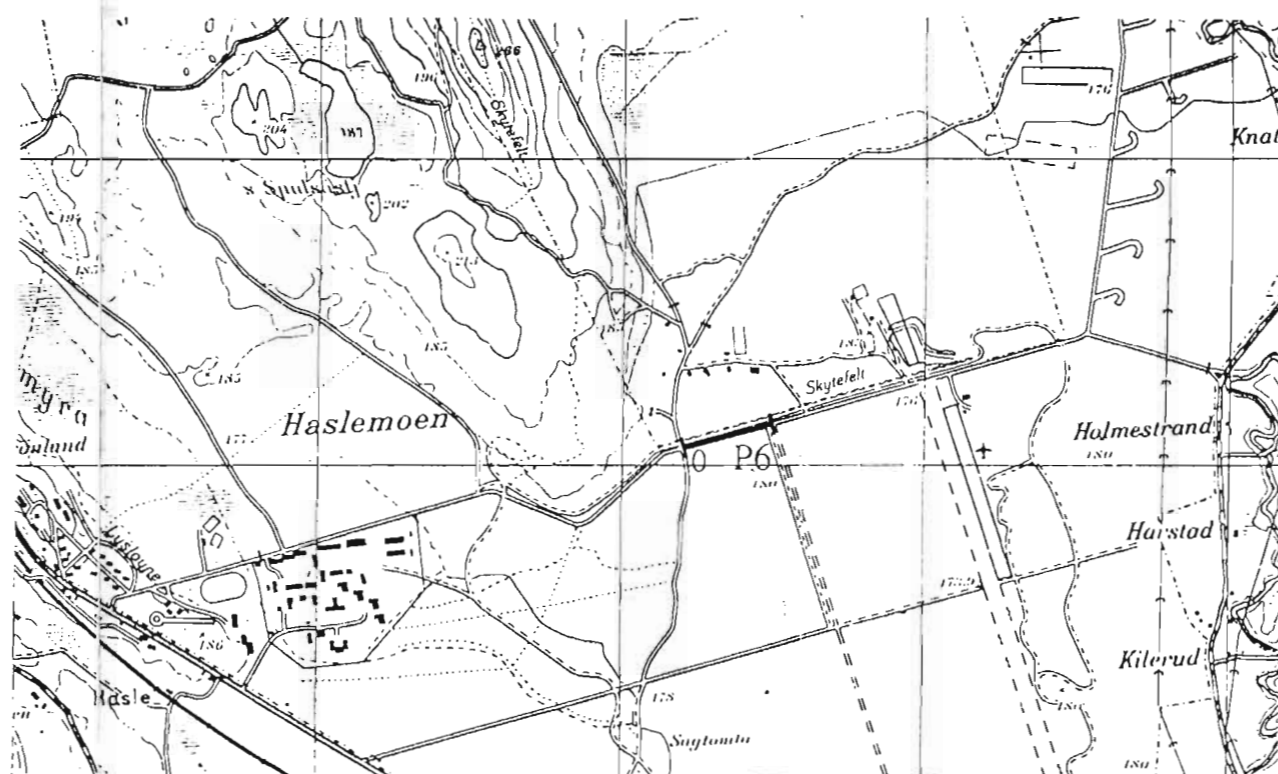
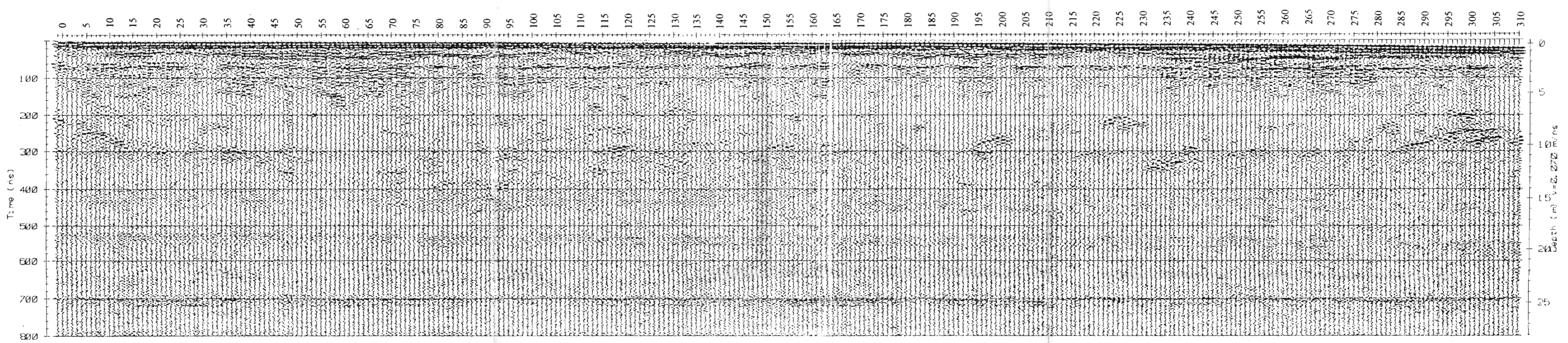
P6, 50 MHz, 400 V



P6, 50 MHz, 1000 V



P6, 200 MHz, 400V



NGU GEORADARPROFIL P6 HASLEMOEN VÅLER KOMMUNE, HEDMARK	MÅLESTOKK	OBS. JK	Okt. -93
	1:25000	TEGN. EM	Mars -95
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD NR.	
	95.052-07	2016 II	