

NGU Rapport 94.037

Georadarundersøkelser i natur-  
steinsforekomster.  
Eksempel fra Røyken.

|   |          |   |                            |  |
|---|----------|---|----------------------------|--|
| Rapport nr. 94.037  |          | ISSN 0800-3416                                      | Gradering: Åpen            |  |
| Tittel:<br>Georadarundersøkelser i natursteinsforekomster. Eksempel fra Røyken.   |          |   |                            |  |
| Forfatter:<br>Tom Heldal og Torleif Lauritsen   |          | Oppdragsgiver:<br>NGU                               |                            |  |
| Fylke:<br>Buskerud  |          | Kommune:<br>Røyken                                  |                            |  |
| Kartbladnavn (M=1:250.000)<br>Oslo  |          | Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)<br>1814 II Drøbak |                            |  |
| Forekomstens navn og koordinater:<br>Høgåsen 5760 66220   |          | Sidetall: 23  | Pris:45,-                  |  |
| Feltarbeid utført:<br>15.-16.10.93  |          | Rapportdato:<br>27.05. 1994                         | Prosjektnr.:<br>67.2552.10 | Ansvarlig: <i>Henni Barkley</i><br><i>Jan S. Rønning</i> |
| Sammendrag:<br><p>Det er foretatt georadarmålinger langs 5 korte profiler i Høgåsen steinbrudd ved Røyken. Hensikten med målingene var å finne ut om georadar kan benyttes til påvisning av sprekker i naturstein. Undersøkelsen ble foretatt med 200 MHz antenner.</p> <p>Georadaropptakene viser 8 skrå reflektorer som korresponderer med steiltstående enkeltsprekker som sees i dagen. Målingene har i tillegg gitt indikasjoner på flere enkeltsprekker som ikke lar seg påvise i dagen. Reflektorer som ikke uten videre kan sies å tilskrives sprekker verifisert ved observasjoner i dagen, kan ha ulike årsaker. De kan vise et reelt forløp av en sprekk, men kan også representere sidereflekser fra sprekker. Variasjoner i reflektivitet i opptakene er tolket til å representere ulikheter i oppsprekking. Partier uten reflektorer kan være massive.</p> <p>Ut fra de undersøkelsene som her rapporteres kan en konkludere med at georadar vil være et nyttig, supplerende redskap i undersøkelser av natursteinsforekomster.</p> |          |   |                            |  |
| Emneord:  | Geologi  | Bygnings-stein                                      | Geofysikk                  |  |
|   | Georadar | Granitt   | Sprekkesone                |  |
|   |          |   | Fagrapport                 |  |

## INNHOOLD

|   |  |   |
|---|--|---|
| 1 | INNLEDNING .....                       | 4 |
| 2 | GEOLOGISK BESKRIVELSE .....            | 4 |
| 3 | UTFØRELSE .....                        | 5 |
| 4 | RESULTATER OG KOMMENTARER .....        | 4 |
| 5 | DISKUSJON OM METODENS ANVENDELSE ..... | 6 |
| 6 | KONKLUSJON .....                       | 6 |
| 7 | REFERANSER .....                       | 6 |

## VEDLEGG

Vedlegg 1. Metodebeskrivelse

## KARTBILAG

94.037 -01    Oversiktskart            M 1:50.000

## FIGURER

- Figur 1. Sprekkekart og bilde av lokaliteten
- Figur 2. Georadaropptak av profil 1.
- Figur 3. Tolkning av profil 1.
- Figur 4. Georadaropptak av profil 2.
- Figur 5. Tolkning av profil 2.
- Figur 6. Georadaropptak av profil 3.
- Figur 7. Tolkning av profil 3.
- Figur 8. Georadaropptak og tolkning av profil 4.
- Figur 9. Georadaropptak og tolkning av profil 5.

## 1 INNLEDNING

Ett svært viktig kriterium for lønnsom brytning av natursteinsforekomster er homogent og lite oppsprukket fjell. Ofte kan slike trekk være vanskelig å forutse i et brudd, og alle metoder som kan øke forhåndskunnskapen om bergartskvaliteter i forekomster vil følgelig være av interesse.

Georadar har vist seg som et meget nyttig instrument for undersøkelser i løsmasser, men kan også være anvendelig for fastfjellsundersøkelser, noe flere forsøk de senere år har gitt indikasjoner på (Piccolo, 1992; Kong m.fl., 1992; Kong & Heldal, 1992; Rønning & Lauritsen, 1993). Blant annet er det påvist sprekker og sprekkesoner, forutsatt at disse har vært "åpne" nok til at radaren er i stand til å registrere dem.

I dette forsøket ble det foretatt målinger i to natursteinsbrudd av noe forskjellig karakter med sikte på å teste metodens anvendelighet.

I et trondhemittbrudd på Tolga ble det forsøkt å følge skråttstilte sprekker (benker) fra der de skjærer overflaten og nedover i dypet ved hjelp av to tverrprofiler og ett langsgående profil. Resultatene ble negative pga. for stor mektighet av skrotmasser oppå fast fjell; disse skrotmassene var av så inhomogen karakter (fra store blokker til sand) at radarsignalene ble kraftig forstyrret. Rapporten vil derfor ikke gå nærmere inn på dette forsøket.

Det andre forsøket ble utført i et granittbrudd ved Høgåsen, Røyken kommune ("Røyken-granitt"), der fem korte profiler ble målt. Det undersøkte området, som var en del av en gjenstående pall, var rensket for løsmasser slik at en hadde rimelig kontroll på alle steiltstående sprekker samt enkelte horisontale sprekker forekommende ned til ca. 5 meter. Se figur 1.

## 2 GEOLOGISK BESKRIVELSE

Røyken-granitten er en brunlig rosa, grovkornet granitt av permisk alder. Bergarten er jevnt over homogen og ensartet, men oppsprekning fører lokalt til problemer med å oppnå store blokker samt misfarging (hydrotermal omvandling av plagioklas i og nær viktige sprekkesoner).

Den viktigste sprekkeretningen er nord-syd med et fall på ca. 80 grader mot vest; disse sprekkesonene opptrer med uregelmessig mellomrom (3 - >30 meter) og karakteriseres av tett (< 0,5 meter avstand) oppsprekning innenfor sonene. Retningen samsvarer med den generelle hovedretning til sprekker og forkastninger innen Oslofeltet.

Mellom disse sprekkesonene står granitten opp som nord-syd gående rygger i terrenget, av varierende bredde avhengig av avstanden mellom sprekkesonene. I disse ryggene dominerer steile, øst-vest orienterte sprekker (tverrsprekker), men også andre sprekker av varierende orientering finnes (figur 1). Horisontale sprekker (benkning) opptrer gjerne med flere meters mellomrom.

Det er en klar korrelasjon mellom sprekketetthet generelt og avstanden mellom hovedsprekkesonene; hvor avstanden mellom sonene er stor er også avstanden mellom tverrsprekkene stor. Således gir de bredeste ryggene best avkastning i form av blokkstørrelse.

I figur 1 er tegnet et kart over alle synlige sprekker i den pallen radarmålingene ble foretatt. Radarprofilene (P1 - P5) er også tegnet inn.

Pallen representerer en 12 meter bred rygg som er "klemt" mellom to nord-syd gående sprekkesoner. På vestsiden av pallen er en brattkant, og på østsiden finner vi et søkk i terrenget.

Sprekkene i pallen varierer med hensyn til hvor åpen eller markert de er. Noen av de mest tydelige og utholdende sprekke er leirfylte, mens andre utgjør nærmest umerkelige brudd. Det vil være å forvente at førstnevnte vil være lettere å registrere med georadaren enn sistnevnte.

Det er utarbeidet geologiske tolkningsprofiler (også langs P1 - P5) utelukkende basert på observasjoner og kompassmålinger av sprekker (figur 3, 5, 7, 8, 9). Disse profilene vil i det følgende bli sammenlignet med radarprofilene.

### **3 UTFØRELSE**

Målingene ble utført med georadar av typen pulseEKKO IV (Sensors & Software Inc., Canada). Det ble benyttet 200 MHz-antenner med 400 V sender. Alle profilene er målt med total opptakstid på 800 ns. Samplingsintervallet var hele tiden 0,8 ns. Signalene ble summert ("stacket") 32 ganger ved hvert målepunkt. Antenneavstanden ble holdt til 1 meter og flyttavstanden 0,3 meter. I praksis vil man ikke være istand til å flytte antennene nøyaktig 0,3 meter. Det vil derfor alltid være tilfeldige eller systematiske feil i flyttavstanden. Posisjonene og lengdene, som er angitt på opptakene, vil derfor ikke stemme nøyaktig med avstander på kartskissene. I slike tilfeller kan en støtte seg til merknadene om kryssende profiler og 10-meters angivelser, for en eksakt plassering av profilene. Posisjonsangivelsene på toppen av opptakene forteller forøvrig hvilken vei profilene er målt. Ved utplotting av opptakene har en benyttet lik dempningsfaktor (2,0 dB/m) på alle profilene slik at reflektiviteten er sammenlignbar fra profil til profil. Den benyttede dempningsfaktoren er noe større enn det som er anbefalt

for granitt (0,1-1 dB/m), men den er satt såpass høyt for om mulig å framheve svake reflektorer. En mer utførlig beskrivelse av georadarmetoden er presentert i vedlegg 1.

Profilenes plassering er vist i figur 1.

#### 4 RESULTATER OG KOMMENTARER

Georadaropptakene er vist på figurene 2, 4, 6, 8 og 9. For profilene P-1, P-2 og P-3 har en benyttet prosesseringsteknikken "trace difference". Metoden går ut på at hver trace blir erstattet med differansen mellom tracen selv og den foregående tracen. Dette resulterer i at raskt skiftende hendelser (diffraksjoner, punkt-reflektorer og steiltstående sprekker) framheves, mens flattliggende og konstante hendelser blir undertrykt. Reflektoren som markerer terrengoverflata, er ikke horisontal, men skrå oppover mot slutten av profilet. Dette skyldes temperaturøkning i elektronikken etterhvert som målingene skrider fram (drift). Angivelsen av toveis gangtid ned til de ulike reflektorer vil derfor være noe ukorrekt i venstre del av opptakene. Som utgangspunkt for plotting av dybdeskala, har en valgt 0,13 m/ns som bølgehastighet (granitt). Halve gangtiden multipliseres med 0,13 m/ns for å få dyp ned til de ulike reflektorene. Reflektorenes styrke er proporsjonal med sprekkens tykkelse, uansett vanninnhold.

De mest sikre og markerte reflektorene er tegnet i egen tolkningsfigur etter hvert georadaropptak. Disse figurene inkluderer også geologiske tolkninger som beskrevet i kapittel 2. Se figurene 3, 5, 7, 8 og 9. Skrå reflektorer med en vinkel  $> 45^\circ$  er migrert, dvs. flyttet til riktig posisjon.

##### PROFIL 1 (P-1):

En undulerende tilnærmet horisontal reflektor sees fra posisjon 0 (50 ns) til posisjon 10 (60 ns). En annen horisontal reflektor går fra posisjon 13,2 til 18 (45 ns). Disse to reflektorene markerer en overgang mellom liten reflektivitet (over) til kraftig reflektivitet (under). Den kraftige reflektiviteten under dette nivået (ca. 50 ns) skyldes trolig større grad av oppsprekking - der skillet går langs en horisontal sprekk E (benkeflate). En tolkning av en slik sprekk ca. 2,5 m under pallens overflate samsvarer med avstanden ned til nærmeste nye benk utenfor pallen. Mellom ca. posisjon 9 og ca. posisjon 13 viser opptaket imidlertid kraftig reflektivitet ned til 50 ns. Dette skyldes trolig sidereflekser fra en steiltstående sprekk. En meget svak, skrå reflektor går fra posisjon 7,2 (0 ns) til posisjon 5,1 (50 ns). Denne korresponderer med en sprekk A som sees i dagen ved posisjon 7,2. En tilsvarende meget svak, skrå reflektor sees ved posisjon 9,6 (0 ns) til posisjon 6,9 (60 ns). Her sees en sprekk B i dagen (ved posisjon 9,6). Ved profilets slutt sees en tredje svak, skrå reflektor som går fra posisjon 19,8 (0 ns) til posisjon 18 (30 ns). Denne representerer en sprekk D som sees i dagen ved posisjon 19,8.

Profilen krysser også andre steiltstående sprekker (se figurene 1 og 3), men disse sees ikke i georadaropptaket. En hyperbelformet reflektor (bow tie) med topp-punkt ved posisjon 7 (80 ns) kan skyldes refleksjon fra en depresjon i benken E. Denne depresjonen ligger i såfall mellom sprekke A og B. Ellers sees flere reflektorer som skrår nedover fra endepunktene av profilen og inn mot midten. Disse reflektorene har en noe usikker årsak, men de kan skyldes reelle sprekker som starter nedenfor det nivået hvor en har kontroll i dagen. En kort, undulerende reflektor sees nedenfor sprekke E fra posisjon 0 (75 ns) til posisjon 4,5 (75 ns). Denne samsvarer med en horisontal sprekke F (benkeflate) som ligger under benken E.

#### PROFIL 2 (P-2):

En skrå reflektor går fra posisjon 8,1 (0 ns) til posisjon 3,6 (80 ns). Denne korresponderer med sprekke C som sees i dagen ved posisjon 8,1. Parallelt med denne går en tilsvarende reflektor fra posisjon 9,9 (0 ns) til posisjon 6 (70 ns). Her sees sprekke B i dagen (ved posisjon 9,9). En tredje skrå reflektor går fra posisjon 15 (60 ns) til posisjon 18 (0 ns). Denne er sammenfallende med sprekke D som sees i dagen ved enden av profilen. Figurene 1 og 3 viser forøvrig flere steiltstående sprekker som krysses av profilen, men bare tre av disse kommer altså fram på dette georadaropptaket. Sentralt i opptaket går en skrå reflektor mer eller mindre sammenhengende fra posisjon 3 (135 ns) til posisjon 14,1 (65 ns). Denne er tolket som refleksjon fra en reell sprekke. En horisontal reflektor med ujevn styrke, går fra posisjon 0 (80 ns) til posisjon 17,1 (70 ns). Denne reflektoren markerer ikke et like tydelig horisontalt skille mellom liten refleksivitet (over) og stor refleksivitet (under) som i profil 1. Likevel ser det ut til at en har flere svake reflektorer under denne reflektoren enn over. Reflektoren korresponderer med sprekke F (benkeflate), men kan også representere siderefleksjon fra den østlige eller den vestlige kanten som begge går parallelt med profil 2. (Avstanden til kanten i øst er 4,5 meter. Med en hastighet på 0,13 m/ns tilsvarer dette 69 ns i toveis gangtid). Ovenfor denne reflektoren sees en meget svak horisontal reflektor fra posisjon 0 (50 ns) til posisjon 4,8 (50 ns). Denne samsvarer med benkeflaten E. Benkeflatene E og F er trolig videreføring av tilsvarende benkeflater i profil 1.

#### PROFIL 3 (P-3):

En meget svak, skrå reflektor går fra posisjon 7,2 (0 ns) til posisjon 4,2 (50 ns). Parallelt med denne går en noe kraftigere, skrå reflektor fra posisjon 10,2 (0 ns) til posisjon 7,2 (50 ns). Disse to reflektorene er sammenfallende med henholdsvis sprekke C og B som sees i dagen (se figur 1). Sprekken D er i dette opptaket identifisert som en svak, skrå reflektor som går fra posisjon 18 (0 ns) til posisjon 15 (40 ns). Andre sprekker som er påvist, og som krysser profilen, kan ikke sees på opptaket. Opptaket ligner forøvrig i hovedtrekk mye på opptaket fra profil 1. Et markert skille i refleksivitet sees ved ca. 50 ns. Ved dette nivået sees en overgang mellom liten refleksivitet (over) og forholdsvis stor refleksivitet (under). Refleksiviteten gjenspeiler trolig graden av oppsprekking. En ekstrapolering av benkeflaten E fra profilene

1 og 2 vil kunne korrespondere med dette skillet i reflektivitet. Reflektorene kan imidlertid også skyldes sidereflekser fra hovedsprekken i øst, som går parallelt med profilet. Avstanden mellom profilet og sprekken er ca. 3 meter. Med en hastighet på 0,13 m/ns gir dette en toveis gangtid på ca. 46 ns. En skrå reflektor går fra posisjon 3 (140 ns) til posisjon 9,6 (110 ns). Denne representerer trolig en skråttliggende sprekk, tilsvarende den som er indikert sentralt i profil 2.

#### PROFIL 4 (P-4):

Karakteristisk for dette opptaket er flere kraftige reflektorer som skrår nedover fra endepunktene av profilet og inn mot midten. De kraftigste av disse er avmerket på tolkningsprofilen (fig.8). Reflektorene kan være reflekterte bølger fra reelle sprekker ved henholdsvis den vestlige kanten (profilets start) og den østlige kanten/hovedsprekken (profilets slutt). Dersom de skrå reflektorene ved profilets slutt migreres, får de et fall tilnærmet sprekkesonens fall. Reflektorene forstyrrer sannsynligvis bildet av svakere reflektorer. En svak reflektor går fra posisjon 1,5 (60 ns) til posisjon 7,5 (40 ns). Over denne reflektoren kan det se ut til at bergarten er lite oppsprukket; dvs. meget svake eller ingen reflektorer. Denne reflektoren kan være sammenfallende med en tilsvarende overgang til større reflektivitet på profilene 1, 2 og 3 (jfr. sprekk E).

#### PROFIL 5 (P-5):

I starten av profilet sees flere kraftige reflektorer helt ned til ca. 150 ns. Karakteristisk for disse er at de stopper ved posisjon 3,0. Ved denne posisjonen har en kartlagt en vertikal sprekk G. Reflektorene kan indikere flere mer eller mindre horisontale sprekker (benkeflater) som stopper mot denne sprekken. Reflektorene kan alternativt representerer sidereflekser og gjentakelser av disse (ringing) fra to tettliggende sprekker, som går mer eller mindre parallelt på begge sider av profilet. En svak reflektor skrår fra posisjon 3 (85 ns) til ca. posisjon 8 (55 ns). Over denne reflektoren viser opptaket svært liten reflektivitet, noe som tyder på at berggrunnen over ikke er oppsprukket. Reflektoren kan være sammenfallende med det før nevnte skillet mellom liten og stor reflektivitet på de andre profilene (jfr. sprekk E). En kraftigere reflektor sees fra posisjon 6,3 (85 ns) til profilets slutt ved posisjon 9,3 (75 ns). Denne kan representere en benkeflate. Ved ca. 155 ns går en horisontal reflektor som ser ut til å gå gjennom hele profilet. Denne reflektoren kan også sees på profil 2, og kan representere en dyptliggende benkeflate.



## 5 DISKUSJON OM METODENS ANVENDELSE

Det er klarlagt i dette og tidligere forsøk at radarmålinger gir informasjon om oppsprekning og uregelmessigheter i berggrunnen.

Det er imidlertid viktig å ta hensyn til mulige feilkilder som i verste fall kan resultere i betydelig feiltolkning. De vesentligste feilkilder som kan forekomme i dette forsøket er følgende:

- \* Sidereflekser, f.eks. fra sprekker parallelt med profilet og/eller brattkant. Grovt sett skyldes disse at radarsignalenes tredimensjonale utbredelse overføres til et todimensjonalt profil. I P1 og P3 kan den kraftige reflektiviteten i deler av profilene skyldes sidereflekser.
- \* Punktreflekser som fremkommer som hyperbler i profilet.
- \* Repetisjoner av kraftige reflektorer, multipler. Disse fremkommer som parallelle "falske" reflektorer under en "ekte" reflektor i avtakende intensitet.

En riktig tolkning av radarmålinger forutsetter derfor kontinuerlig "kalibrering" etter geologisk informasjon for på den måten å vurdere sannsynligheten av den informasjonen georadaren fremskaffer til enhver tid. Flere radarprofiler i rutenett vil kunne forenkle tolkningen av f. eks. sidereflekser.

I dette forsøket har en prøvd å gjøre dette, og tolkningsprofilene regnes å gi et rimelig korrekt bilde av oppsprekningsmønsteret i den undersøkte pallen.

Men hva kan georadar gi som ikke ordinære geologiske undersøkelser kan gi?

I første rekke kan radar gi dybdeinformasjon som, hvis sammenholdt med overflateobservasjoner, kan være til stor nytte.

Således vil georadar kunne bli en nyttig metode som et ledd i geologiske undersøkelser, men det er lite trolig at radarundersøkelser alene kan brukes som en egen prospekteringsmetode.

I første rekke vil radar være nyttig for å belyse en del spesifikke problemstillinger i en forekomst:

- \* Teste og supplere tolkninger av oppsprekningsmønster basert på overflateobservasjoner.

- \* Undersøke overdekkede områder, f.eks. med utgangspunkt i "kalibrering" i nærliggende, avdekkete områder hvor geologien er kjent.
- \* Måltettete undersøkelser av spesifiserte strukturer; det kan være å følge forkastninger/skjærsoner i dypet og f.eks. undersøke benktetthet under overflaten.

I tillegg vil det for natursteinsindustrien være andre applikasjoner av georadar som vil være til stor nytte. En av disse er kartlegging av dybde til fast fjell under løsmasser og/eller skrotdeponi. Her har georadar tidligere vist seg meget godt egnet (Mauring m.fl., 1992).

I korte trekk kan konkluderes at georadar vil være et nyttig, supplerende redskap i undersøkelser av natursteinsforekomster. Metoden må imidlertid brukes kritisk. Det vil videre være lite hensiktsmessig for et brudd eller en prospektør å be om radarundersøkelser alene i en forekomst; alle forekomstundersøkelser har et mål, og i de fleste tilfeller vil grunnlaget for å nå det målet være geologiske undersøkelser. I noen tilfeller vil radarundersøkelser, i likhet med annen geofysikk og kjerneboring, være et nyttig redskap i de geologiske undersøkelsene.

## **6 KONKLUSJON**

Det synes klart at enkelte av reflektorene i radarprofilen representerer sprekker. Det er godt sammenfall mellom disse og geologiske observasjoner.

I tillegg gir radarprofilene et inntrykk av en blokinndeling av pallen i blokker med mye refleksivitet og blokker med lite refleksivitet. Grensen mellom disse blokkene synes å gå langs lineære strukturer ("brudd"). Et slikt bilde er godt i samsvar med modeller for oppsprekning, der sprekker ofte stopper mot andre sprekker (f.eks. der tett, vertikal oppsprekning stopper mot en benkeflate). Resultatet kan bli en inndeling av blokker med ulik oppsprekningsgrad. Det er derfor ikke usannsynlig at graden av refleksivitet samsvarer med graden av oppsprekning.

Ut fra de undersøkelsene som her rapporteres kan en konkludere med at georadar vil være et nyttig, supplerende redskap i undersøkelser av natursteinsforekomster.

## 7 REFERANSER

Kong, F., Westerdahl, H. & Heldal, T., 1992: Geophysical methods for in situ investigation of building stone quality - a review. *NGI rapport 507041-2*.

Kong, F. & Heldal, T., 1992: Geofysiske metoder for in-situ evaluering av natursteinskvalitet - testresultater. *NGI rapport 507041-3*.

Piccolo, M., 1992: GPR application for the definition of unconformities in a Carrara marble quarry (Italy). *Fourth International Conference on Ground Penetrating Radar*, Finland, Juni 1992.

Mauring, E., Koziel, J. & Tønnesen, J.F., 1992: Geofysiske målinger over trondhjemitforekomst ved Olaberget, Tolga kommune. *NGU rapport 92.285*.

Rønning, J.S. & Lauritsen, T., 1993: Mapping of fracture zones in bedrock using geophysical methods: A case study from the Hvaler region. In A. Gaut: *Guide to Field Excursion II: XXIVth IAH Congress, Ås/Oslo 28. june - 2. july 1993*.

## 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 georadaropptak 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;

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

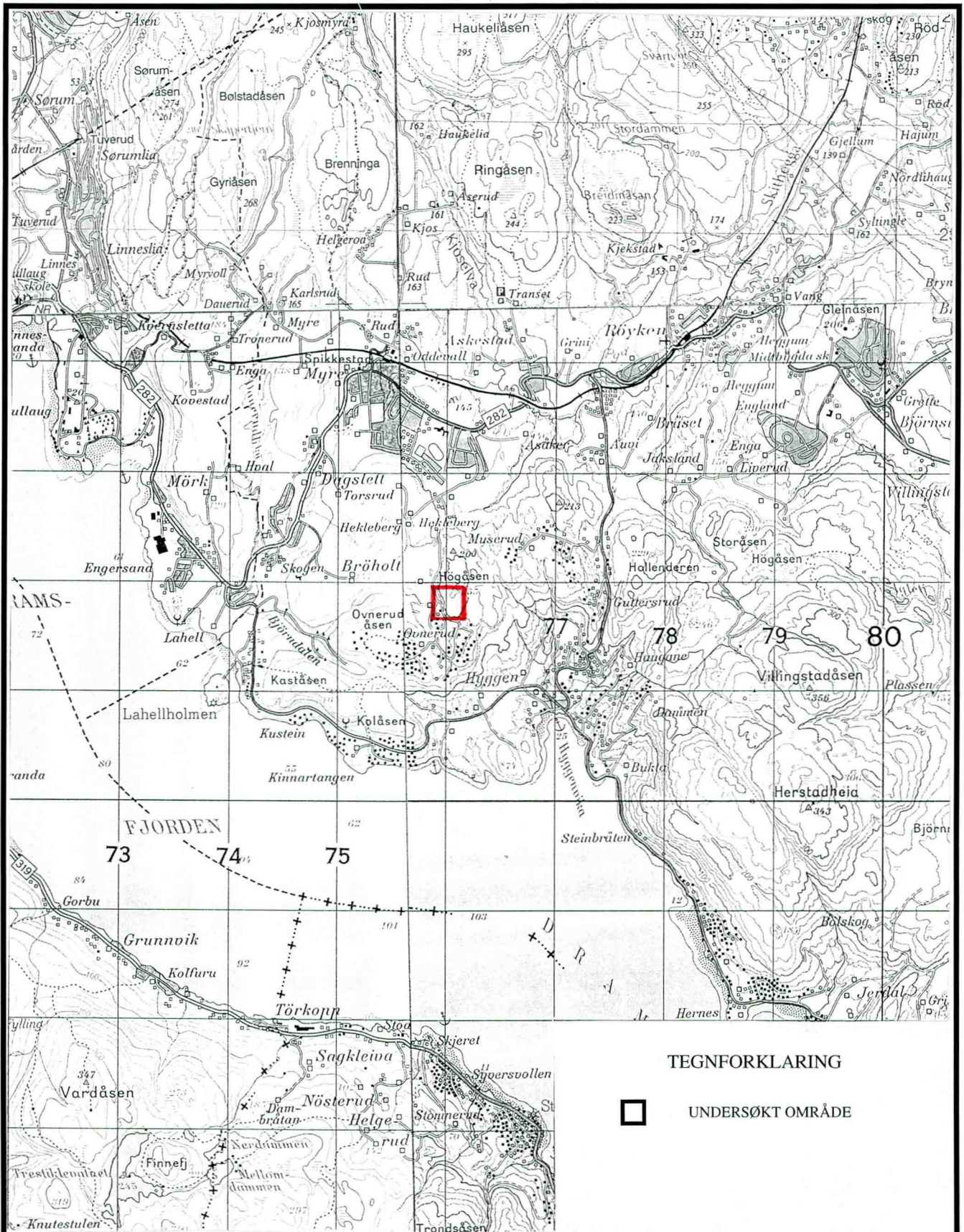
hvor  $\epsilon_r$  er det relative dielektrisitetsstallet.  $\epsilon_r$ -verdien for et materiale vil derfor være en bestemmende faktor for beregning av dyp til reflektorer. I tabellen på neste side er det gitt en oversikt over erfaringstall for  $\epsilon_r$  i en del materialtyper. Tabellen viser 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 demping av bølgepulserne 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.

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

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



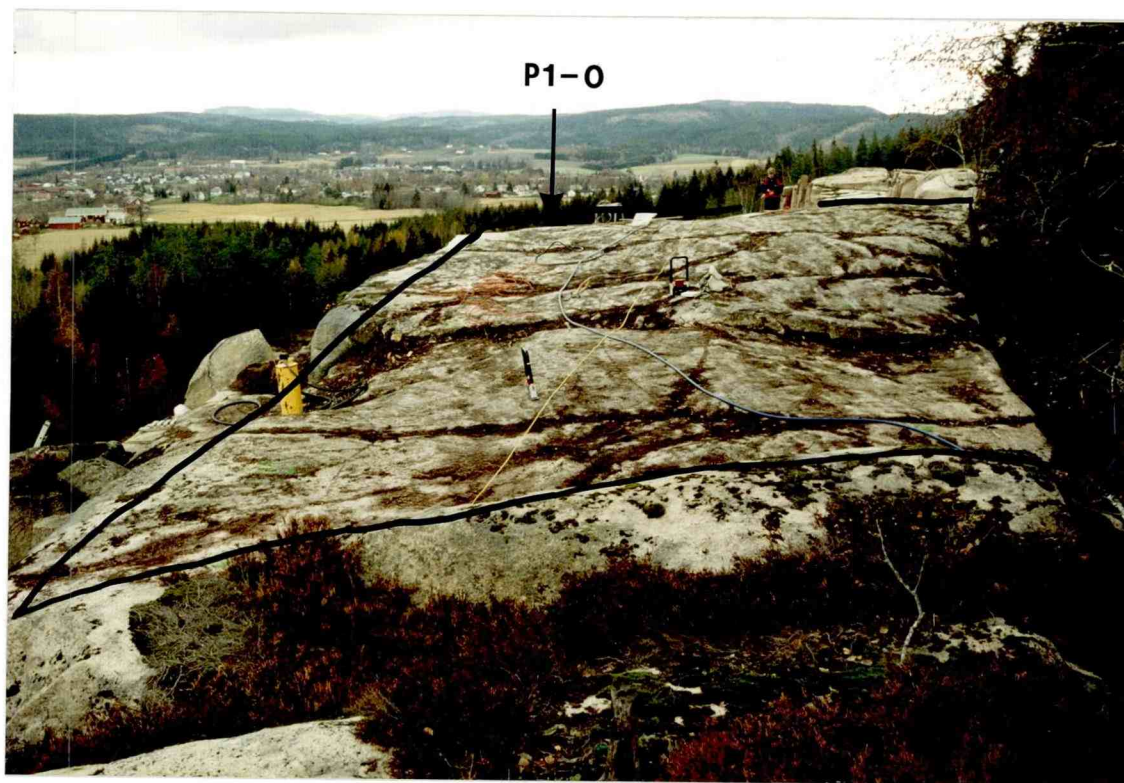
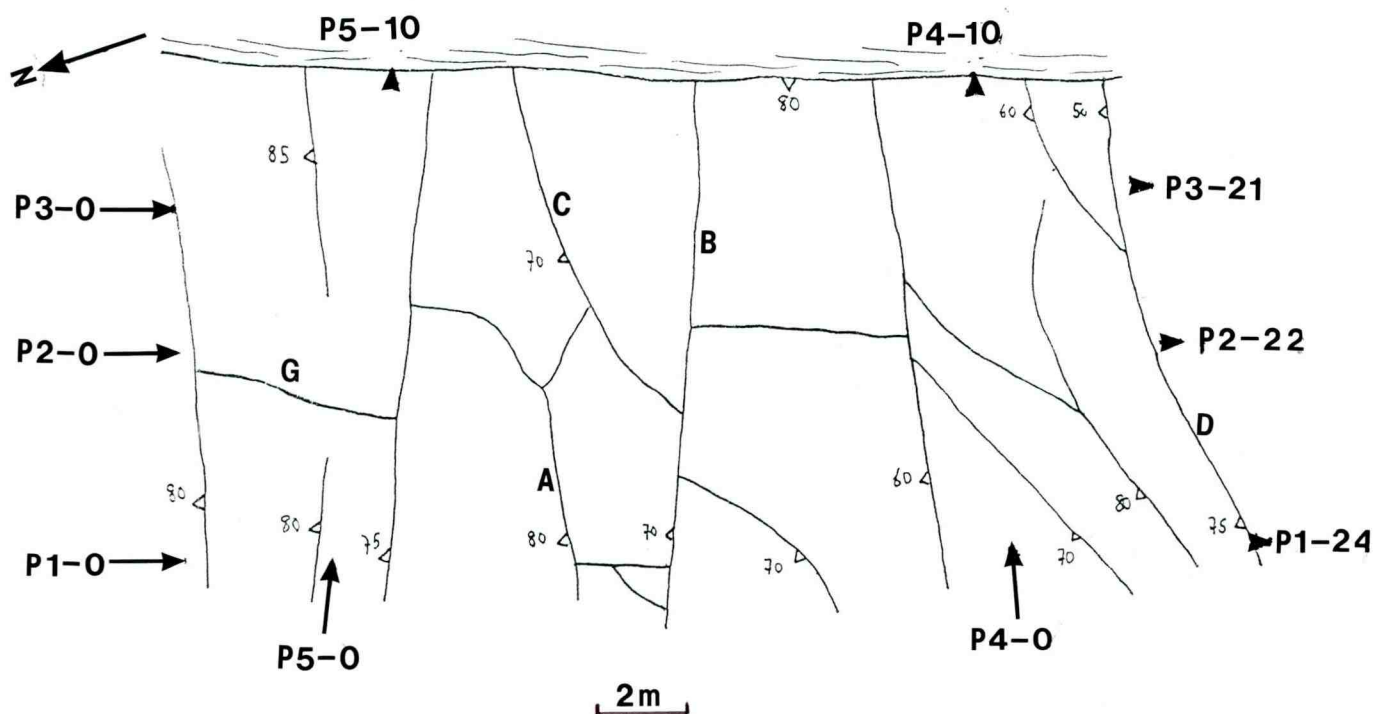


TEGNFORKLARING

□ UNDERSØKT OMRÅDE

|   |                         |                        |            |
|---|-------------------------|------------------------|------------|
| NGU<br>GEORADARMÅLINGER<br><b>HØGÅSEN</b><br>RØYKEN KOMMUNE, BUSKERUD | MÅLESTOKK               | MÅLT T.L./T.H.         | OKT. 1993  |
|   | 1:50.000                | TEGN T.L.              | APRIL 1994 |
|   |                         | TRAC                   |            |
|   |                         | KFR                    |            |
| NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE<br>TRONDHEIM                           | TEGNING NR<br>94.037-01 | KARTBLAD NR<br>1814 II |            |

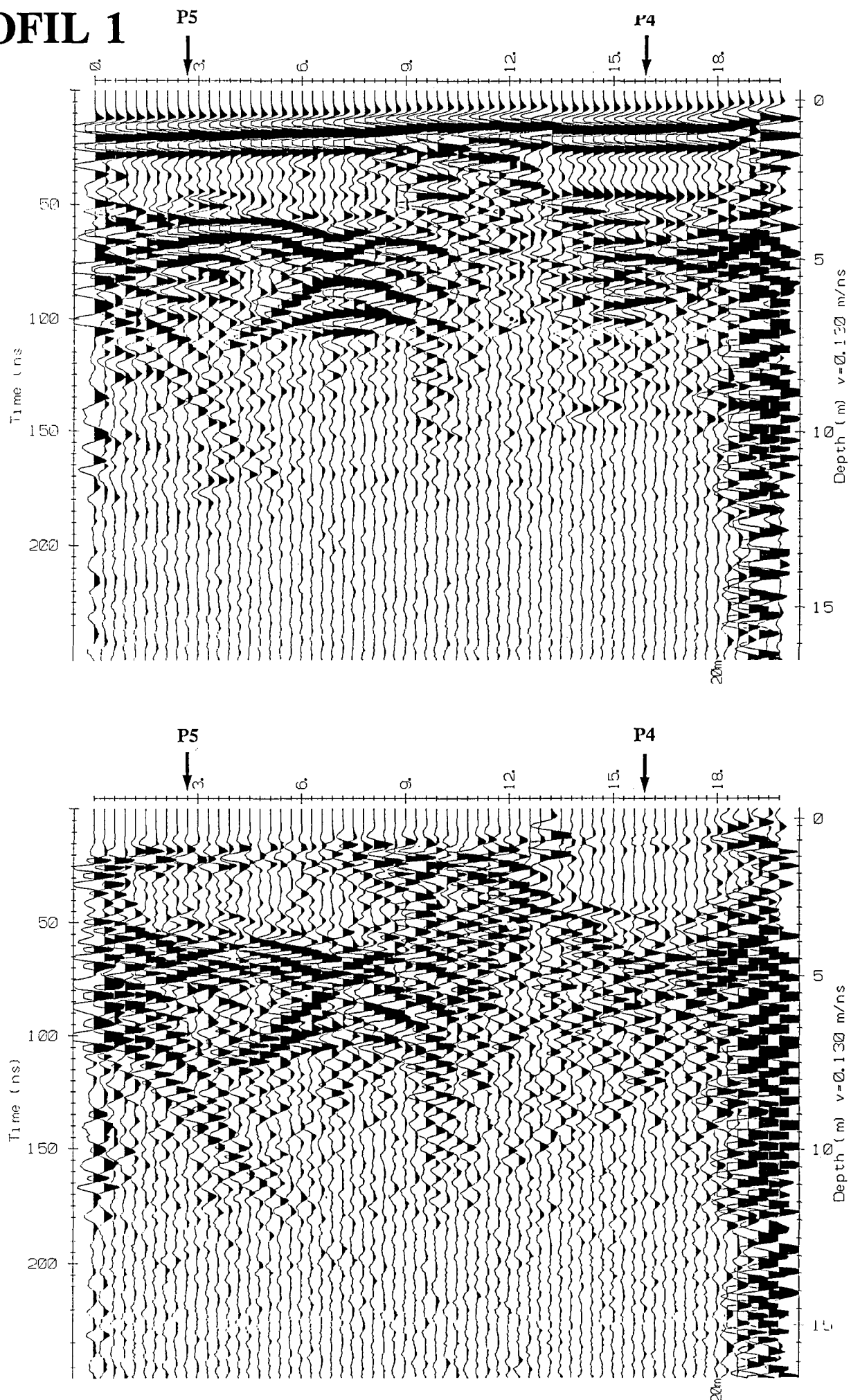




Figur 1

Sprekkekart (øverst) og oversiktsbilde (nederst) over undersøkt del av granittbrudd i Røyken. Bildet er tatt mot nord, dvs. fra høyre på kartet. Kartområdet er avmerket med svart ramme på bildet. På kartet er fallvinkel og fallretning til de viktigste sprekkene markert. Profillinjer er merket P1 - P5. Pilene markerer retning på profilenene slik de er fremstilt i geologiske profiler og radarprofiler (figur 2 - 9) der f.eks. P1-0 er profilets start og P1-24 er profilets slutt (etter 24 meter). Sprekker som gjenkjennes i radarprofilene er merket A, B, C, D og G.

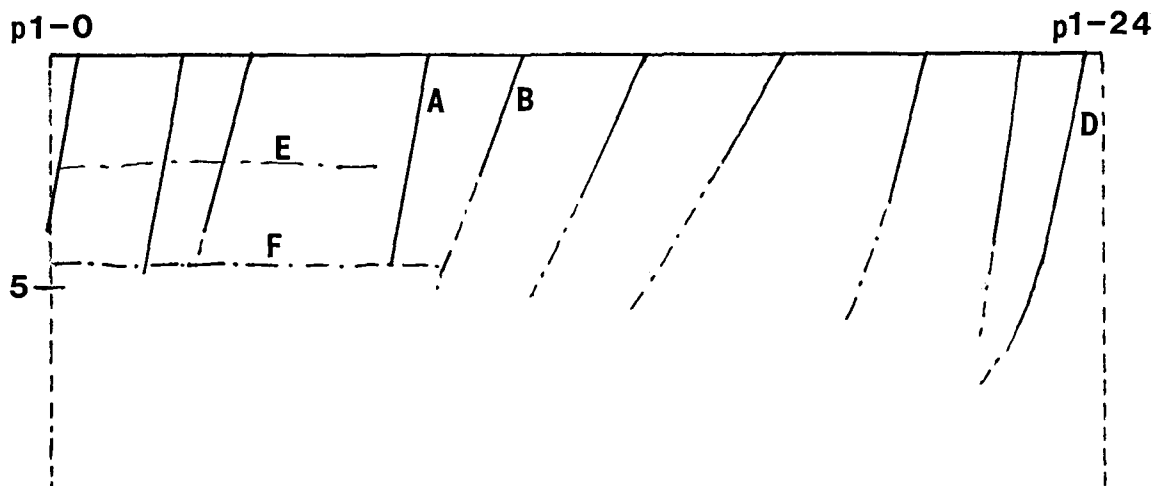
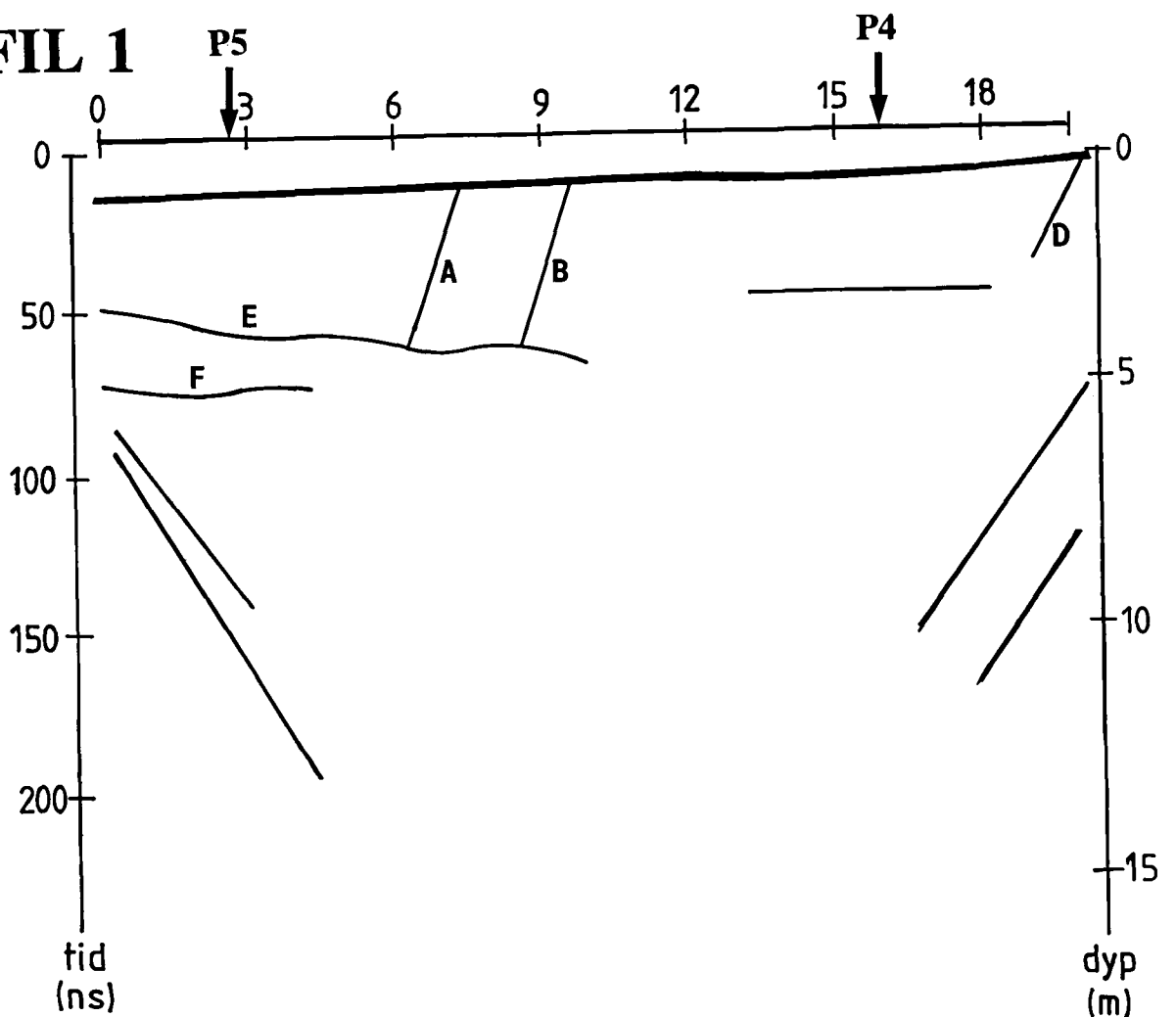
# PROFIL 1



Figur 2. Georadaropptak av profil 1. På det nederste opptaket er prosesseringsteknikken "trace difference" benyttet.

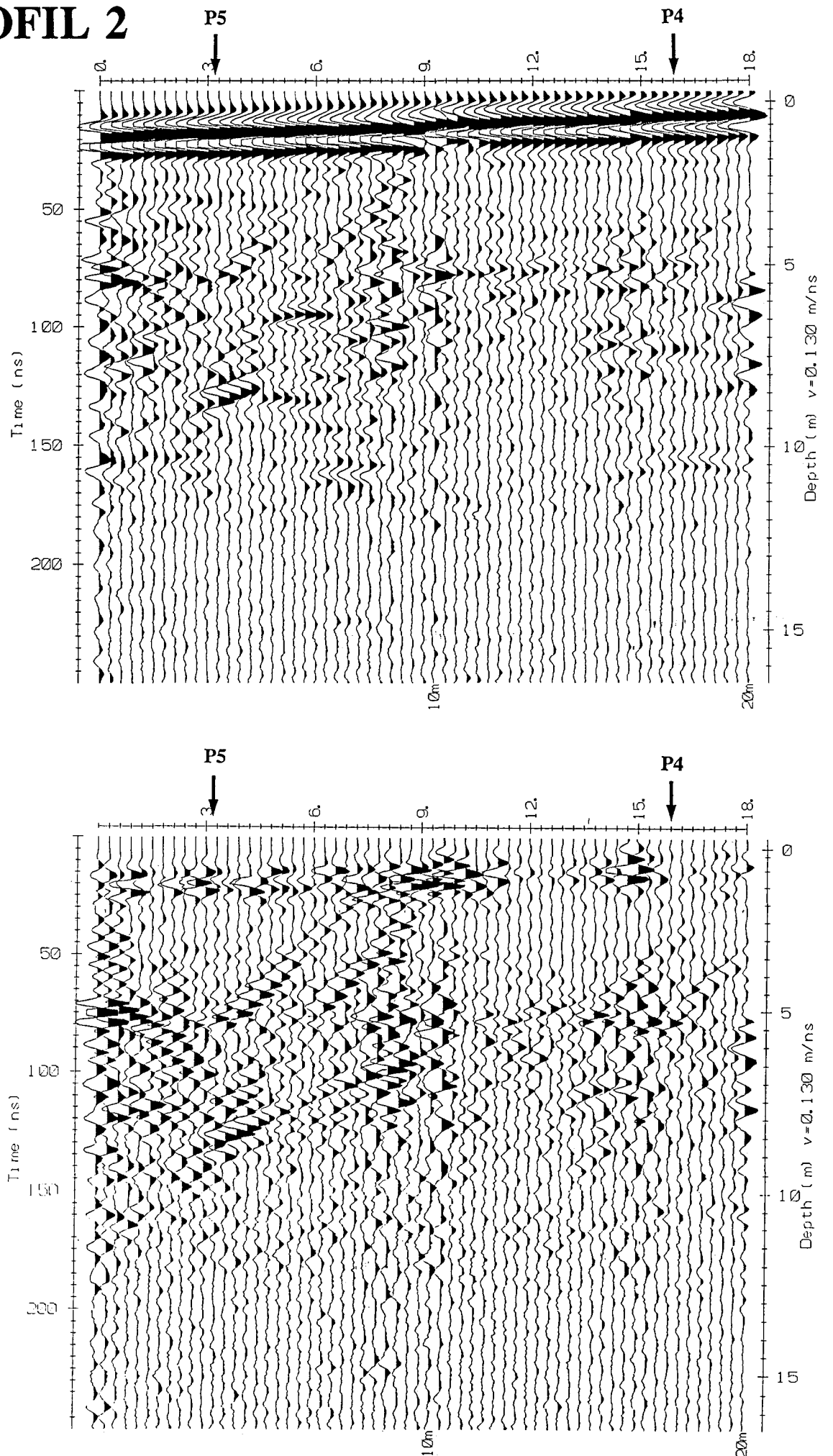


# PROFIL 1



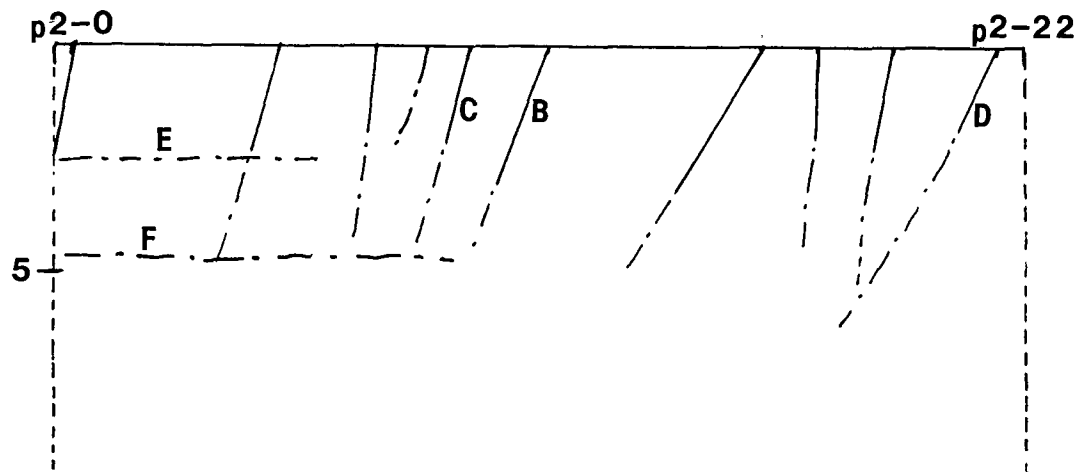
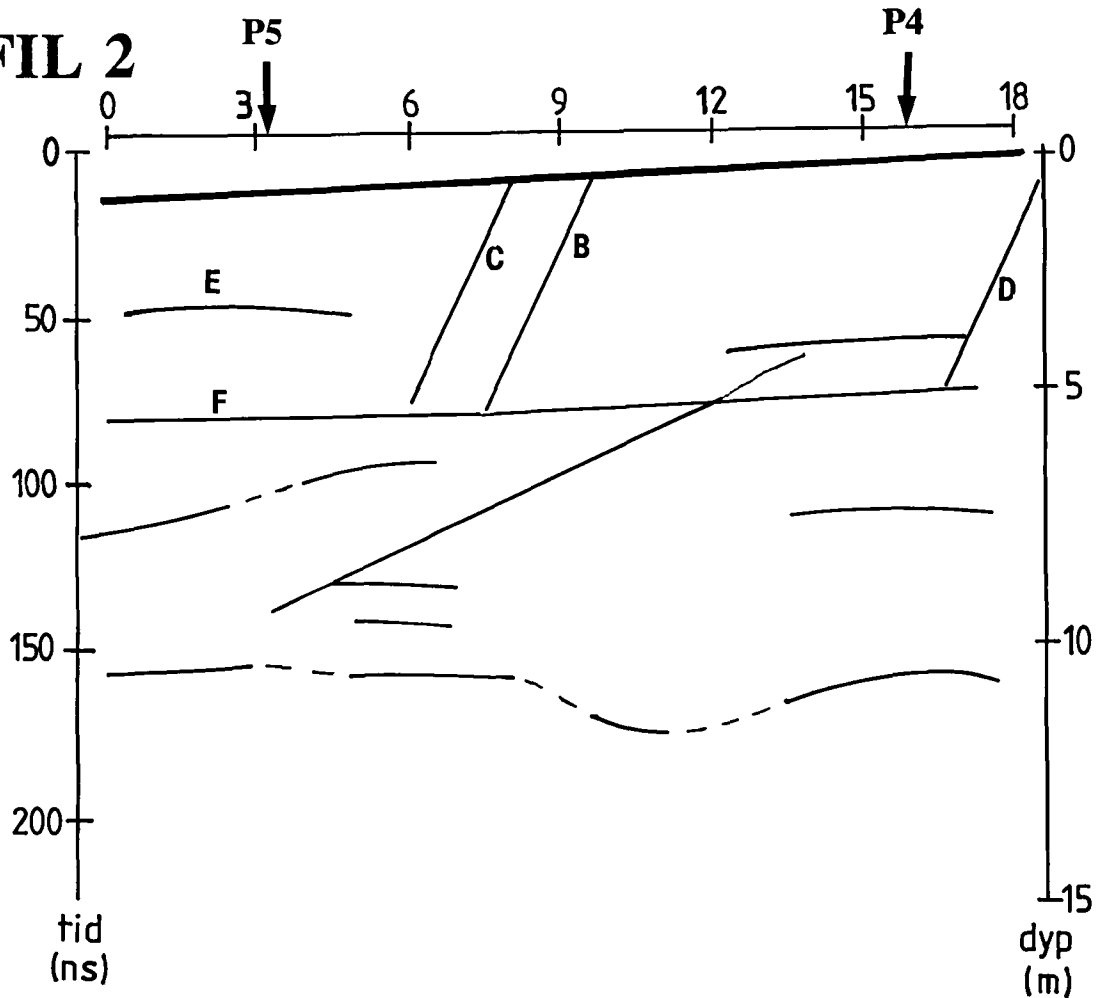
Figur 3. Tolkning av georadaropptak (øverst) og geologisk tolkningsprofil (nederst) fra profil 1. Ved tolkning av radaropptakene har en sett bort ifra reflektorer som skyldes reflekser og refraksjoner fra sidene. Det geologiske tolkningsprofilet er basert utelukkende på observasjoner og kompassmålinger av sprekker. Stiplede streker angir antatt sprekkeforløp. Sprekker som gjenkjennes i radarprofilene er merket A, B, D, E, og F.

# PROFIL 2



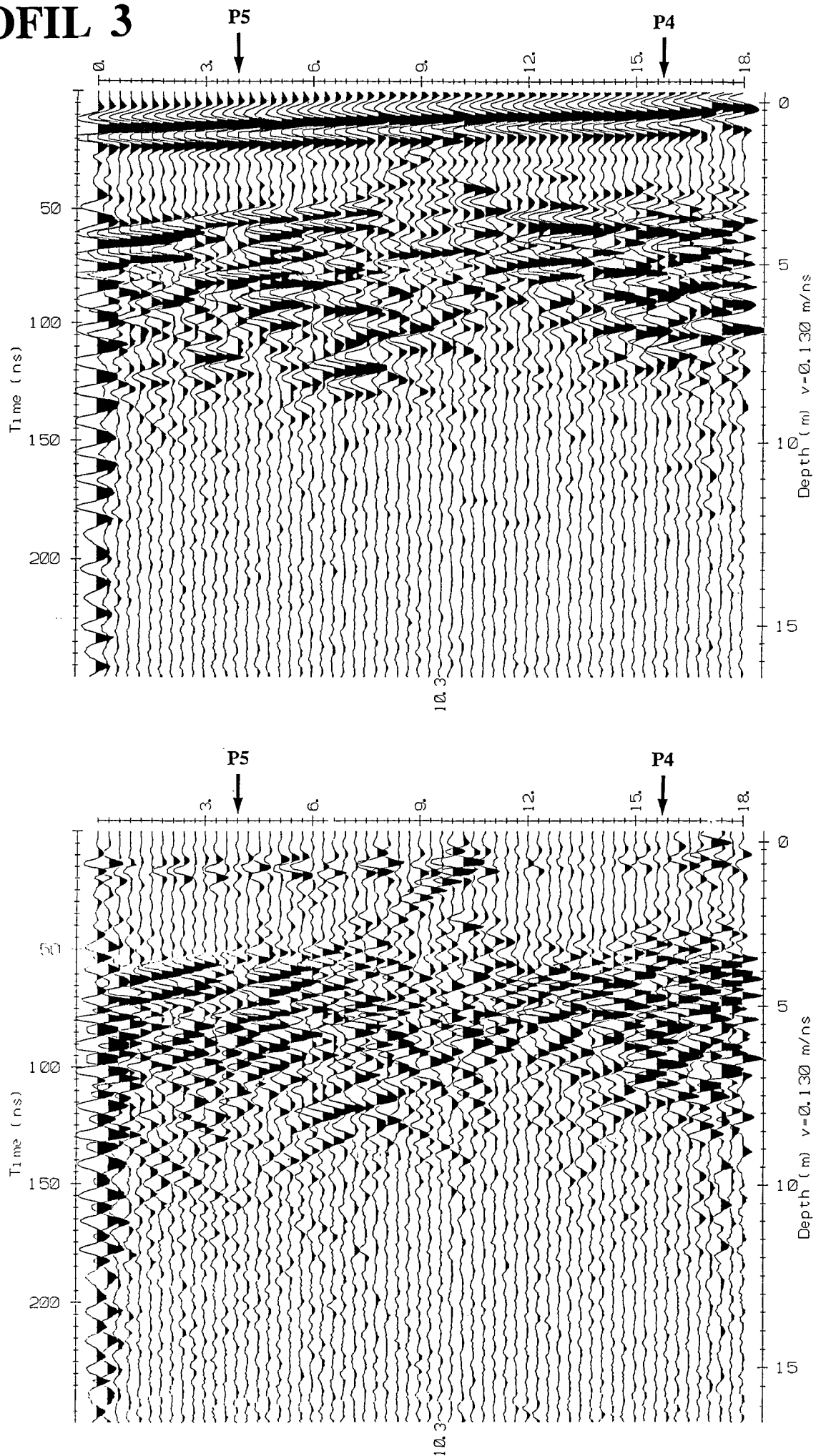
Figur 4. Georadaropptak av profil 2. På det nederste opptaket er prosesseringsteknikken "trace difference" benyttet.

# PROFIL 2

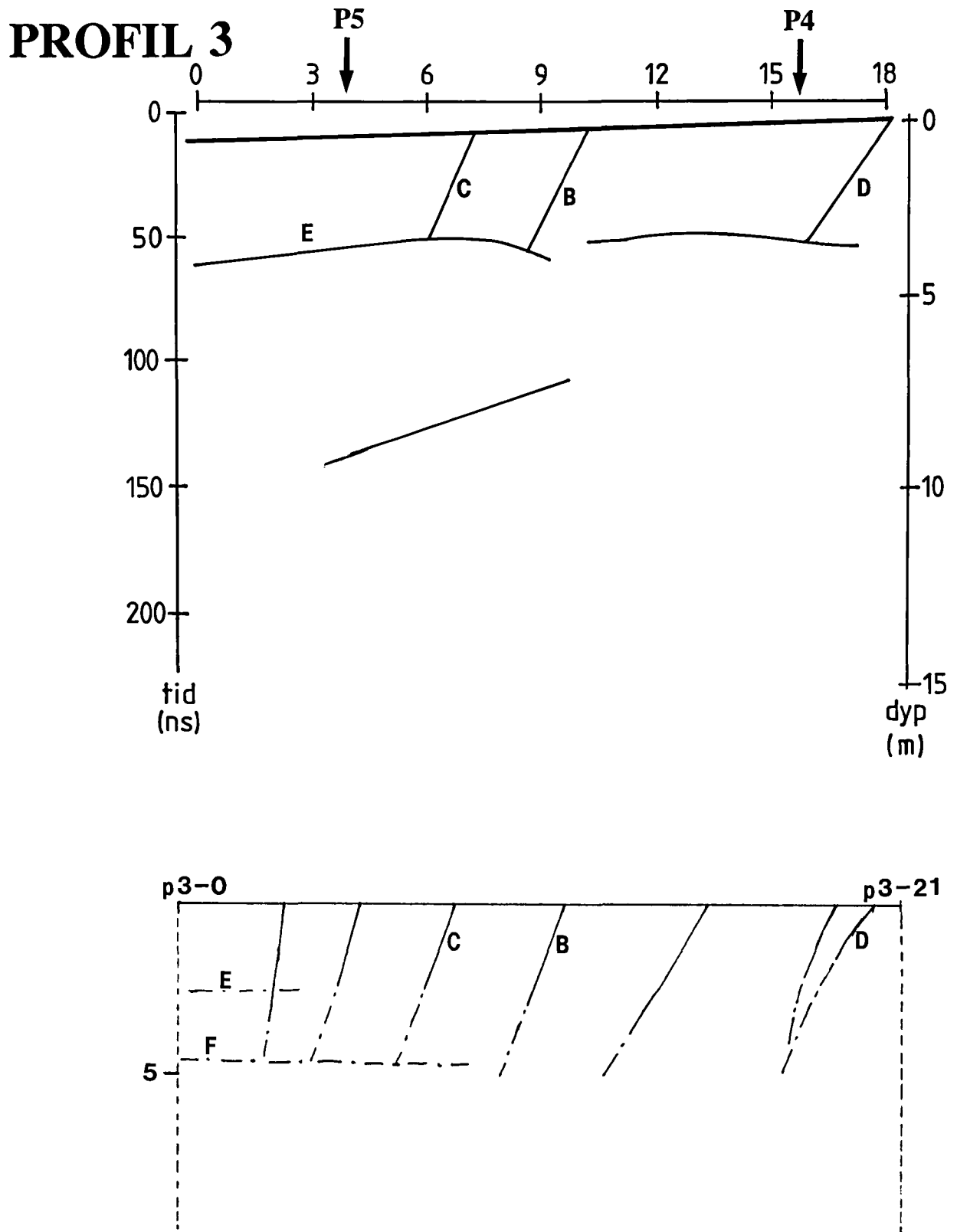


Figur 5. Tolkning av georadaropptak (øverst) og geologisk tolkningsprofil (nederst) fra profil 2. Ved tolkning av radaropptakene har en sett bort ifra reflekser og refraksjoner fra sidene. Det geologiske tolkningsprofilet er basert utelukkende på observasjoner og kompassmålinger av sprekker. Stiplede streker angir antatt sprekkeforløp. Sprekker som gjenkjennes i radarprofilene er merket B, C, D, E, og F.

# PROFIL 3

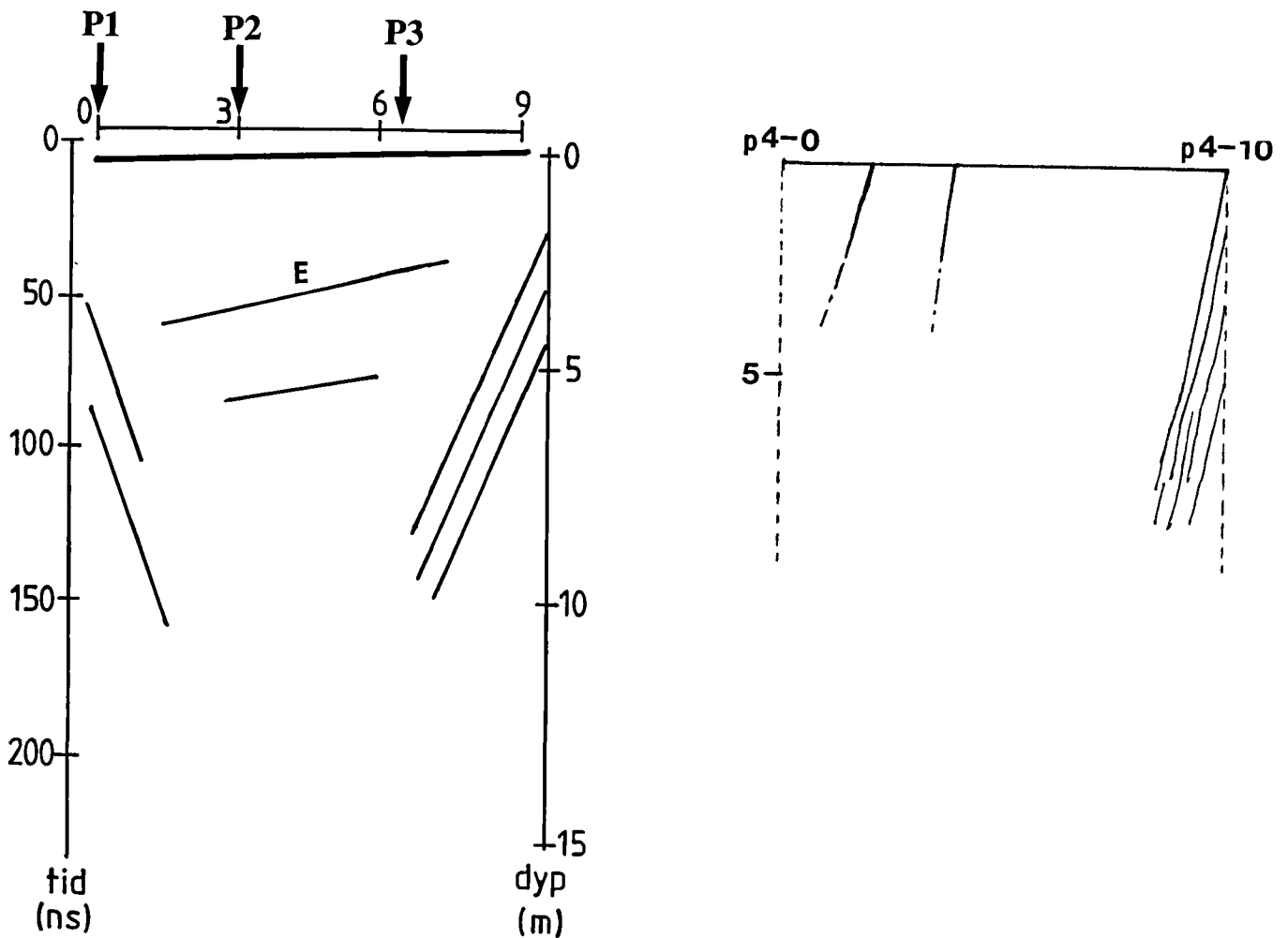
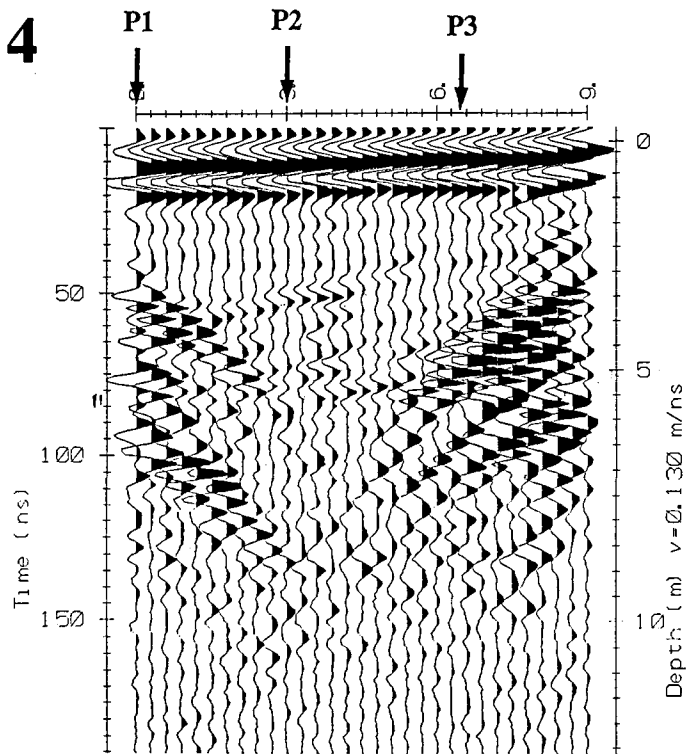


Figur 6. Georadaropptak av profil 3. På det nederste opptaket er prosesseringsteknikken "trace difference" benyttet.



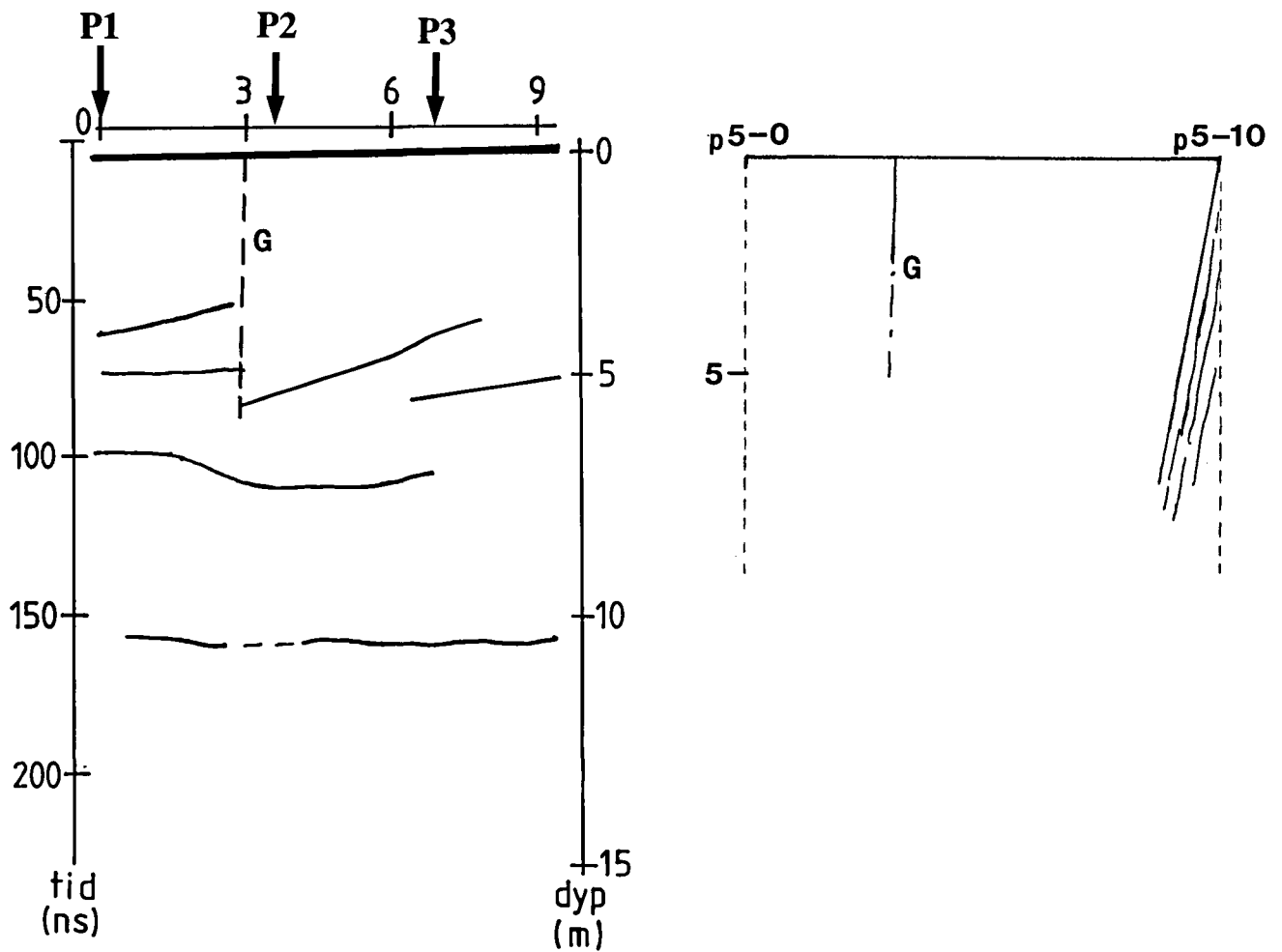
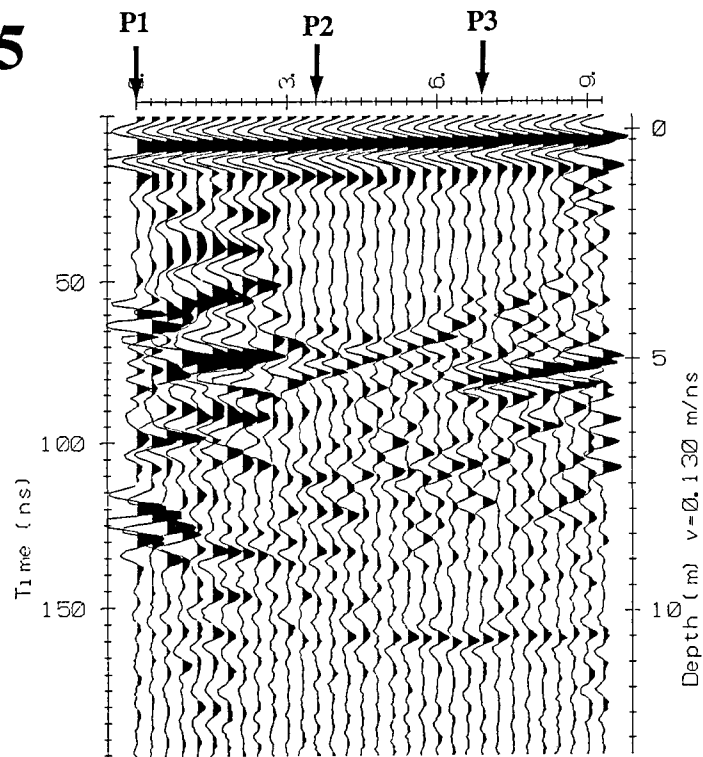
Figur 7. Tolkning av georadaropptak (øverst) og geologisk tolkningsprofil (nederst) fra profil 3. Ved tolkning av radaropptakene har en sett bort ifra reflekser og refraksjoner fra sidene. Det geologiske tolkningsprofilet er basert utelukkende på observasjoner og kompassmålinger av sprekker. Stiplede streker angir antatt sprekkeforløp. Sprekker som gjenkjennes i radarprofilene er merket B, C, D, og E.

# PROFIL 4



Figur 8. Georadaropptak (øverst), tolkning av georadaropptak (nederst til venstre) og geologisk tolkningsprofil (nederst til høyre) fra profil 4. Ved tolkning av radaropptakene har en sett bort ifra reflekser og refraksjoner fra sidene. Det geologiske tolkningsprofillet er basert utelukkende på observasjoner og kompassmålinger av sprekkeforløp. Stiplede streker angir antatt sprekkeforløp.

# PROFIL 5



Figur 9. Georadaropptak (øverst), tolkning av georadaropptak (nederst til venstre) og geologisk tolkningsprofil (nederst til høyre) fra profil 5. Ved tolkning av radaropptakene har en sett bort ifra reflekser og refraksjoner fra sidene. Det geologiske tolkningsprofilet er basert utelukkende på observasjoner og kompassmålinger av sprekker. Stiplede streker angir antatt sprekkeforløp.