

Rapport nr. 85.103

Geofysikk i vannprospektering fra  
sprekkesoner i fjell. Resultater fra  
et forprosjekt.



# Norges geologiske undersøkelse

Leiv Eirikssons vei 39, Postboks 3006, 7001 Trondheim - Tlf. (07) 92 16 11  
Oslokontor, Drammensveien 230, Oslo 2 - Tlf. (02) 55 31 65

Rapport nr. 85.103	ISSN 0800-3416	Åpen/På kjøp	
Tittel: Geofysikk i vannprospektering fra sprekkesoner i fjell. Resultater fra et forprosjekt			
Forfatter: Jan Steinar Rønning		Oppdragsgiver: NGU	
Fylke: Akershus, Buskerud, Vestfold		Kommune: Ramnes, Kongsberg, Hurum, Nesodden, Frogn, Nes	
Kartbladnavn (M. 1:250 000) Skien, Oslo, Hamar		Kartbladnr. og -navn (M. 1:50 000) 1713 I Siljan 1813 IV Holmestrand 1814 II Drøbak 1714 II Kongsberg 1814 I Asker 1915 II Ullensaker	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 46	Pris: kr. 80,-
		Kartbilag:	
Feltarbeid utført: August 1984	Rapportdato: 06.05.1985	Prosjektnr.: 2200	Prosjektleder: Jan S. Rønning
Sammendrag: <p>Rapporten meddeler resultater fra et forprosjekt som gikk ut på å studere aktuelle geofysiske målemetoder i kartlegging av vannførende sprekkesoner. Hensikten med prosjektet var å undersøke hvilke metoder som gav mest informasjon i forhold til kostnad, og undersøke om det kunne påvises noen korrelasjon mellom geofysiske anomalier og vanngivningskapasitet. Av de undersøkte metodene (VLF, ledningsevne, IP, SP, magnetometri og seismikk) fremstår VLF og ledningsevne som de mest anvendbare metodene. VLF er en raskere metode enn ledningsevne, men forstyrres oftere av tekniske anlegg og gir heller ikke like mye informasjon. Begge disse metodene viser positive korrelasjoner mellom anomalistørrelse og vannkapasitet. Seismikk er også godt egnet til å påvise sprekkesoner under overdekke, men metoden er langt mer ressurskrevende enn de to nevnte metodene.</p>			
Emneord	Geofysikk Elektrisk Elektromagnetisk	Magnetisk Seismikk Grunnvann Sprekkesoner	

Hydrogeologiske rapporter kan lånes eller kjøpes fra Oslokontoret, mens de øvrige rapportene kan lånes eller kjøpes fra NGU, Trondheim.

INNHOOLD

	<u>Side</u>
1. INNLEDNING	4
2. KONKLUSJONER	6
3. MÅLEMETODER	7
4. UTFØRELSE	10
5. RESULTATER OG KOMMENTARER	12
5.1. Vivestad	13
5.2. Reineelvdal	15
5.3. Føske-Skoli	18
5.4. NAF-bane	20
5.5. Fagerstrand	20
5.6. Postfunksjonærenes feriehem, Skiphelle	22
5.7. Leiumåsen	24
5.8. Burud	25
5.9. Torvet	26
5.10. Blaker	28
6. DISKUSJON	31
6.1. Sammenligning av metoder	31
6.2. Geofysiske anomalier og vannkapasitet	35
7. REFERANSER	37

TEKSTBILAG

Bilag 1: Data fra de enkelte profil

    2: Sammenligning av geofysiske metoder

    3: Sammenligning geofysikk-vannkapasitet

## 1. INNLEDNING

I forbindelse med et introduksjonskurs i aktuelle geofysiske målemetoder i vannprospektering for NGUs hydrogeologiske seksjon, ble det sommeren 1984 utført demonstrasjonsmålinger over sprekkesoner i Reineelvdalen, Kongsberg kommune i Buskerud (Rønning 1984a). Resultatene fra disse målingene var meget interessante, og i samarbeid med hydrogeologisk seksjon ble det avsatt midler til et forprosjekt hvor en skulle måle over kjente sprekkesoner. Hensikten med dette prosjektet var først og fremst å undersøke hvilke geofysiske metoder og undersøkelsesbetingelser som gav mest informasjon i forhold til kostnad. Derrest var det av interesse å undersøke om det finnes noen korrelasjon mellom sprekkesonens vanngivningskapasitet og geofysiske anomaliers styrke.

Aktuelle soner ble plukket ut av ansatte ved hydrogeologisk seksjon (forskerne Rohr-Torp og Gaut) og det ble lagt hovedvekt på områder hvor det allerede fantes flere boringer. Derrest ble det plukket ut soner som enten gav uvanlig lite (to områder) eller uvanlig mye vann (ett tilfelle). I to tilfeller ble det målt over sprekkesoner som var aktuelle for boringer, og resultatene fra disse er presentert i en foreløpig rapport (Rønning 1984b).

Tabell 1 angir kommune, fylke, kartbladnummer (M 711 serie), UTM-koordinat og lokalt stedsnavn for de undersøkte områdene. Områdene er angitt i den rekkefølge undersøkelsene ble utført. Alle målefeltene ligger under marin grense, men bare i to tilfeller (Føske-Skoli og Blaker) hadde løsmassene en slik mektighet og type at de innvirket på måleresultatene.

Område	Kommune	Fylke	Kartblad	UTM	Lokalt stedsnavn
Vivestad	Ramnes	Vestfold	1813 IV	636880	n. Teigen
Reineelvdal	Kongsberg	Buskerud	1714 II	544966	Reinelia
Føske-Skoli	Kongsberg	Buskerud	1713 I	530950	Føske, Skoli
NAF-bane	Frogn	Akershus	1814 I	936256	Slottet
Fagerstrand	Nesodden	Akershus	1814 I	912252	Damenga
Skiphelle	Frogn	Akershus	1814 II	928125	Skiphellebukta
Leiumåsen	Frogn	Akershus	1814 II	931128	Leium
Burud	Hurum	Buskerud	1814 II	888124	Burud
Torvet	Nesodden	Akershus	1814 I	943317	Røertjern
Blaker	Nes	Akershus	1915 II	355559	Kjennsmotjernet

Tabell 1: Områder som inngår i undersøkelsen

## 2. KONKLUSJONER

VLF fremstår som en hurtig og effektiv metode til å kartlegge mulig vannførende sprekkesoner. VLF-målinger kan i tillegg til å påvise sonenes beliggenhet også brukes til å peke ut de sannsynligvis beste borestedene innenfor et område. Metoden har svakheter ved at den ikke kan påvise sonenes bredde og fall, og anomaliene forstyrres av topografi og av godt ledende overdekke. Videre påvirkes anomaliene i sterk grad av tekniske anlegg, og målingene kan vanskeligjgjøres/hindres av et begrenset antall senderstasjoner.

Av de vurderte metoder er ledningsevne målinger (elektriske motstandsmålinger) med gradient elektrodekonfigurasjon som gir den beste informasjon i forhold til kostnad. Metoden er noe mer ressurskrevende enn VLF-målinger, men kan i tillegg til sonenes beliggenhet også angi deres bredde, og under visse forutsetninger deres fall. Metoden kan brukes til å påvise de sannsynligvis beste borestedene innenfor et område, men har også generelt vist god positiv korrelasjon mellom vannkapasitet og anomali.

Tidligere utførte seismiske målinger gir positive korrelasjoner med ledningsevne, men metoden er langt mer ressurskrevende. I ett tilfelle har ledningsevne (og VLF) påvist en sprekkesone uten at seismikk gir klare indikasjoner.

IP-målinger med gradientkonfigurasjon gav ikke brukbare data, noe som skyldes for dårlig effekt/følsomhet ved den benyttede utrustning. Det må vurderes om det skal kjøpes inn en ny tidsmessig utrustning med tilstrekkelig effekt da tidligere målinger har vist at IP kan benyttes til å påvise leirminerale i sprekkesoner.

SP-målinger ved kartlegging av vannførende sprekkesoner har ikke gitt konklusive resultater, og metoden synes derfor uegnet for dette formål.

Magnetiske totalfeltmålinger gir begrensede informasjoner ved sprekkesonekartlegging. På steder det finnes magnetiske bergarter kan metoden anvendes til å avgjøre om f.eks. VLF- eller ledningsevneanomalier skyldes svake impregnasjoner av ledende mineraler eller sprekkesoner.

Geofysiske borhullsmålinger kan gi viktige tilleggsopplysninger ved brønnboringer i fjell, og det må vurderes om utstyr til slike målinger skal anskaffes.

### 3. MÅLEMETODER

Ved de geofysiske målingene over sprekkesoner ble følgende målemetoder benyttet: VLF, (Very Low Frequency), IP (Induced Polarisation), RP (Resistivity Potential), SP (Self Potential) og magnetometri (magnetisk totalfelt). I det følgende blir metodene kort beskrevet og det angis på hvilken måte metodene kan gi informasjon i hydrogeologisk sammenheng. Metodene er mer utførlig beskrevet i vanlig geofysisk litteratur (f.eks. Telford et al. 1978, Lile 1984a, Lile 1984b, Aalstad & Åm 1972).

VLF er en elektromagnetisk metode som benytter fjerntliggende militære radiosendere som energikilde. Radiobølgene fra disse senderene har frekvenser i intervallet 15000 til 25000 Hz, og dette er frekvenser som egner seg godt til å kartlegge sprekkesoner med relativt svak ledningsevnekontrast til omgivelsene. Under normale forhold er radiobølgenes magnetfelt horisontalt, og varierer i en retning vinkelrett på retningen til senderen. Radiobølgene vil trenge ned i bakken og i tilfelle det finnes ledende soner her, vil det induseres virvelstrømmer som omgir seg med et sekundært magnetfelt. I tillegg til ren induksjon kan også radiobølgenes elektriske felt sette opp strømmer i ledende soner (antenne effekt), og dette favoriseres i lange ledere (Lile 1978). Det sekundære magnetfeltet vil sammen med primærfeltet

danne et totalfelt som avviker fra primærfeltets horisontale retning over ledende soner. Ved VLF-målinger bestemmer man det totale magnetiske feltets fall (dipvinkel = Realdel) og en størrelse som er avhengig av faseforskyvningen mellom primær- og sekundærfelt (Imaginærdel). Realdelen gir informasjon om en ledende soners beliggenhet, mens imaginærdelen kan si noe om en soners ledningsevne. Det er også gjort forsøk med å bestemme overdekketykkelse og sonenes fall (se f.eks. Barker & Myers 1979), men i praksis er dette meget vanskelig. Metoden gir topografiske effekter, men disse kan det korrigeres for (Barker & Myers 1980, Karoas 1978).

Ved bruk av VLF i kartlegging av sprekkesoner benytter man seg av den effekt oppsprekningen har på bergartens ledningsevne. Øket oppsprekning betyr øket porevolum, og når dette fylles med elektrolytt (grunnvann) gir dette øket elektrisk ledningsevne. VLF-metoder er tidligere brukt i forbindelse med leting etter grunnvann i sprekkesoner bl.a. i Sverige (Müllern & Eriksson 1982). Man har her kunnet konkludere med at VLF er en brukbar metode til å påvise sprekkesoner, og under forutsetning av at de geologiske forhold er like, kan også realdelen benyttes til å bedømme sonenes relative vannkapasitet. Videre har man vist at en grovt kan bedømme løsmasseoverdekkets tykkelse, og at det er god korrelasjon mellom VLF-realdel og seismisk hastighetskontrast over sprekkesoner.

Ved IP-målinger sendes strøm i firkantpulser ned i bakken ved hjelp av to strømelektroder, og en polarisasjonsspenning måles ved hjelp av to potensialelektroder like etter at strømmen er brutt. Hvis det er spesielle mineraler tilstede i undergrunnen (sulfider, leirmineraler o.a.) vil spenningen i bakken ikke falle brått ned når strømmen slås av, men vil dø ut langsomt. Ved å måle spenningen i et bestemt tidspunkt etter strømbrydd og sammenligne denne med spenningen like før strømbrydd får en informasjon om tilstedeværelse av de nevnte mineraler.



I hydrogeologisk sammenheng kan IP-målinger brukes til å kartlegge leirinnblanding i sand og grusforekomster aktuell for grunnvannsuttak (Bodmer et al. 1968). Videre er det av ansatte ved NTH utført geofysiske målinger over sprekkesoner i Vannvikan hvor man ut fra IP-målinger konkluderte med at en sprekkesone kunne være leirfylt (Rueslåttan et al. 1984). Senere boringer og geologiske undersøkelser har kunnet bekrefte dette (Fjeld et al. 1984). Ved forsøksmålingene i Reineelvdalen (Rønning 1984a) ble det antydnet at høye IP-effekter i den ene sonen kunne skyldes sekundær kiskimpregnasjon i sonen. Leir- og sulfidmineraliseringer i vannførende sprekkesoner vil være uheldig dels på grunn av at sonene kan være tette, og dels på grunn av at disse mineralene kan forringe vannkvaliteten. Det ville derfor være til stor fordel om IP-målingene kunne påvise disse mineraliseringene før eventuelle boringer.

RP-målinger er på mange måter lik IP-målingene, men spenningen måles her mens strømmen sendes. Ut fra målt spenning og strømstyrke samt en geometrisk faktor som avhenger av elektrodekonfigurasjonen kan en tilsynelatende spesifikk motstand ( $\rho_a$ ) beregnes (tilsynelatende spesifikk ledningsevne,  $\sigma_a = 1/\rho_a$ ). Under forutsetning av at undergrunnen er homogen og isotrop med hensyn til elektrisk ledningsevne blir den beregnede tilsynelatende spesifikke motstand (ledningsevne) lik undergrunnens virkelige spesifikke motstand (ledningsevne).

I forbindelse med kartlegging av vannførende sprekkesoner er RP-målinger et supplement til VLF-målinger. RP-målingene gir et klarere bilde av ledningsevnekontrasten mellom sone og massiv bergart, og i tillegg kan bredden av sprekkesonen bestemmes. Elektriske motstandsmålinger kan i enkelte tilfeller være det eneste mulige der tekniske anlegg forstyrrer VLF-målinger.

SP-målinger er en passiv metode (ingen energisering) der en måler et naturlig potensial mellom to elektroder på bakken. Metoden gir kraftige anomalier på kismalmer, og tradisjonelt er metoden

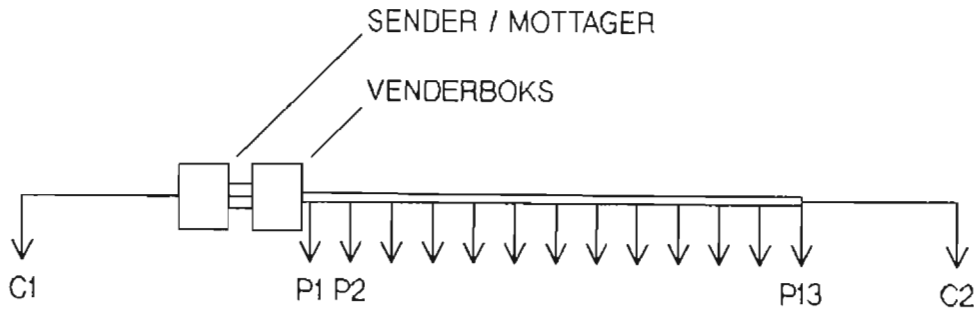
benyttet i malmleting. Det er imidlertid påvist svake SP-anomalier i forbindelse med vann som strømmer (Ogilvy et al. 1969), og dette er blitt brukt til å kartlegge vannlekasjer fra damanlegg og senkningstrakt rundt vannbrønner under pumping (Bogoslovsky & Ogilvy 1973). Under demonstrasjonsmålingene over sprekkesonene i Reineelvdal (Rønning 1984a) ble det påvist negative anomalier over sonene. For å undersøke om dette var noe som kunne utnytted i evalueringen av sprekkesoners vanngivingskapasitet, ble SP-målinger tatt med i dette forskningsprosjektet.

Ved magnetiske målinger kartlegges bergartenes magnetiske egenskaper. I praksis er det bare mineralet magnetitt som gir anomalier (Aalstad & Åm 1972) og magnetiske målinger gir derfor et bilde av bergartenes magnetittinnhold. I sprekkesonekartlegging har magnetiske målinger på bakken og i lav flyhøyde vist seg brukbar ved at sonene ofte gir magnetiske minima. Dette har sammenheng med omvandling av magnetitt til hematitt (martitt) på grunn av øket oksygentilgang i sprekkesonene (Henkel & Guzman 1977). En forutsetning for at sprekkesoner skal kunne gi magnetiske minima er selvsagt at bergarten inneholder en viss andel magnetitt. Forsøksmålingene i Reineelvdalen gav negative magnetiske anomalier over sprekkesonene, og for å undersøke dette nærmere, ble magnetiske totalfeltmålinger tatt med i forskningsprogrammet.

#### 4. UTFØRELSE

VLF Real- og Imaginærdel ble målt med EM16 (Geonics 1973). I stedet for å angi det magnetiske feltets dipvinkel i grader, angis her sekundærfeltets styrke i prosent av primærfeltet. Hvilke senderstasjoner som ble benyttet varierte fra område til område, og det ble for hvert profil vurdert hvilken stasjon som var best egnet.

Kombinerte elektriske målinger (IP-RP-SP) ble utført med NGUs selvbygde utrustning IP3 og et kabelsystem spesialbygd for sprekkesonekartlegging. Kabelsystemet som utgjør en gradient konfigurasjon, er skjematisk vist i figur 1.



Figur 1: Kabelsystem for elektriske gradientmålinger over sprekkesoner.

Avstanden fra strømelektrode C1 til første potensialelektrode og fra siste potensialelektrode til C2 er begge ca. 50 meter. Avstand mellom potensialelektrodene (P1 til P13) er 12,5 meter slik at utleggets totale lengde blir ca. 250 meter. Ved de første målingene ble kabelen brukt i full lengde, men man ble etter hvert klar over at enkelte soner var så tynne at en kortere potensialelektrodeavstand var nødvendig. Det ble derfor i en del tilfeller foretatt innrykk slik at potensialelektrodeavstanden ble lik 5 meter (2,5 meter i ett tilfelle), men avstanden ut til strømelektrode ble lik ca. 50 meter ut til hver side av første/siste potensialelektrode. Med venderboksen kan en koble inn to vilkårlige potensialelektroder, men som en fast prosedyre ble elektrodeparene P1-P2, P2-P3 osv. koblet inn i tur og orden. Ved avslutningen av en måleserie ble RP og SP målt mellom P1 og P13 og derved fikk man kontroll på om målingene var riktig.

Ved de elektriske målingene ble gradientkonfigurasjon valgt av forskjellige årsaker. Denne konfigurasjonen har fikserte strømelektroder og en unngår derved falske anomalier som kan oppstå når strømelektroden plasseres i elektrisk ledende soner. Ved en så stor avstand mellom strømelektroden som denne konfigurasjonen gir, trenger strømmen dypt ned i bakken og målingene blir ikke så følsom overfor løsmassedekketts sammensetning og volum. Konfigurasjonen gir derfor uforstyrrede målinger utenfor sprekkesonene samtidig som den gir klare anomalier over sonene.

Med den benyttede utrustningen (IP3) ble strøm sendt som firkantpuls med alternerende polaritet. Strøm- og dødtid var begge ca. 2 sekund, og strømstyrken varierte fra ca. 10 mA til ca. 100 mA avhengig av hvor god kontakt en fikk med bakken ved strømelektroden. SP ble målt like før en strømpuls, RP ved slutten av strømpuls og IP som summen av spenningene 0,3 og 1,7 sekund etter strømbrytning. Strømelektroden (C1 og C2) besto av 4 jernspett, mens man som potensialelektroder benyttet upolariserbare Cu/CuSO<sub>4</sub>-elektroder.

Magnetisk totalfelt ble målt med Unimag bærbart protonmagnetometer (Geometrics 1977). Målehøyde var ca. 1,5 meter over bakken og målepunktavstand den samme som for VLF.

## 5. RESULTATER OG KOMMENTARER

I det følgende blir resultatene fra målingene i hvert av områdene presentert. På grunn av instrumentelle svakheter gav IP-målingene bare støy over de fleste sprekkesonene. SP-målingene gav i de fleste tilfellene ikke konklusive resultater, og det samme kan også sies om magnetiske totalfeltnmålinger. Disse tre målemetodene blir derfor bare kommentert i de tilfeller en har

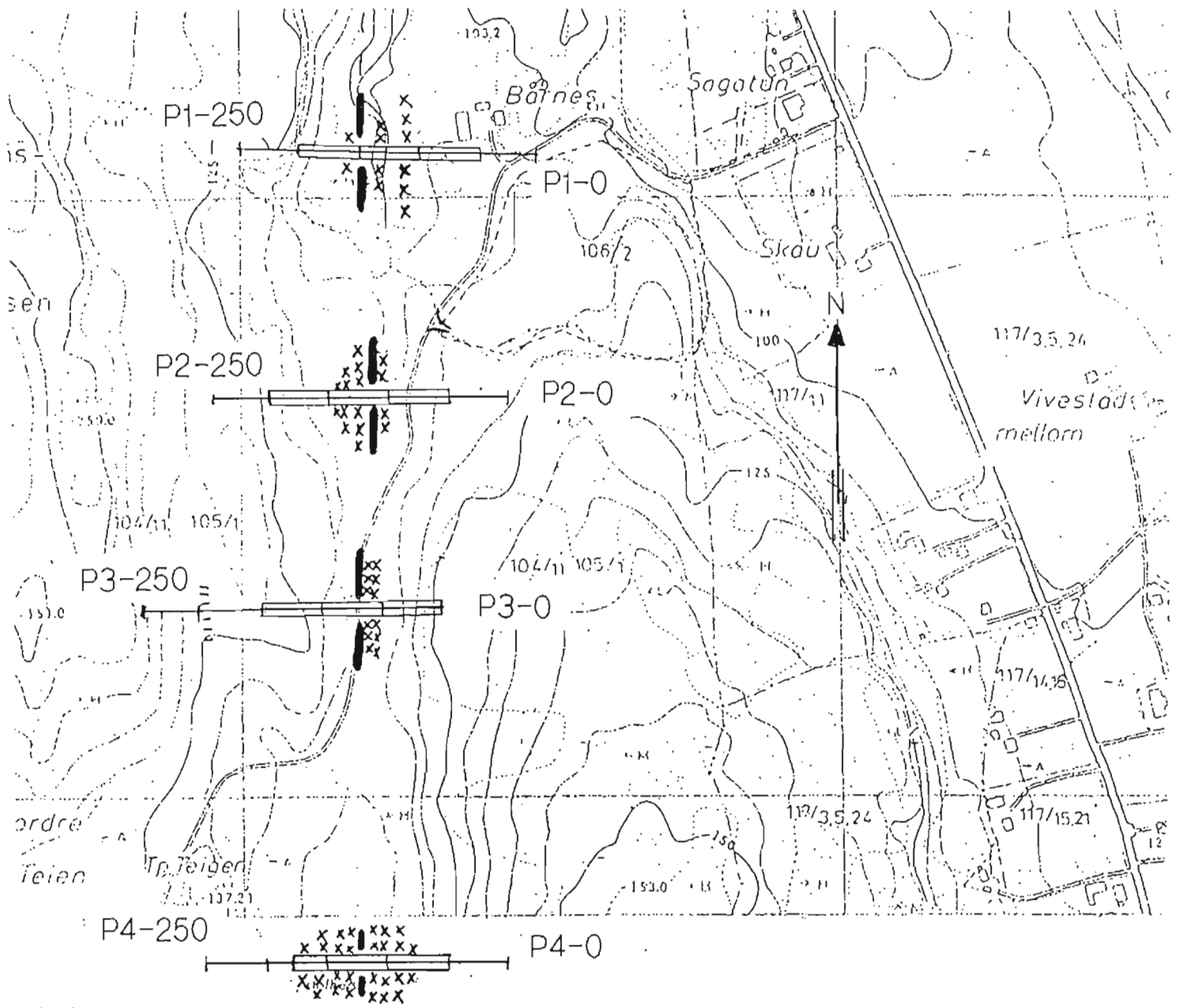
pålitelige konklusive anomalier. I de fleste tilfeller er de målte profilene tegnet inn på økonomisk kartverk og vist som figurer. Målemetoder og målepunktavstander for elektriske målinger fremgår av figurene. Ved VLF- og magnetiske målinger var målepunktavstanden vanligvis 12,5 meter, men der hvor elektriske målinger har målepunktavstand 5 meter har også VLF og magnetometri innrykk til 5 meter. VLF Re- og ledningsevneanomalier graderes som meget sterk, sterk og svak. For VLF tilsvarende dette en forskjell mellom maksimalt positivt og negativt utslag på henholdsvis større enn 50%, mellom 20% og 50% og mindre enn 20%. Ved ledningsevne målingene er den tilsvarende inndeling peakverdi større enn  $1 \cdot 10^{-3}$  S/m, mellom 0,5 og  $1 \cdot 10^{-3}$  S/m og mindre enn  $0,5 \cdot 10^{-3}$  S/m. Ledningsevnen i ikke oppsprukket bergart syntes i alle tilfeller å ligge i området  $0,08-0,12 \cdot 10^{-3}$  S/m (tilsvarende  $\rho = 12500-8300 \Omega m$ ).

I bilag 1 blir tallverdier for VLF Re, VLF Im, ledningsevne peak og ledningsevne bredde presentert sammen med eventuelle brønndata og forstyrrelser for de enkelte målte profiler. VLF Re og VLF Im angir forskjell mellom maksimum og minimum utslag. Positiv imaginæranomali angir utslag i samme retning som ved realdelen.

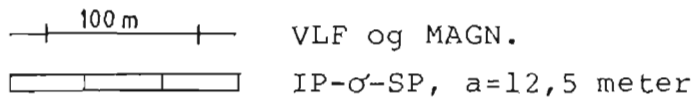
### 5.1. Vivestad

Det er tidligere ikke utført hydrogeologiske undersøkelser ved Vivestad. Fra kommunens side ble det antydnet boringer i nær framtid og det ble derfor målt 4 profiler over en sprekkesone (figur 2). Bergartene i området består av rombeporfyr med meget beskjedent løsmasseoverdekke. Undersøkelsene er kommentert i tidligere rapport (Rønning 1984b) og det vises til denne.

Målingene gav meget kraftige VLF- og ledningsevneanomalier over profilene 2 og 3. Ved profil 1 indikerer ledningsevne målingene



Figur 2: Geofysiske profiler Vivestad, Ramnes kommune



Anomalier:	VLF	σ
Meget sterk	—	xxx
Sterk	- -	xx
Meget svak		x

et fall mot vest. VLF-anomali forskjøvet mot vest i forhold til maksimal ledningsevneanomali er en bekreftelse på dette. Første 100 meter av profil 1 er forstyrret av kraftlinjer. Ved profil 4 viser VLF-målingene en sterk bred anomali som er vanskelig å tolke. Ledningsevne målingene indikerer her at sprekkesonen er i ferd med å dele seg og dette er trolig forklaringen på den uvanlige VLF-anomalien. Ved profilene 2 og 3 viser VLF Im meget sterke anomalier som er motsatt rettet VLF Re (bilag 1). Dette er i samsvar med påvist høy ledningsevne i sonene.

Bergartene ved Vivestad er svakt magnetiske, men til tross for dette kan det ikke påvises noen magnetiske minima over sonen. En midling av måleverdiene øst og vest for sonen viser at magnetfeltet ligger i gjennomsnitt ca. 300 nT høyere på vestsiden. Dette indikerer at sprekkesonen utgjør grensen mellom to bergarter.

## 5.2. Reineelvdal

I Reineelvdal er det tidligere utført hydrogeologiske undersøkelser i forbindelse med grunnvannsundersøkelser for tettstedet Hvittingfoss (Huseby 1977, Huseby & Gaut 1978, Gaut 1980). Det er boret fire brønner i dalen, hvorav tre er mot en og samme sprekkesone. Bergartene i området består av forskjellige syenitter med hyppige innslag av diabasganger. Løsmasseoverdekket er beskjedent. Det ble på forsommeren 1984 utført demonstrasjonsmålinger i feltet (Rønning 1984a), men på grunn av tidspress var disse målingene unøyaktige. Det ble derfor målt tre nye profiler hvorav profil 1 er det samme som ved demonstrasjonsmålingene (se figur 3). Fjellssidene lengst oppe i dalen er meget bratte, og dette er årsaken til at profil 3 ikke går over borebrønn 1, men 100 meter lengre mot sør, og at det ikke ble gjort forsøk på å måle over brønn 2 (se Huseby & Gaut 1978).

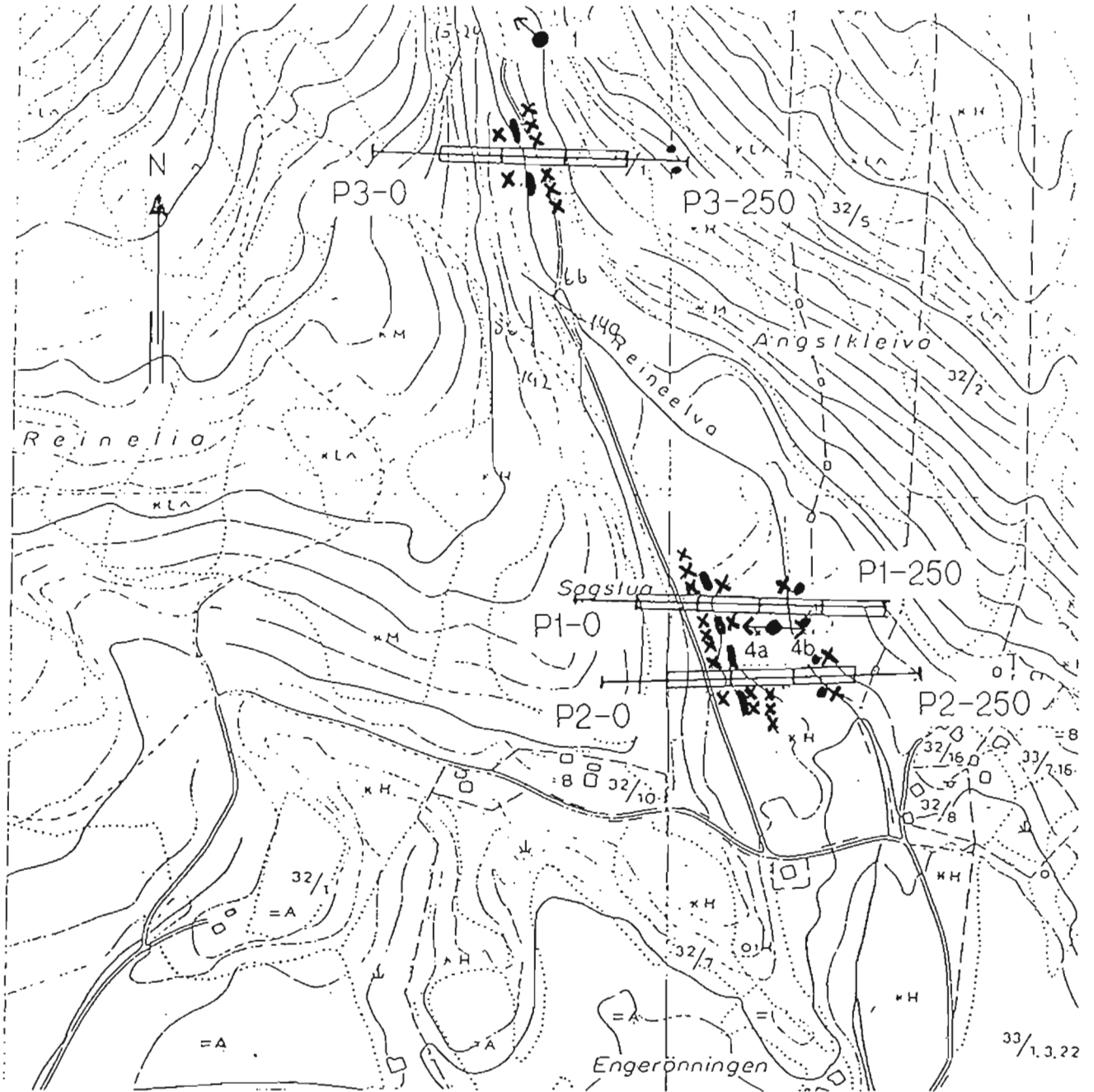
Topografien i denne del av feltet vil kunne påvirke målingene ved at både VLF Re- og ledningsevneanomaliene svekkes noe.

VLF- og ledningsevne målingene gir meget klare anomalier på de påviste sprekkesonene i Reineelvdal. For borhullene 4a og 4b kan det påvises en positiv korrelasjon mellom geofysiske anomalier (VLF Re og ledningsevne peak) og vannkapasitet. Anomaliene på den vestligste sonen (1a, 2a og 3 se bilag 1) viser relativt konstante størrelser og en burde forvente samme vannmengder fra brønn 1 som fra brønn 4a (4000 l/h). Når en her får bare ca. 350 l/h kan dette ha sammenheng med flere forhold. Borhullet synes å stå relativt langt fra sprekkesonen, og faller  $64^{\circ}$  i en retning som danner en vinkel på ca.  $30^{\circ}$  med sprekkesonen. Ledningsevne målingene langs profil 3 og topografien indikerer at sprekkesoner faller mot vest, og dette betyr at borhullet trolig ikke når inn til sonen.

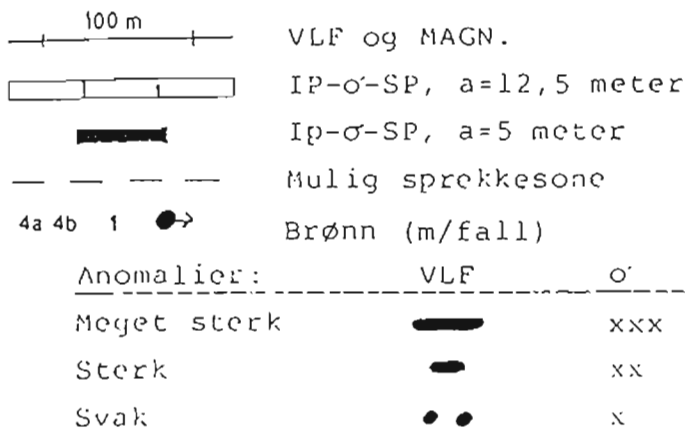
I rapport fra forsøksmålingene ble det antydnet at relativt høye IP-anomalier på den østligste sonen, profil 1, kunne skyldes sekundær kismineralisering på sprekke (Rønning 1984a). Til tross for at en tilsvarende anomali kunne påvises ved gjentatt måling kan denne antydningen ikke opprettholdes. På bakgrunn av de erfaringer som kom frem under dette prosjektet kan en fastslå at det anvendte instrument ikke har tilstrekkelig effekt og/eller følsomhet til å måle IP-effekt over sprekkesoner med den benyttede elektrodekonfigurasjon.

Gjentatte SP-målinger langs profil 1 viser et helt forskjellig mønster i forhold til det som ble målt ved demonstrasjonsmålingene (Rønning 1984a). Tidligere undersøkelser (Schivone & Quarto 1984) viser positive anomalier over strømmende vann og dette er i klar kontrast til de negative anomaliene som ble påvist over sprekkesonene i Reineelvdalen. En mulig forklaring til de relativt svake SP-anomaliene som ble påvist ved demonstrasjonsmålingene kan være en bioelektrisk effekt (Lile 1984).





Figur 3: Geofysiske profiler Reineelvdal, Kongsberg kommune

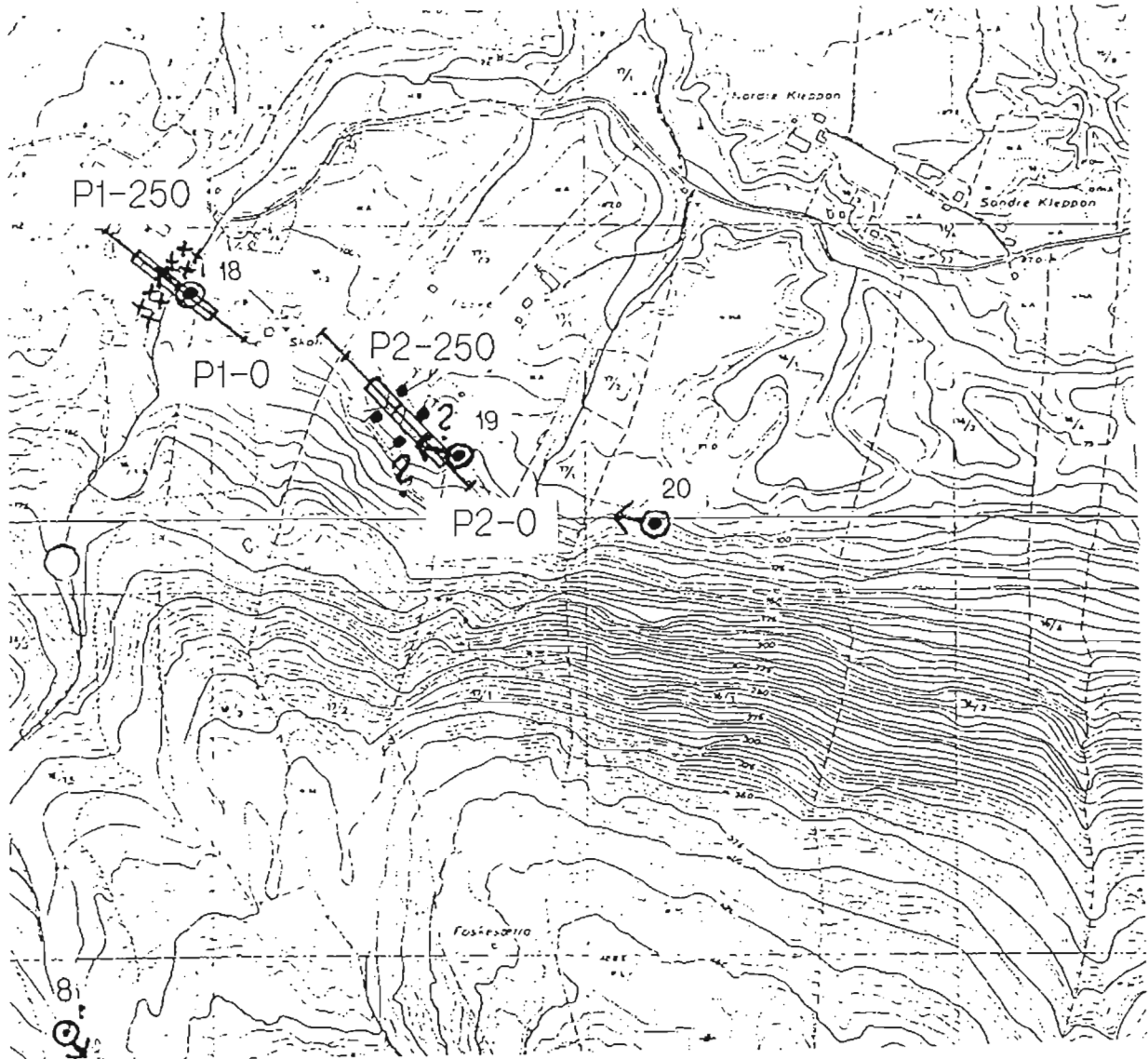


Ved alle de tre profilene i Reineelvdalen er det påvist negative magnetiske anomalier over sprekkesonene. De magnetiske anomalierne faller ikke fullstendig sammen med ledningsevne målingene, og metoden synes ikke anvendbar til å påvise sprekkesonens eksakte beliggenhet.

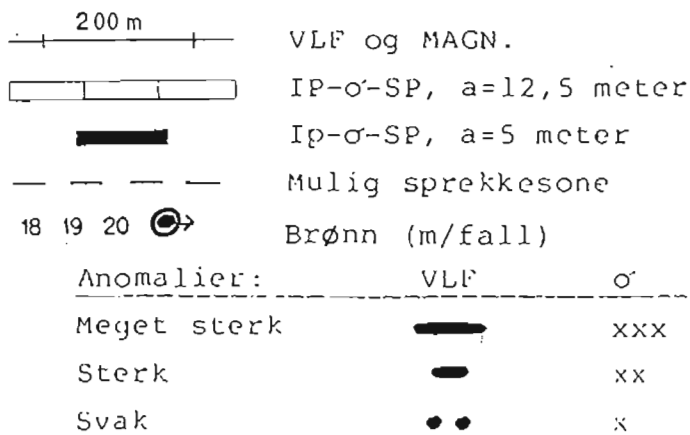
### 5.3. Føske-Skoli

Ved Føske-Skoli ble det utført hydrogeologiske arbeider samtidig med undersøkelsene i Reineelvdal, og det vises til de samme rapportene. Det er boret fire brønner mot fire forskjellige sprekkesoner, og det ble målt geofysikk over to av disse (figur 4). Brønn 19 ble ikke funnet i terrenget, og profilet over denne ble derfor noe feilplassert. Brønnene 18 og 19 er boret i en grov syenitt i motsetning til brønnene 8 og 20 som er i rombeporfyr. Det er påvist betydelige løsmassemektheter i området (10 meter ved brønn 19).

Ved målingene over borebrønn 18 kan VLF-anomalier ikke angis på grunn av at målingene er meget sterkt påvirket av en kraftlinje. Profilet viser anomali på ledningsevne, men det er her indikasjon på at et løsmasseoverdekke "skjermer" denne. Anomalien indikeres på ett delvis på to målepunkter, og målepunktavstanden burde vært mindre. VLF-målingene over brønn 19 viser konstante negative verdier som trolig har sammenheng med den bratte fjellsida nært inntil profilet. Videre er det ved boringen påvist ca. 10 meter løsmasser hvorav ca. 5 meter består av massiv leire. I tillegg til dette kommer at vinkelen mellom tilgjengelig VLF-stasjon og sone var på kanten av hva som kan aksepteres. VLF-målingene gir derfor heller ikke i dette tilfellet pålitelige data. Ledningsevne målingene påvirkes klart av løsmasseoverdekket og det er vanskelig å si om påviste anomalier skyldes leire eller oppsprekking av berggrunn.



Figur 4: Geofysiske profiler Føske-Skoli, Kongsberg kommune



SP gir positiv anomali over sprekkesonen ved brønn 18, noe som kan ha sammenheng med at vannet i sonen er i bevegelse. Noe tilsvarende kan ikke sies om målingene over brønn 19. Magnetiske målinger viser markert negativ anomali over sprekkesonen ved brønn 18 og noe svakere negativ anomali ved brønn 19.

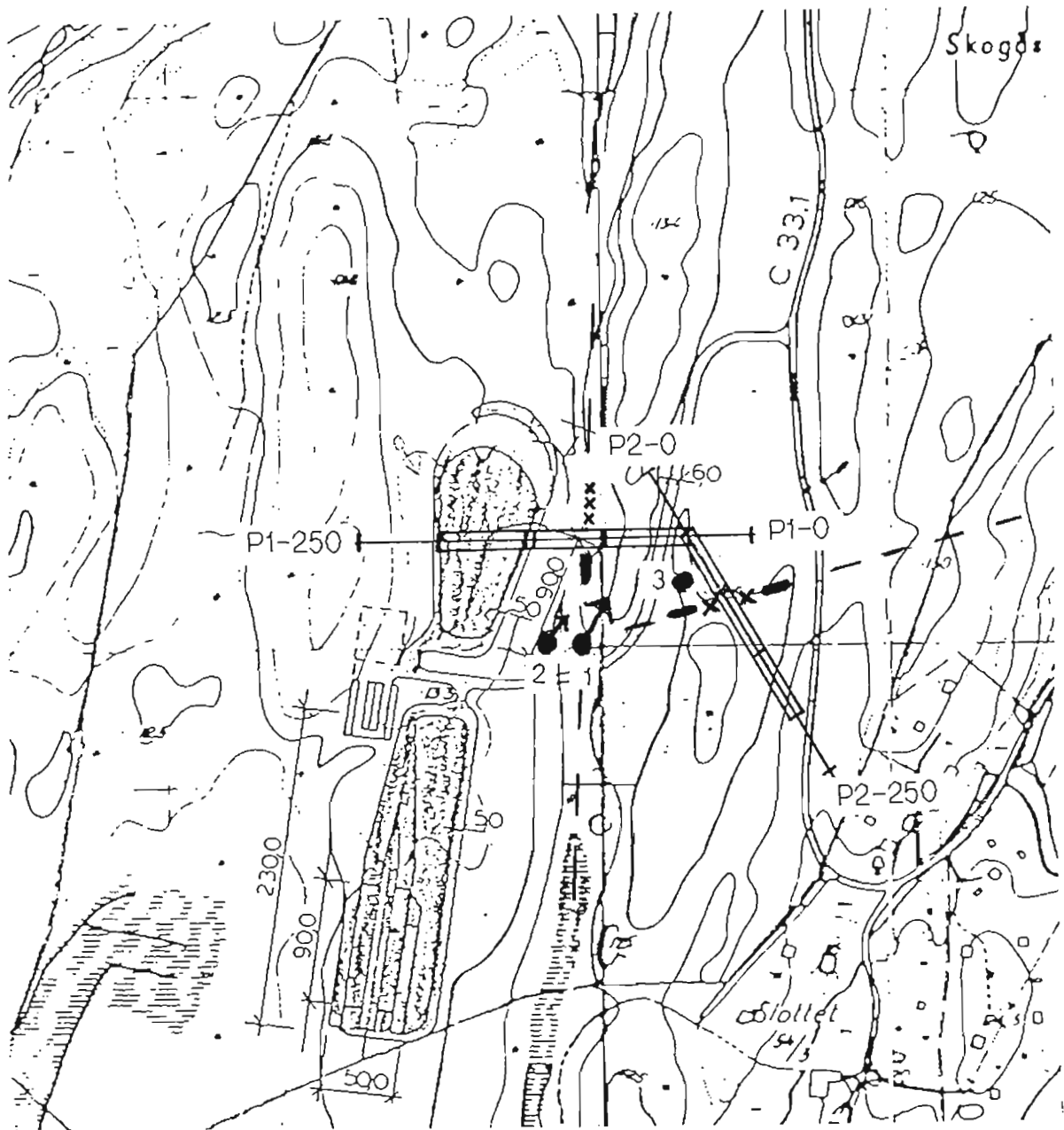
#### 5.4. NAF-bane

Ved NAFs glattkjøringsbane i Frogn er det boret tre brønner mot to sprekkesoner (Rohr-Torp 1981, Rohr-Torp 1982a). Disse ligger i vekslende grunnfjellsgneiser med gjennomgående slakt fall. Løsmasseoverdekket er meget beskjedent. I dette området ble det lagt ut to geofysiske profiler (se figur 5).

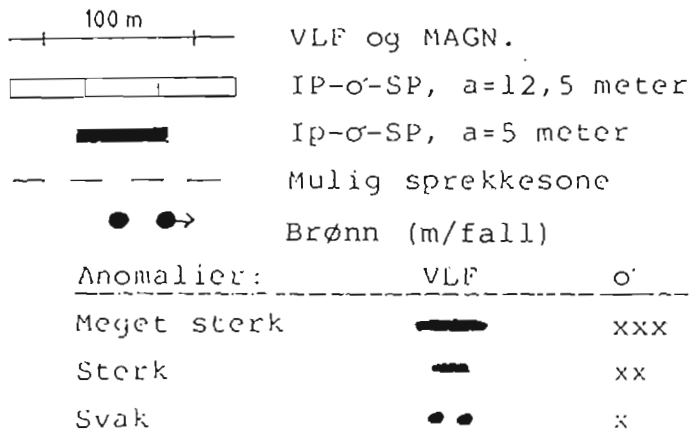
VLF- og ledningsevne-målinger gav meget klare uforstyrrede anomalier som faller sammen med påviste sprekkesoner. Anomaliene viser en positiv korrelasjon med vannkapasitet. Ledningsevne-målingene langs profil 1 viste anomali bare på ett målepunkt (elektrodeavstand 12,5 meter). For å få bedre kontroll med bredden av sonen ble elektrodeutlegget flyttet ca. 6 meter langs profilet og målingene gjentatt. Dette var en tidkrevende prosess, og man erfarte at i tilfeller en hadde mistanke om relativt tynne soner måtte elektrodeavstanden reduseres til f.eks. 5 meter.

#### 5.5. Fagerstrand

I forbindelse med vannforskyning til Myklerud skole ved Fagerstrand er det utført en lang rekke befaringer og boringer i området rundt Damenga gård (Bryn 1973, Bryn 1974, Rohr-Torp & Bryn 1975, Rohr-Torp 1982b). For å påvise sprekkesoner under et tynt løsmassedekke er det utført seismiske målinger i feltet (Karlsson



Figur 5: Geofysiske profiler NAF-bane, Frogn kommune





1975). Området ble gjort til et hovedfelt ved dette forskningsprosjektet og det ble utført geofysiske målinger langs i alt 10 profiler (se figur 6 og bilag 1). Berggrunnen består av grunnfjells gneisgranitt, og det lille løsmasseoverdekke som finnes noen steder synes ikke å ha innflytelse på måleresultatene.

VLF-målinger langs profilene 1 og 2 forstyrres av kraftlinjer og dataene er derfor lite pålitelige. Ved målingene langs profil 5 ble det brukt en VLF-stasjon som ligger i en uakseptabel retning i forhold til sprekkesonen, og anomalien blir derfor for lav. Årsaken til dette var at de aktuelle stasjonene midlertidig var ute av drift. Ledningsevne målingene langs profil 1 viser ingen tegn til forstyrrelser selv om profilet går tilnærmet parallelt med en sprekkesone og et vannrør av metall. Brønn 3 synes å være plassert like ved et sprekkesonemøte, og de relativt store vannmengdene denne brønnen gir kan skyldes at brønnen tapper fra begge sonene. Ved de øvrige profilene kan det ikke påvises forstyrrende elementer.

Sett bort fra de ovenfor nevnte forstyrrelser gir VLF- og ledningsevne målinger meget klare anomalier på sprekkesonene rundt Damenga gård, og det kan også påvises en positiv korrelasjon mellom disse anomaliene og vannkapasitet. Disse forhold blir mer utførlig behandlet under diskusjon.

#### 5.6. Postfunksjonærenes feriehem, Skipphelle

Utgangspunktet for målingene ved Skipphelle var en brønn satt ned på en meget tynn tilsynelatende ubetydelig sprekke i fjellet. Brønnen gir imidlertid meget betydelige vannmengder (14000 l/h, Rohr-Torp personlig informasjon), og det var derfor av interesse å se hvilke anomalier en ville få over denne sonen. Berggrunnen består av tett grå granittisk gneis med innslag av små ganger/

linser av finkornet amfibolitt. Løsmassemektigheten er ubetydelig.

Over den aktuelle sonen ble det lagt ut ett profil der målepunktavstand ved både VLF- og ledningsevne målinger var 2,5 meter. Profilet krysser sprekkesonen ca. 10 meter ned for produksjonsbrønnen. Til tross for moderat ledningsevne i massivt fjell ( $1,2 \cdot 10^{-4}$  S/m) kunne det knapt påvises geofysiske anomalier (se bilag 1). Dette viser at sprekkesoner kan gi betydelige vannmengder uten at sonene gir klare indikasjoner ved geofysiske målinger.

Like syd for den omtalte sprekkesonen finnes to svakhetssoner i terrenget og for å undersøke disse ble det lagt ut et nytt profil (profil 2, bilag 1). Profilet går like nedenfor hus med sanitæranlegg for hyttene i området og fortsetter i retning 1709. Ved dette profilet påvises to markerte anomalier (ca. 30 og ca. 60 meter syd for sanitæranlegg), og disse fremstår som alternative sprekkesoner for fremtidige brønnboringer.

### 5.7. Leiumåsen

På Leiumåsen ble det lagt ut ett profil over en brønn som selv etter spregning gav bare 140 l/h (Dalevold, personlig informasjon). Brønnen er boret i lodd mot en sprekkesone som ifølge Rohr-Torp faller  $40-45^\circ$  mot vest (Rohr-Torp 1974). Målepunktavstand var ved alle metodene 5 meter. Berggrunnen består av sterkt presset grå øyegneis, og løsmasseoverdekket er meget beskjedent.

VLF-målingene langs profilet påvirkes av kraftlinjer i området, men den indikerte meget kraftige anomali er noe forskjøvet i forhold til disse og faller sammen med meget kraftig ledningsev-



neanomali. Begge disse anomaliene indikerer en relativt steiltstående sprekkesone, og ikke med 40-45° fall mot vest slik Rohr-Torp antyder. Borhullet står ca. 15 meter til side for sprekken, og dette kan være årsaken til at brønnen selv etter spregning ikke gir mere vann enn 140 l/h.

SP-målingene på Leiumåsen viser en markert positiv anomali over dyrka mark (negativ anomali utenfor dyrka mark). Det antas at denne anomalien skyldes en bioelektrisk effekt.

#### 5.8. Burud

Ved Birger Holtlars hytte i Burudgrenda er det boret tre hull mot to markerte sprekkesoner uten at dette har gitt tilstrekkelig vann for en enkelt hytte (Rohr-Torp, personlig informasjon). Boringene er satt ut av ansatte ved NGU (Rohr-Torp 1975, Rohr-Torp 1976, Gaut 1978). Berggrunn består av Drammensgranitt og terrenget er kuppert, noe som kan påvirke spesielt ledningsevne-målingene. Løsmassedekket er ubetydelig.

Det ble lagt ut et profil over hver av de to aktuelle sprekkesonene. Profil 1 går i retning 280<sup>g</sup> over tilnærmet nord-sørgående sprekkesone. Profil 2 har retning mot 0<sup>g</sup> og går over øst-vestgående sprekkesone langs veg. Målepunktavstand ved begge profilene var 5 meter for alle målemetoder.

VLF-målingene langs profil 1 viser kun svake anomalier. Ledningsevne-målingene langs profilet indikerer en forhøyet ledningsevne i dalsøkk, men kontrasten mot omgivelsene er liten. Ved profil 2 blir VLF-målingene forstyrret av kraftledning. Ledningsevne-målingene gir en svak ledningsevneøkning over veggen.

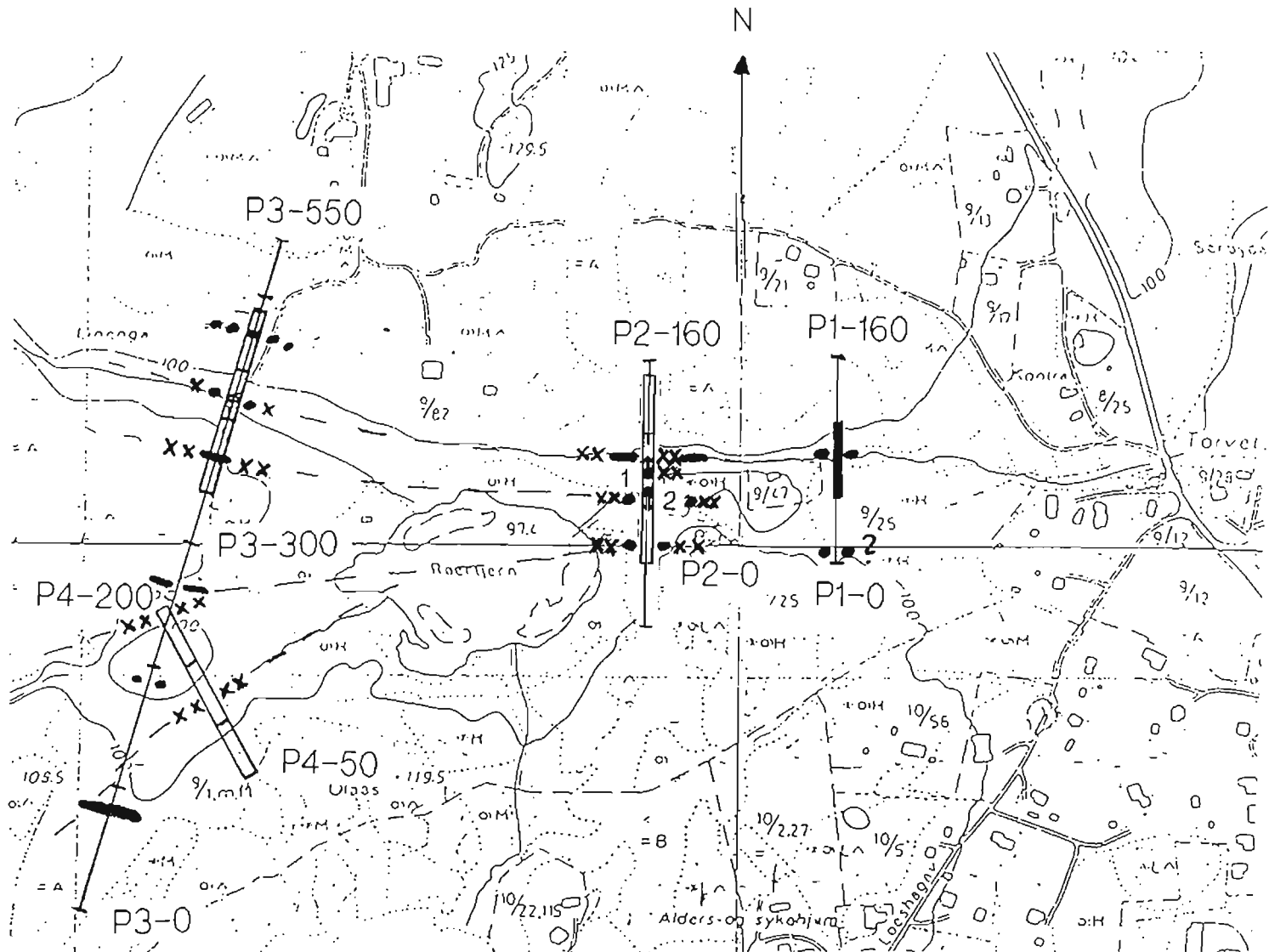
At sprekkesonene ved Holtlars hytte gir så svake geofysiske anomalier kan skyldes flere forhold. De markerte sprekkesonene i terrenget kan være tørre på grunn av at grunnvannet lekker ut gjennom sone 2 langs vegen. Dette ansees som lite sannsynlig da det lille vanninnslaget har kommet ved ca. 25 meters dyp (Holtlar, personlig informasjon). Sprekkene kan være trykt sammen på grunn av stort bergtrykk, men dette er også lite sannsynlig da Drammensgranitten vanligvis er en kompetent bergart. En tredje mulighet kan være at sprekkeene er tettet igjen av sekundære mineraler (kalkspat, leirmineraler o.l.).

Med bakgrunn i de geofysiske målingene synes spregninger i borhullene for derved å øke vannmengdene lite aktuelt. Nye boringer mot sonene i det aktuelle området vil trolig heller ikke gi mere vann.

#### 5.9. Torvet

Ved Torvet i Nesodden kommune ble det målt geofysikk langs 4 profiler over sprekkesoner som var aktuell for brønnboringer (se figur 7). Resultatene fra disse målingene er presentert i tidligere rapport (Rønning 1984b). Berggrunn i området består av øyegneis. Øst for Røertjern er løsmassedekket meget begrenset, og synes ikke å påvirke målingene. Ved profilene 3 og 4 indikerer ledningsevne målingene noe større løsmassemekthet.

Målingene gav klare anomalier på sprekkesone som det i utgangspunktet var aktuelt å bore på. I tillegg fremkom andre anomalier som også tolkes til å være forårsaket av sprekkesoner (se figur 7). I løpet av vinteren 84/85 ble det boret to brønner i området, og begge gir ca. 2000 liter vann pr. time. Ut fra de geofysiske data og de erfaringer dette prosjektet har gitt (se diskusjon) burde brønn 1 gitt mere vann enn brønn 2. Brønn 1 ble



Figur 7: Geofysiske profiler Torvet, Nesodden kommune

	VLF og MAGN.
	IP-σ-SP, a=12,5 meter
	Ip-σ-SP, a=5 meter
	Mulig sprekkesone
	Brønn (m/fall)
<b>Anomalier:</b>	
Meget sterk	VLF       σ
Sterk	
Svak	

av praktiske årsaker plassert på sørsida av sprekkesonen som ut fra geologiske og geofysiske betraktninger har et relativt steilt fall mot nord. Av denne grunn skjærer borhullet sannsynligvis ikke gjennom sprekkesonen, og spregning i hullet vil trolig kunne øke vannkapasiteten.

Vest for Røertjern er de geofysiske anomaliene jevnt over sterkere. Dette kan ha sammenheng med øket løsmassemekthet, men kan også indikere større oppsprekningsgrad. Området fremstår som et alternativ ved fremtidige boringer.

#### 5.10. Blaker

Ved Kjennsmotjernet i Nes kommune er det i regi av Asktjern/Blaker fellesvannverk boret fem brønner i fjell. Disse gav tildels mye vann (Solør Brønnboring 1983 og 1984), men det var aktuelt å bore flere brønner. NGU har i denne sammenheng vært engasjert for å ta ut nye boreplasser (Kraft 1984, Gaut 1984), og det er også utført geofysiske målinger for å følge sprekkesoner under løsmasseoverdekket (Fjeld 1984b, Fjeld 1984c). Berggrunnen i området består av grunnfjellsgneis, og de geofysiske målingene indikerer betydelige løsmassemektheter. Sistnevnte bekreftes av boringene ved brønn 5 der det påvises 12 meter løsmasser bestående delvis av marin leire (Solør Brønnboring 1984).

I forbindelse med dette forskningsprosjektet ble det målt fire geofysiske profiler (se figur 8 og bilag 1). VLF-målingene langs profilene 1 og 2 forstyrres dels av en kraftlinje og dels av et vannrør av jern med diameter 12". Disse målingene gir derfor upålitelige data. Ledningsevne-målingene langs de samme profilene påvirkes i en viss grad av godt ledende overdekke (marin leire), og dette gjelder spesielt på nordøstsiden av sprekkesonen.



Ledningsevne målingene gir likevel klare, tildels meget sterke anomalier på sonen. Bredden av ledningsevneanomalien ved profil 2 er det ikke mulig å bestemme da anomalien ligger ved enden av profilet. Det kan påvises en positiv korrelasjon mellom ledningsevne peak-verdi og vannkapasitet. Magnetiske målinger langs profilene 1 og 2 gir markerte anomalier over før omtalte vannrør.

Profil 3 faller delvis sammen med tidligere geofysiske målinger (Fjeld 1984b), og målingene ble utført for å sammenligne måleutrustningene samt kontrollere reproduserbarheten av målingene. Som en konklusjon på dette kan det sies at VLF- og ledningsevne gav god overensstemmelse og reproduserbarhet. IP-målingene synes å være direkte feil ved begge tilfellene, og dette har sammenheng med instrumentelle svakheter. SP-målingene er ikke sammenlignbare da de første målingene ble påvirket av regnvær (Fjeld 1984b).

VLF-målingene lengst øst for profilene 1 og 2 og lengst vest på profil 3 gir svake anomalier som kan skyldes avslutningen av mulig leiroverdekke. Markert svakhet i terrenget mot sørøst indikerer at disse anomaliene også kan skyldes en ny sprekkesone parallell med hovedsonen. For å få en kontroll med eventuelt overdekke av leire burde det vært utført vertikale elektriske sonderinger (VES).

Det fjerde profilet ble målt over sprekkesone hvor det var aktuelt med boring (boreplass 6, Kraft 1984). Profilet gav meget svake anomalier på VLF og ledningsevne sentralt i svakhetssonen i terrenget. Dette kan indikere dårlig oppsprekning og derved små vannmengder. Profilet viser imidlertid flere anomalier som kan skyldes oppsprekning, og spesielt er ledningsevneanomali lengst øst på profilet interessant. VLF-data mangler her da målingene måtte avbrytes på grunn av instrumentsvikt.

## 6. DISKUSJON

### 6.1. Sammenligning av metoder

Ved Fagerstrand var det tidligere målt seismikk langs en rekke profiler, og dette gav en mulighet til å sammenligne flere geofysiske metoder. I bilag 2 er resultatene fra de forskjellige målingene plottet mot hverandre. Ved ledningsevne benyttes anomali peak-verdi og bredde, ved VLF benyttes forskjell mellom realdelens positive og negative utslag og ved seismikk hastighets forskjell mellom sone og massivt fjell, og bredden av sonen.

Bilag 2 side 1 viser lav (negativ) korrelasjon mellom ledningsevne (ledningsevne multiplisert med bredde) og VLF Realdel. Dette har klar sammenheng med påviste feil ved to av VLF-anomaliene. Langs profil 2 forsterkes VLF-anomalien av en kraftlinje og et metallisk vannrør som faller sammen med sprekkesonen. Ved målingene langs profil 5 var de mest aktuelle radiosenderne ute av drift og målingene ble utført med en stasjon som er feil orientert i forhold til retningen på sonen. Ved å korrigere disse to måleverdiene i retningene som er indikert med piler i bilag 2 side 1 vil korrelasjonen mellom VLF Re og ledningsevne peak bli betydelig bedre.

De problemer som her skisseres er typiske for VLF-målingene. I flere av de undersøkte områdene (se bilag 1) påvirkes VLF-målingene av tekniske anlegg. De fleste av disse anleggene er imidlertid i forbindelse med eksisterende vannforskningsanlegg, og i nye jomfruelige områder er dette vanligvis ikke noe stort problem. Senderstasjoner som midlertidig er ute av drift har også tidligere vist seg å være et problem ved VLF-målinger. Av de 6 stasjoner som er tilgjengelige på EM-16 ligger fire i sør-sørvestlig retning, mens en ligger i Nord-Norge. Dette gir dårlig dekning i de tilfeller ledende soner er orientert i øst-vest-retning. Den mest aktuelle stasjonen i denne retningen

(NAA, Cutler Maine USA) har også vist seg å være spesiell ustabil med regelmessig opphold i sendingene. Et tredje forhold som påvirker VLF i uheldig retning er topografiske effekter. Under dette prosjektet har dette gitt seg utslag spesielt ved Føske-Skoli og i Reineelvdalen. VLF-målingene kan bare påvise sprekkesonenes beliggenhet og ikke deres bredde. Sonenes fall er i praksis vanskelig å tolke, og i de tilfeller en har fall kan også sonenes beliggenhet bli feil angitt (se Vivestad profil 1).

En sammenligning mellom seismisk hastighetsforskjell på den ene side og ledningsevne peak og ledningsevne peak multiplisert med ledningsevne bredde på den andre siden gir gode positive korrelasjoner (bilag 2 side 2). I tillegg til de data som her presenteres kommer målingene langs profil 3 som ikke gav anomalier på seismikk, og ubetydelig anomali ved ledningsevne målingene. Ved målinger langs profil 9 kunne det påvises meget sterk ledningsevneanomali som bekreftes av en markert VLF-anomali. Seismikk langs det samme profilet indikerer kun øket løsmassemektighet ved det aktuelle punkt. Dette betyr at ledningsevne- og VLF-målinger er vel så godt egnet til å påvise sprekkesoner som seismikk.

Et forsøk på å korrelere bredden av ledningsevneanomali med bredden av sone angitt ved seismikk gir en relativt lav positiv korrelasjon (bilag 2 side 3 øverst). Dette gjør seg også utslag i en lavere korrelasjonskoeffisient mellom ledningsevne multiplisert med bredde og tilsvarende størrelser fra seismikken (bilag 2 side 3 nederst). Årsaken til den lave korrelasjonen mellom breddene ligger delvis i at to profiler hvor seismikk ikke påviste noen sone er tatt med. Videre er avstanden mellom registreringspunktene i minste laget. Ved ledningsevne målingene var avstand mellom potensialelektrodene 5 meter. Det antas at geofonavstanden ved seismikken var den samme. Dette gir en usikkerhet i angivelsen av sonenes bredde på 5 meter, og når sonene er så smale som ved Fagerstrand gir dette store utslag. Det kan derfor i enkelte tilfeller være aktuelt å bruke enda mindre avstand



mellom registreringspunktene. I tillegg til sikrere angivelse av sonenes bredde vil dette også gi en mer korrekt ledningsevne peak-verdi. I enkelte tilfeller har en kunnet tolke sonenes fall, men dette forutsetter homogen oppsprekning og anomalier på flere målepunkter.

Også ledningsevne målingene er beheftet med enkelte svakheter, og målingene langs profil 1 ved Fagerstrand er et eksempel på dette. Her går et metallisk vannrør og en sprekkesone tilnærmet parallelt med profilet. I dette tilfelle er målingene ikke påvirket i særlig grad, men dette er forhold en må være klar over. Betydelige mektigheter av marin leire kan hindre strømmen å gå ned i fjellgrunnen, og dette vil da gi en delvis skjerming av eventuelle anomalier på sprekkesoner. Målingene ved Føske-Skoli synes å være et eksempel på dette. Selv om en lykkes i å få strømmen ned i berggrunnen kan et overdekke av leire ha en slik ledningsevne og mektighet at anomalier fra dette fullstendig overdøver eventuelle anomalier fra sprekker i berggrunnen. Videre må en være klar over de effekter topografien kan gi ved ledningsevne målinger.

IP-målingene ved dette prosjektet har dessverre ikke gitt data som kan benyttes i en evaluering av sprekkesonene. Årsaken til dette er at effekten/følsomheten på det benyttede instrument er for dårlig. NGU er i besittelse av en langt kraftigere utrustning, men denne begynner å bli gammel og nedslitt, og er derfor lite pålitelig. En modernisering av NGUs IP-utstyr må derfor vurderes.

SP-målingene har heller ikke gitt anomalier slik en håpet på etter forsøksmålingene i Reineelvdalen (Rønning 1984a). I ett tilfelle (ved Føske-Skoli) er det påvist en positiv SP-anomali over sprekkesonen noe som kan indikere fritt vann. I andre tilfeller er det påvist SP-anomalier som trolig skyldes en bioelektrisk effekt (Reineelvdal, Leiumåsen). Noe systematisk mønster i SP-anomalier over sprekkesonene kan ikke påvises, og det synes derfor som om metoden ikke kan være til hjelp i arbeidet med å påvise/evaluere vannførende sprekkesoner.

Negative magnetiske anomalier over sprekkesoner er påvist i Reineelvdalen og ved Føske-Skoli. Ved Vivestad er det påvist en nivåforskjell i magnetisk feltstyrke noe som indikerer at sprekkesonen faller sammen med bergartsgrense. Ved Blaker har magnetiske målinger gitt klare anomalier på et metallisk vannrør. I de øvrige områdene har magnetiske målinger ikke gitt anomalier og dette har sammenheng med at bergartene er umagnetiske (se Aero-magnetiske kart Skien, Oslo og Hamar, M 1:250 000). I de tilfeller en har fått negative magnetiske anomalier over sprekkesoner kan disse ikke brukes til å angi sonens eksakte beliggenhet og bredde (se 5.2 Reineelvdal). Den må i tillegg være klar over at i topografiske forhold som lengst oppe i Reineelvdalen er magnetiske målinger svært tilfeldige. Ut fra dette synes magnetiske målinger brukt til å påvise sprekkesoners beliggenhet lite aktuelt. I de tilfeller en har magnetiske bergarter kan metoden trolig brukes til å avgjøre om en VLF- eller ledningsevneanomali skyldes en kismineralisering eller en sprekkesone.

En viktig parameter som må taes med i vurderingen av de enkelte geofysiske metodene er ressursforbruk. VLF-målinger kan gjøres av en mann, men aller helst bør det være to mann slik at en eksakt målepunktavstand kan måles. Et profil med lengde 250 meter kan av rutinerne mannskaper måles i løpet av ca.  $\frac{1}{2}$  time under gunstige forhold. Magnetiske målinger kan da gjøres samtidig. Med det kabelsystemet som ble bygd for sprekkesonekartlegging kan to mann måle et elektrisk profil (IP-ledningsevne-SP) i løpet av 1 time inklusivt utlegging og opprydding. Målingene kan også utføres av en mann, men blir da noe mer tidkrevende. Ved å unnlate å måle IP og SP som ikke gav konklusive resultater, kan tidsforbruket reduseres noe.

Sammenlignet med seismikk kommer metoder som ble benyttet i dette prosjektet klart best ut. De 10 profilene ved Fagerstrand ble målt av to mann i løpet av to dager (16 timer effektivt arbeid). Seismiske målinger av tilsvarende omfang ble utført i løpet av

tre dager (Karlsson 1975) og sannsynligvis deltok tre mann i arbeidet. I tillegg har en kunnet påvise at VLF- og ledningsevne-målinger gir minst like gode data som seismiske målinger (se tidligere).

## 6.2. Geofysiske anomalier og vannkapasitet

En viktig del av dette forprosjektet var å undersøke om det var noen korrelasjon mellom geofysiske anomalier og sprekkesonenes evne til å gi vann. I bilag 3 er aktuelle anomalier plottet opp mot vannkapasitet i spredningsdiagram. Anomalier som en med sikkerhet vet er forstyrret av tekniske anlegg og/eller godt ledende overdekke er ikke tatt med, og brønner en vet ikke skjærer sprekkesonen tilfredsstillende er også utelatt. Korrelasjonene bygger på relativt få punkter, og det må derfor ikke legges for mye vekt på korrelasjonskoeffisientene.

VLF Re plottet mot vannkapasitet (bilag 3 side 1) gir i utgangspunktet negativ korrelasjon. Hvis en tar bort den ene brønnen ved Postfunksjonærenes feriehem som gav uvanlig mye vann blir resultatet en relativt god positiv korrelasjon ( $R=0,65$ ). Hvis en studerer hvert enkelt område for seg viser analysene at i alle de tre områdene en har to brønner er det positiv korrelasjon mellom VLF Re og vannkapasitet.

Også når det gjelder ledningsevne peak korrelert med vannkapasitet er den ene brønnen ved Postfunksjonærenes feriehem med å "ødelegger" bildet (bilag 3 side 2). Om en her ser bort fra denne brønnen gir analysene samlet en meget god positiv korrelasjon ( $R=0,89$ ). Sett isolert gir alle områdene med to brønner positive korrelasjoner mellom ledningsevne peak og vannkapasitet. I bilag 3 side 3 er ledningsevne peak multiplisert med bredden av sonen plottet mot vannkapasitet. Dette gir en ubetydelig økning

i korrelasjonskoeffisientene noe som indikerer at det først og fremst er sonens ledningsevne som bestemmer vannkapasitet.

I disse analysene ligger en rekke usikkerheter som gjør at en generelt ikke kan foreta noen kvantitativ evaluering av sprekkesonenes vannkapasitet. VLF-anomaliens styrke avhenger av foruten ledningsevnekontrast også retningen sonen har i forhold til senderstasjon, sonenes lengde, målepunktstetthet og topografi. Dette gjør at forskjellen mellom maksimal og minimal verdi ved Realdel-responsen kan bli tilfeldig. Ved ledningsevne målingene er det målepunktavstanden som kan gi de største usikkerhetene både når det gjelder anomaliens peak-verdi og bredde. Topografien kan også i enkelte tilfeller påvirke ledningsevneanomaliens størrelse. Videre kan borhullenes skjæring med sprekkesonen ha betydning for hvor mye vann som kan taes ut. I de fleste tilfellene er verdiene for vannkapasitet hentet fra testpumping under boring. På grunn av årlige variasjoner kan disse verdiene avvike fra det en ville fått om brønnene hadde blitt prøvepumpet på det tidspunkt de geofysiske målingene ble utført. Som en oppsummering kan en si at VLF- og ledningsevne målingenes styrke ligger i å peke ut det sted innen et gitt område hvor en sannsynligvis kan ta ut de største vannmengder.

Enkelte brønner ble utelatt ved sammenligningen av geofysiske anomalier og vannkapasitet på grunn av at det var tvil om borhullene traff sprekkesonen (Reineelvdal brønn 1, Leiumåsen, Torvet brønn 1). Hvor godt en brønn skjærer en sprekkesone kan avklares ved geofysisk borhullslogging. NGU har utstyr som kan anvendes ved RP- og SP-logging, men det finnes bedre utstyr kommersielt tilgjengelig hvor en også kan bestemme vannets ledningsevne og temperatur. Det må derfor vurderes om slikt utstyr skal anskaffes.

Trondheim, 6. mai 1985  
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE  
Geofysisk avdeling  
*Jan S. Rønning*  
Jan Steinar Rønning  
forsker

## 7. REFERANSER

- Barker & Myers 1979: VLF-EM Model Studies and some simple Quantitative Applications to field Results. *Geoexploration* 17 (55-63).
- Barker & Myers 1980: A Topographic Correction for VLF-EM profiles Based on Model Studies. *Geoexploration* 18 (135-144).
- Bodmer et al. 1968: On Induced Polarisation and Groundwater. *Geophysics* 33.5 (805-821).
- Bogoslovsky & Ogilvy 1973: Deformations of Natural Electric Fields Near Drainage Structures, *Geophysical Prospecting* 21 (4) (716-723).
- Bryn 1973: Vannforsyning Myklerud skole, Fagerstrand. NGU-Oslo. Brev til Nesodden kommune datert 04.09.73.
- Bryn 1974: Grunnvannsforsyning, Fagerstrand. NGU-Oslo. Rapport nr. 0-74065.
- Dalevold, personlig informasjon: Dalevold hytteeier Leiumåsen, Frogn.
- Fjeld 1984a: Vann i fjellprosjektet. Sluttrapport NTH.
- Fjeld 1984b: Grunnvannsprospektering ved hjelp av geofysikk for Blaker/Asktjern fellesvannverk, Sørums og Nes kommuner i Akershus, NTH.
- Fjeld 1984c: Supplerende geofysiske målinger for Blaker/Asktjern fellesvannverk, Akershus, NTH. Rapport nr. 84.M.03.
- Gaut 1978: Grunnvannsforsyning til hytte ved Storsand. NGU-Oslo. Rapport nr. 0-75193.
- Gaut 1981: Prøvepumping av grunnvannsbrønner for Hvitvingfoss i Kongsberg kommune. NGU-Oslo. Rapport nr. 0-80010.
- Gaut 1984: Utvidet grunnvannsforsyning til Asktjern/Blaker fellesvannverk. NGU-Oslo. Rapport fra prosjekt 2074.
- Geometrics 1977: Operating manual. Model G-836, Unimag, Proton Magnetometer.
- Geonics 1973: Operating Instructions EM-16 VLF Electro Magnetic Unit.
- Henkel & Guzman 1977: Magnetic Features of Fracture Zones. *Geoexploration* 15 (173-181).

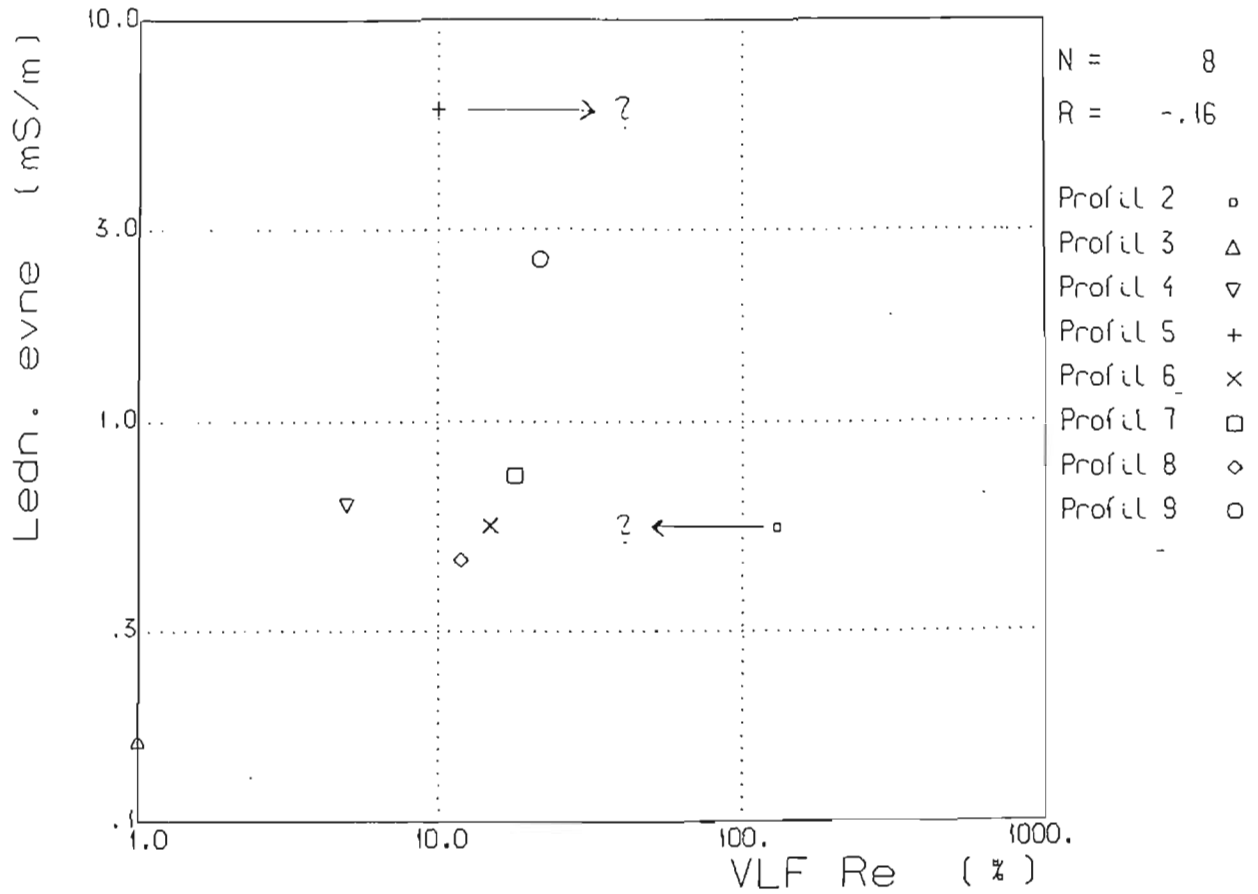
- Holtlar, personlig informasjon: Holtlar hytteeier Burud, Hurum kommune.
- Huseby 1977: Rapport etter forundersøkelse vedrørende grunnvannsmuligheter ved fjellboringer for tettstedet Hvittingfoss i Kongsberg kommune. NGU-Oslo. Rapport nr. 0-77001.
- Huseby & Gaut 1979: Rapport etter forundersøkelser vedrørende grunnvannsmuligheter ved fjellborete brønner for tettstedet Hvittingfoss i Kongsberg kommune. NGU-Oslo. Rapport nr. 0-78131.
- Karlsson 1975: Seismiske målinger i forbindelse med vannprosjekt Myklerud-Fagerstrand for Nesodden kommune. Geoteam Stabekk. Rapport nr. 4154.01.
- Karous 1978: Approximative Calculation of the Effect of Relief on VLF (Very Low Frequency) Method Acta Universitatis Carolinae-Geologica No 1-2 (s. 65-84).
- Kraft 1984: Forundersøkelse vedrørende muligheter for uttak av grunnvann fra fjell for Asktjern/Blaker fellesvannverk, Sørum og Nes kommuner. NGU-Oslo. Rapport fra prosjekt 2074.
- Lile 1978: Teori om årsken til VLF anomalier og sammenligning av VLF og TURAM anomalier. Foredrag på NOFTIG-møte i Oulo, Finland 9.-13. jan. 1978.
- Lile 1984a: Elektriske metoder. Kompendium i faget 24001 Anvendt geofysikk NTH, Høsten 1984.
- Lile 1984b: Elektromagnetiske metoder. Kompendium i faget 24001 Anvendt geofysikk NTH, Høsten 1984.
- Müllern & Ericsson 1982: Möjligheter till analys av VLF-anomalier vid prospektering efter grundvatten i berg. STU-rapport 80-4151.
- Ogilvy et al. 1969: Geophysical Studies of Water Leakages from Reservoirs. Geophysical Prospecting 17 (36-61).
- Rohr-Torp 1974: Vannforsyning til Leiumåsen, Frogn. NGU-Oslo. Brev datert 05.09.74 til Leiumåsen vannverk.
- Rohr-Torp 1975: Vannforsyning til hytte, Burud Storsand. NGU-Oslo. Rapport nr. 0-75193.

- Rohr-Torp 1976: Brønnboringer ved Birger Holtlars hytte, Stor-sand. NGU-Oslo. Brev datert 04.11.76 til Jansens Brønn-boringsfirma.
- Rohr-Torp 1981: Muligheter for grunnvannsforsyning til glatt-kjøringsbane, Frogn. NGU-Oslo. Rapport nr. 0-81034.
- Rohr-Torp 1982a: Påvisning av borelokaliteter, glattkjørings-bane, Frogn. NGU-Oslo. Brev datert 14.01.82 til Norges Automobilforbund. J.nr. 10/82.
- Rohr-Torp 1982b: Myklerud grunnvannsanlegg, anbefalinger. NGU-Oslo. Rapport nr. 0-82047.
- Rohr-Torp & Bryn 1975: Grunnvannsforsyning Myklerud og Prestegårdsfeltet. NGU-Oslo. Rapport nr. 0-75227.
- Rueslåttan et al. 1984: Vann i fjellprosjektet. Sluttrapport NTH.
- Rønning 1984a: Geofysiske forsøksmålinger på vannførende sprekkesoner i Reineelvdalen, Kongsberg kommune, Buskerud. NGU Rapport nr. 84.102.
- Rønning 1984b: Foreløpig rapport fra geofysiske målinger i forbindelse med vannprospektering fra sprekkesoner i fjell ved Torvet, Nesodden kommune og Vivestad, Ramnes kommune. NGU Rapport nr. 84.119.
- Solør Brønnboring 1983 og 1984: Borerapportene 0489, 0457, 0595, 0638 og 0637.
- Schiavone & Quarto 1984: Self-Potential prospecting in the Study of Water Movements. Geoexploration 22 (47-58).
- Telford et al. 1978: Applied Geophysics, Cambridge University Press Cambridge.
- Aalstad & Åm 1972: Magnetometri. Kompendium i magnetometri ved NTH.

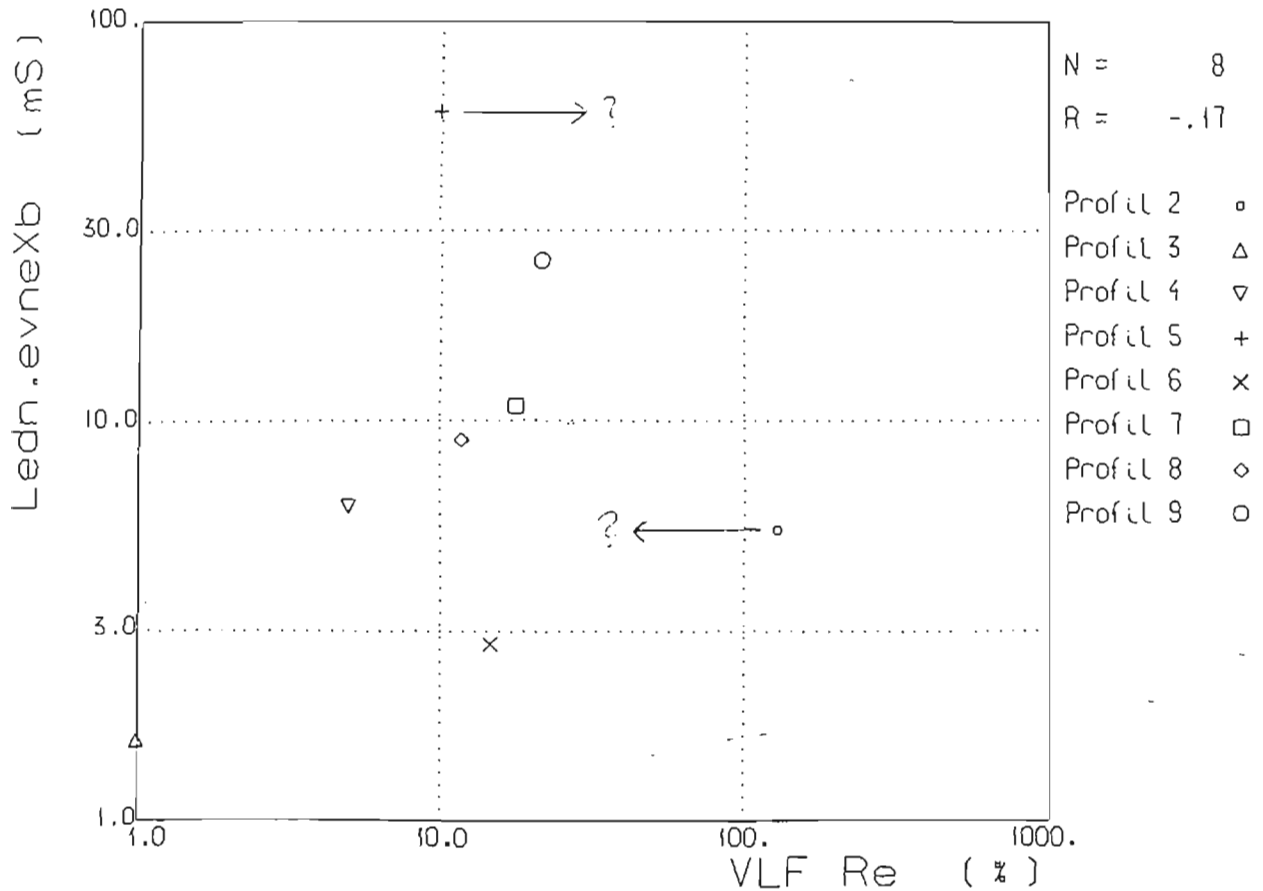
Område Profil	Brønner		VLF		Ledningsevne		Forstyrrelser/Kommentarer
	Nr.	Q(l/h)	Re(%)	Im(%)	Peak (E-3S/m)	Bredde (m)	
Vivestad 1	-	-	70?	+34	2.0	?	Kraftlinje. Fall
" 2	-	-	150	-39	2.5	40	
" 3	-	-	180	-22	6.0	25	
" 4	-	-	50	+6	0.84	100	
Reineelvdal 1a	4a	4000	50	+35	1.7	40	Topografi. Fall
" 1b	4b	2500	7	0	0.8	20	
" 2a	-	-	55	+35	1.2	50	
" 2b	-	-	11	+5	0.6	?	
" 3	1	350	35?	+16	1.3?	50?	
Føske-Skoli 1	18	12000	?	?	0.3?	25	Kraftlinje, overdekke
" 2	19	6000	?	?	0.6?	?	Overdekke. Topografi, VLF-stasjon
NAF-bane 1	3	1800	33	-10	1.3	10	
" 2	2	1200	22	0	0.3	15	
Fagerstrand 1	3	14000	30?	+6	0.70?	20	Kraftledning, vannrør, soner i kryss
" 2	1	9000	130?	+20	0.54	10	Kraftledning, vannrør, to brønner
" 3	2	500	0	0	0.16	10	Seismikk 7/75
" 4	-	-	5	+3	0.62	10	" 4/75
" 5	-	-	10?	+12?	6.0	10	Feil VLF-stasjon, " 5/75
" 6	4	3000	1	+10	0.55	5	" 3/75
" 7	-	-	18	+12	0.73	15	" 1/75
" 8	-	-	12	+16	0.45	20	" 1/75
" 9	-	-	22	+16	2.54	10	" 3/75
Skiphelle 1	1	14000	2(?)	4	0.30	5	Ved profilets ende
" 2a	-	-	17	+13	0.90	25	
" 2b	-	-	12	+10	1.90	?	
Leiumåsen	1	140	250(?)	-55	3.0	10	Kraftlinje
Burud 1	1	≈0	9	+2	0.3?	?	Topografi, liten ledningsevnekontrast
" 2	2	50	?	?	0.4?	5	Kraftlinje, "
Blaker 1	5	12000	240?	-80	2.5	40	Vannrør, kraftledning, overdekke
" 2	3	3600	50?	?	1.5	?	Vannrør, kraftledning, overdekke
" 3	-	-	28	+2	1.2	25	
" 4	-	-	21	+6	0.4	25	



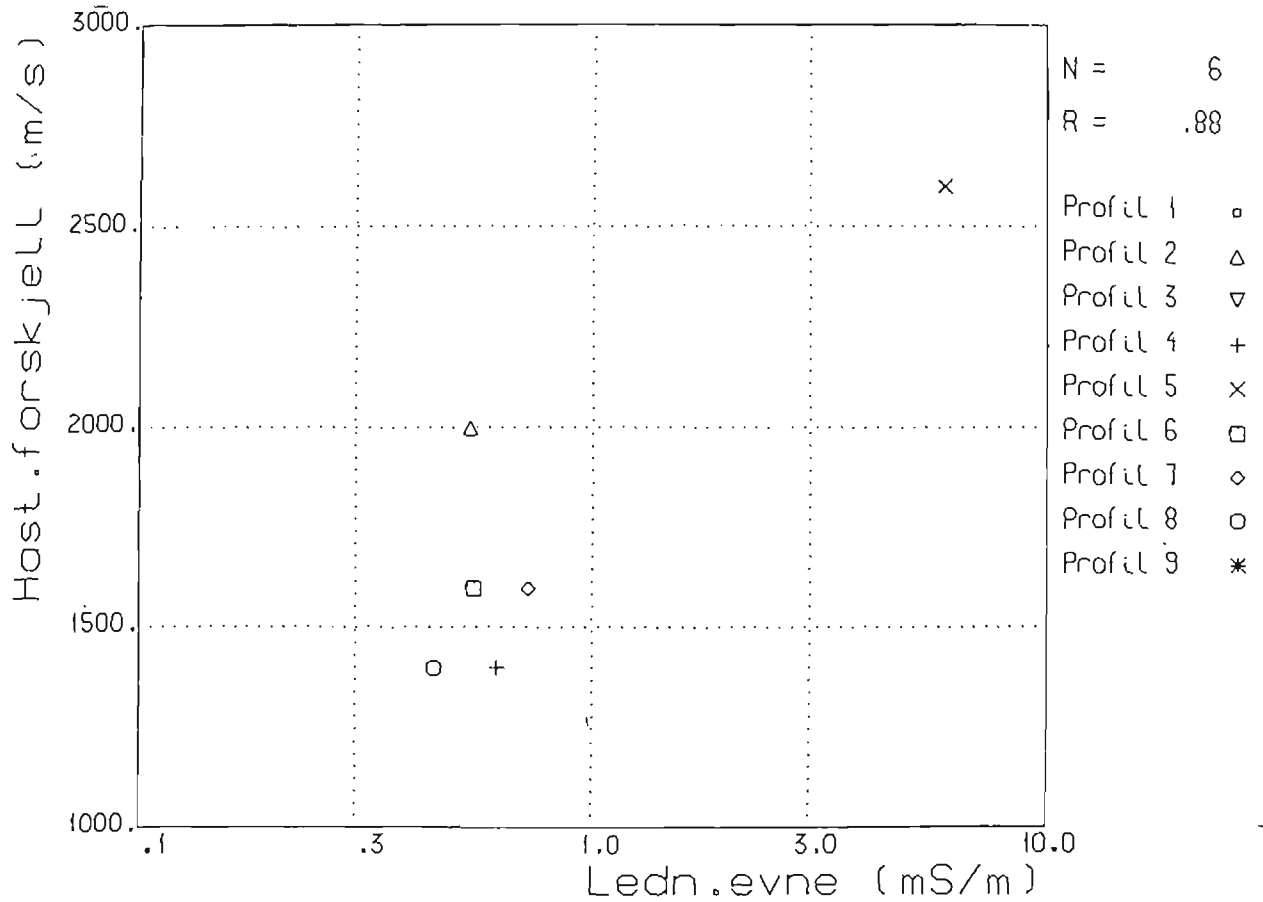
## KORRELASJONER FAGERSTRAND



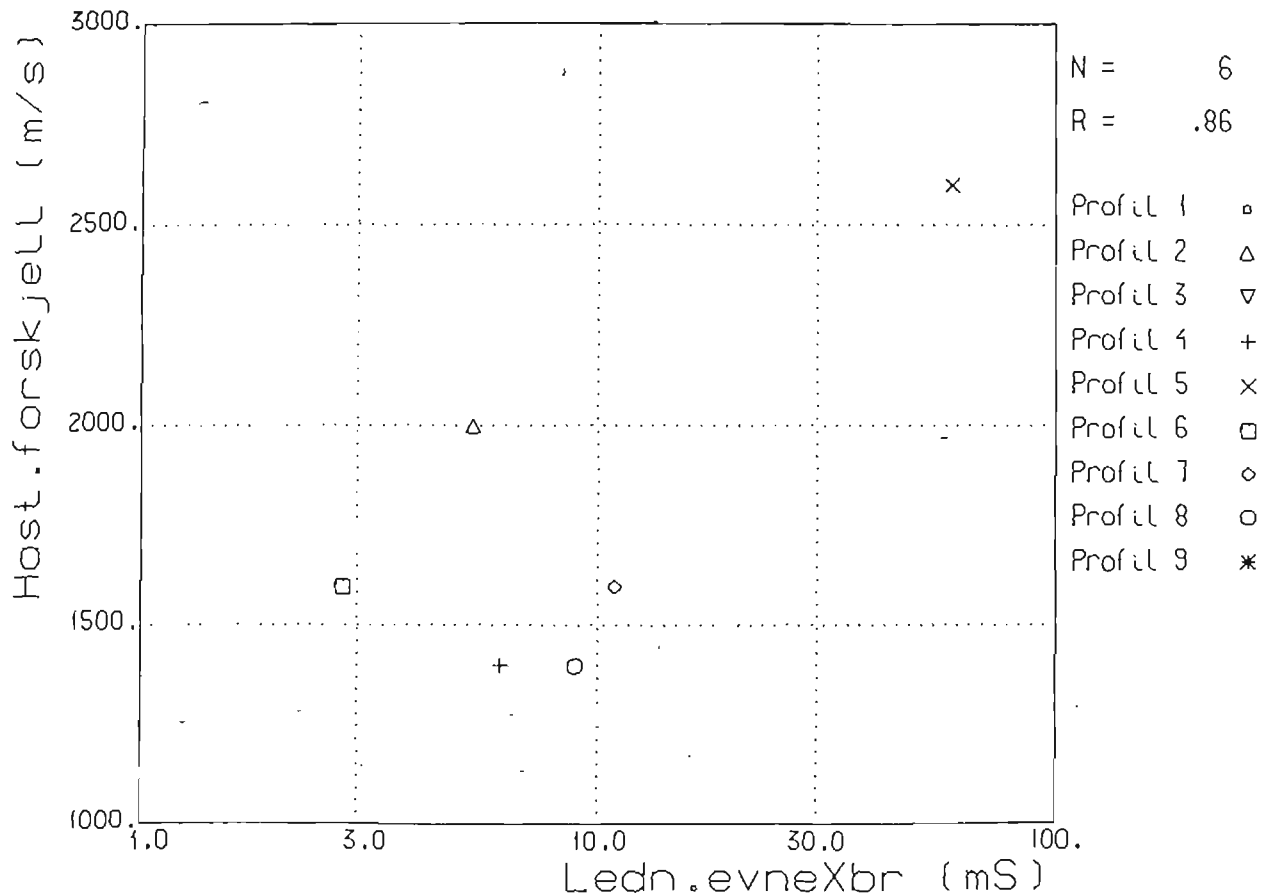
## KORRELASJONER FAGERSTRAND



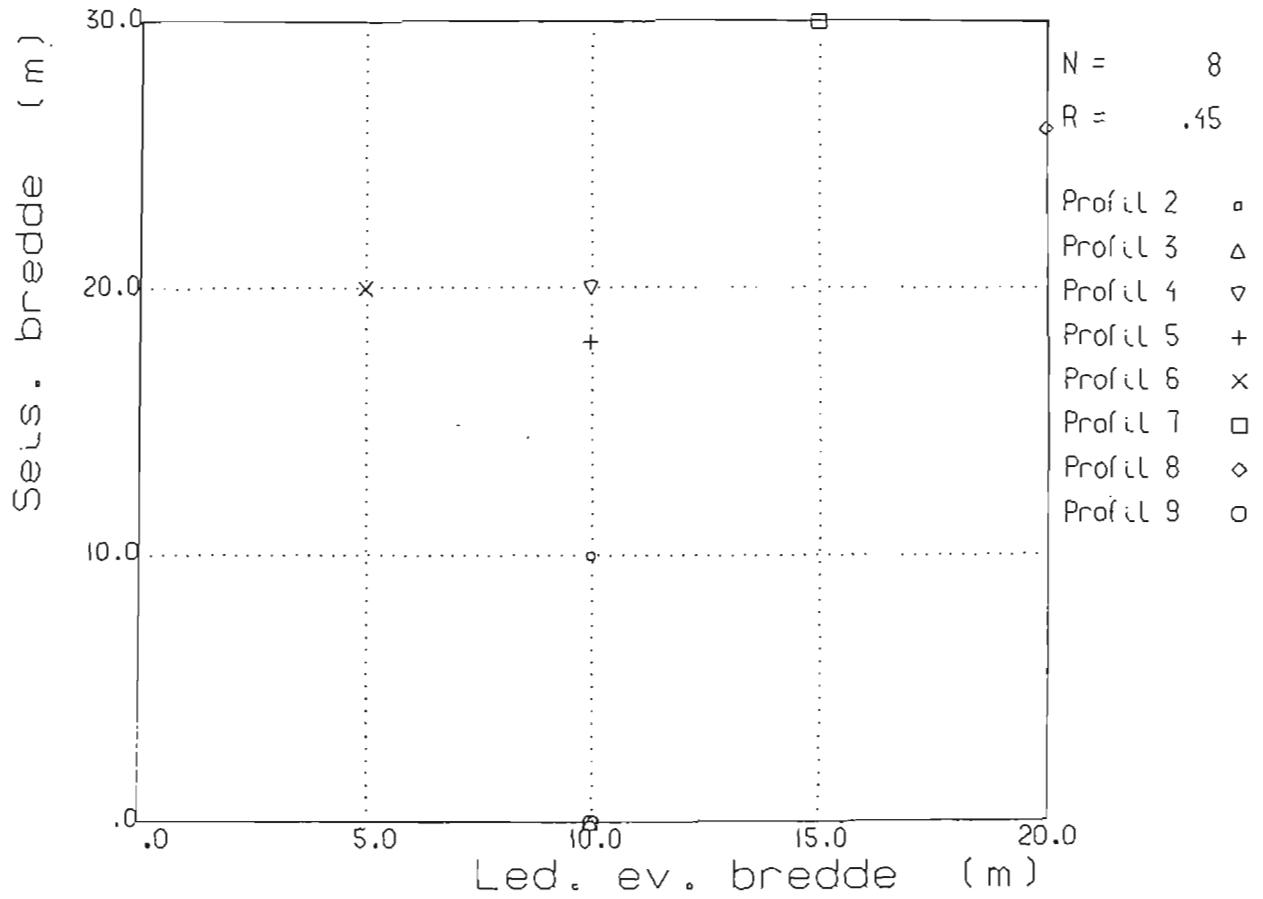
### KORRELASJONER FAGERSTRAND



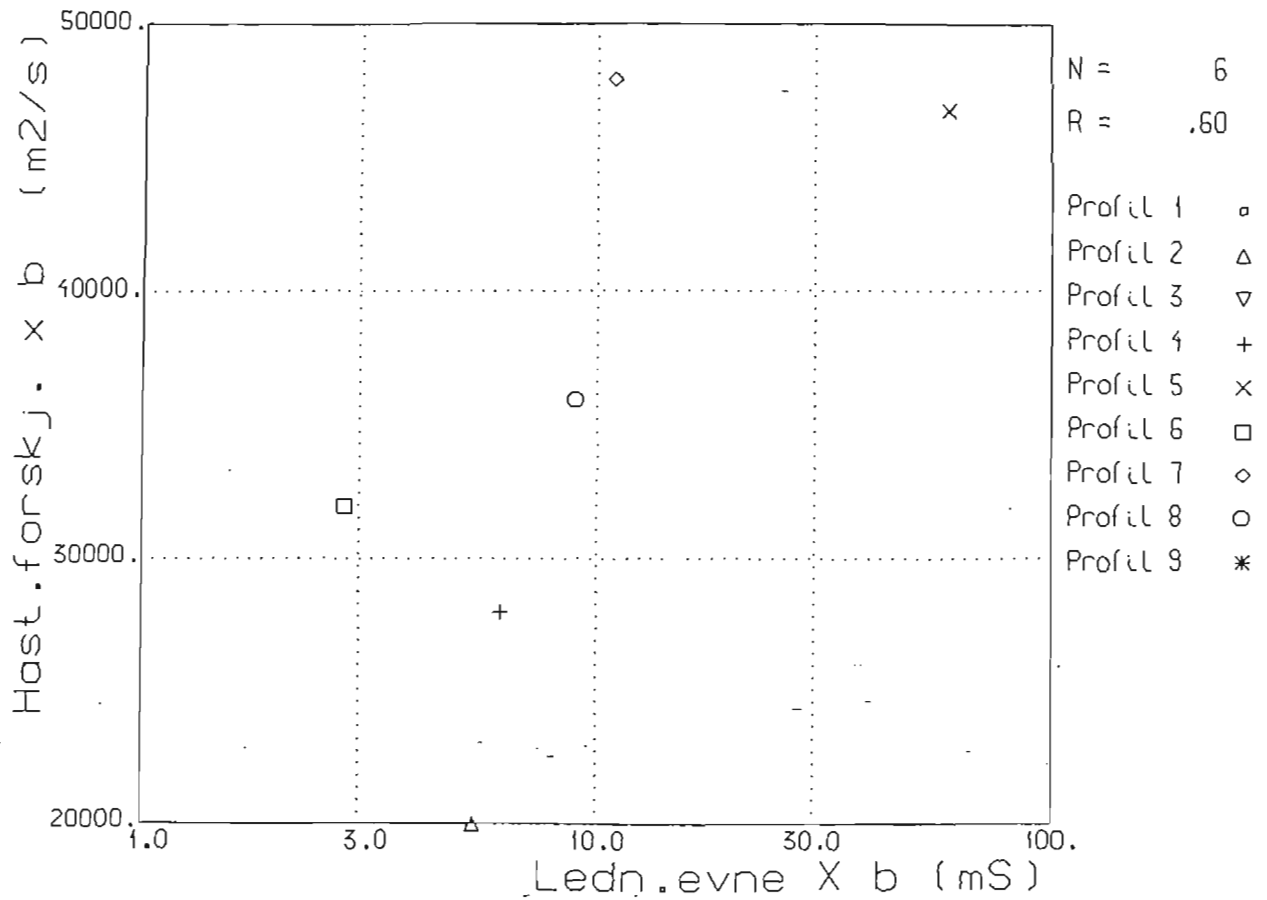
### KORRELASJONER FAGERSTRAND



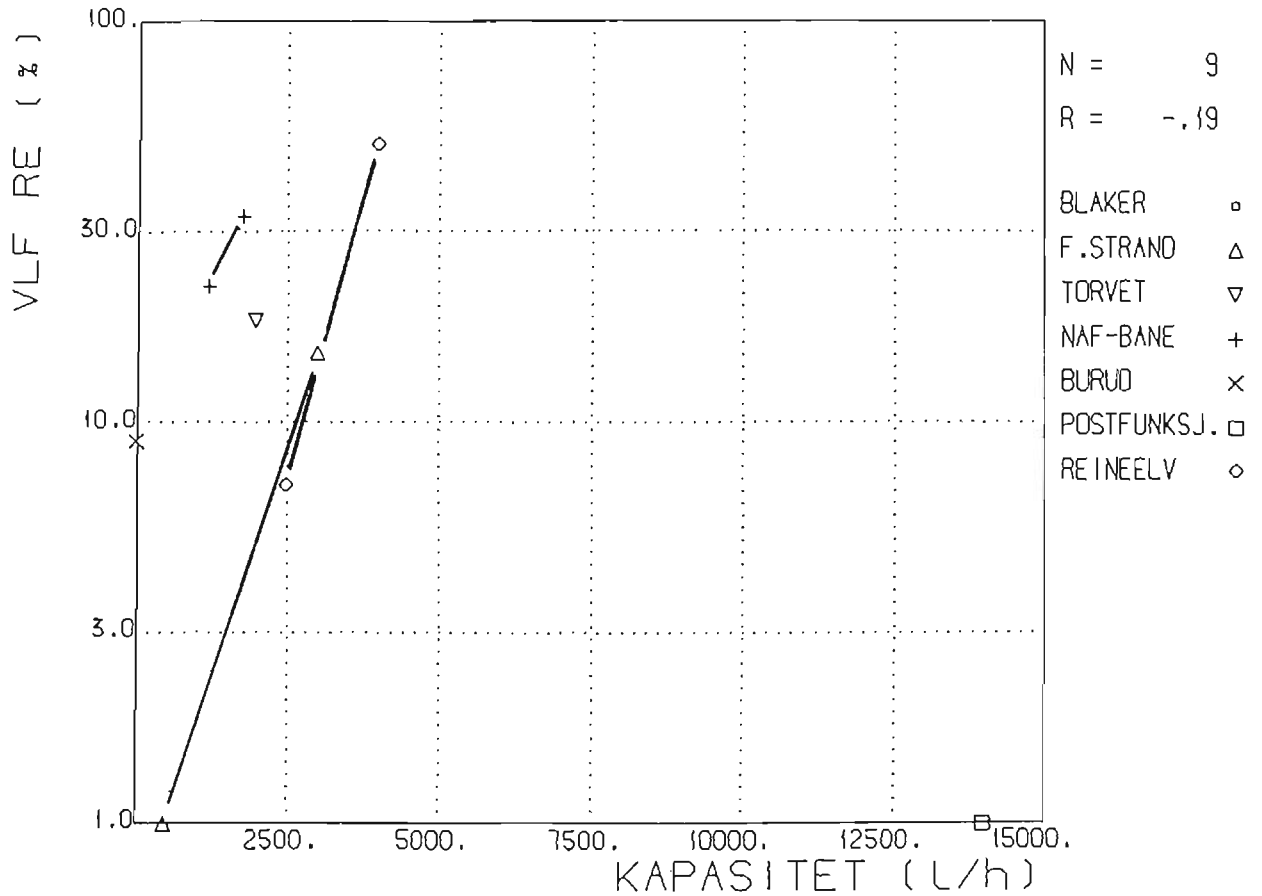
### KORRELASJONER FAGERSTRAND



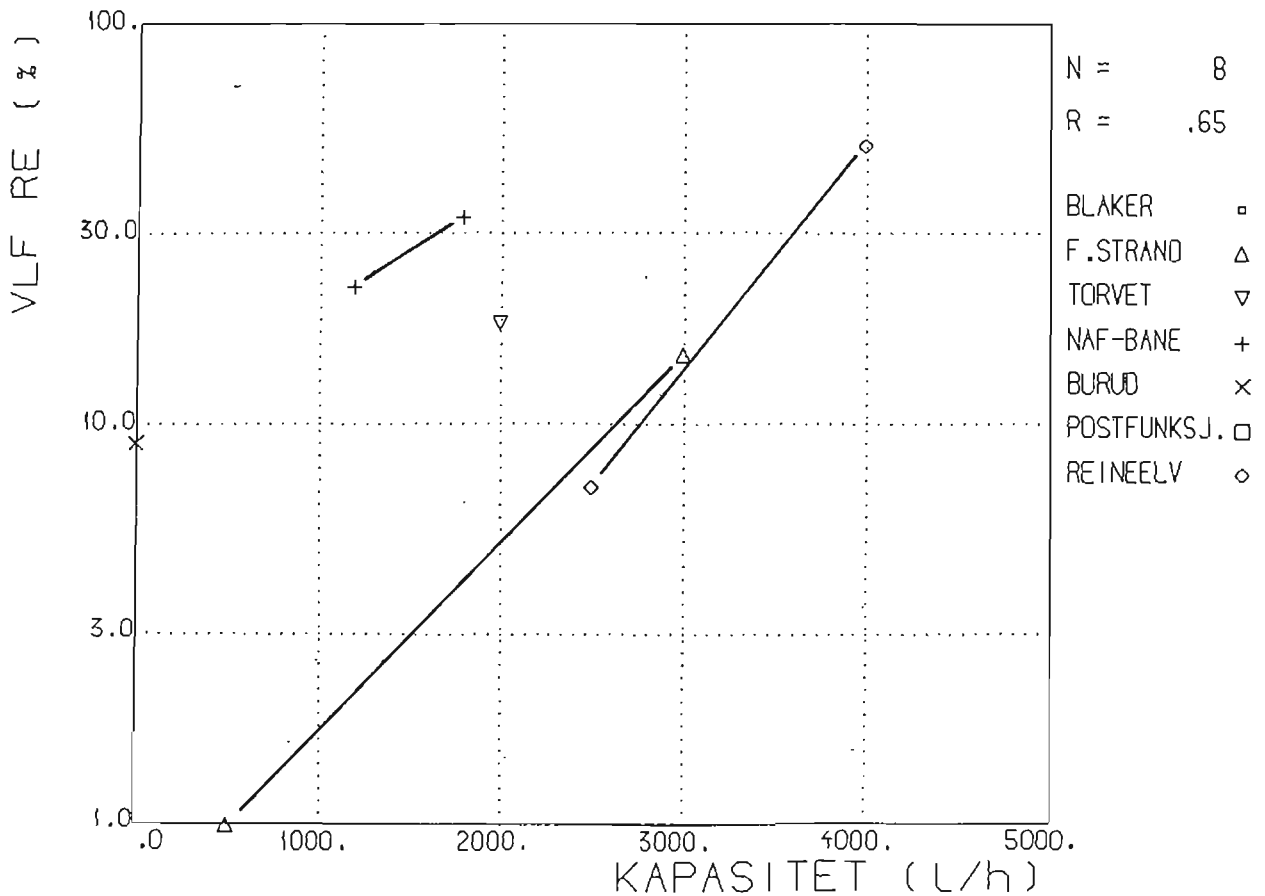
### KORRELASJONER FAGERSTRAND



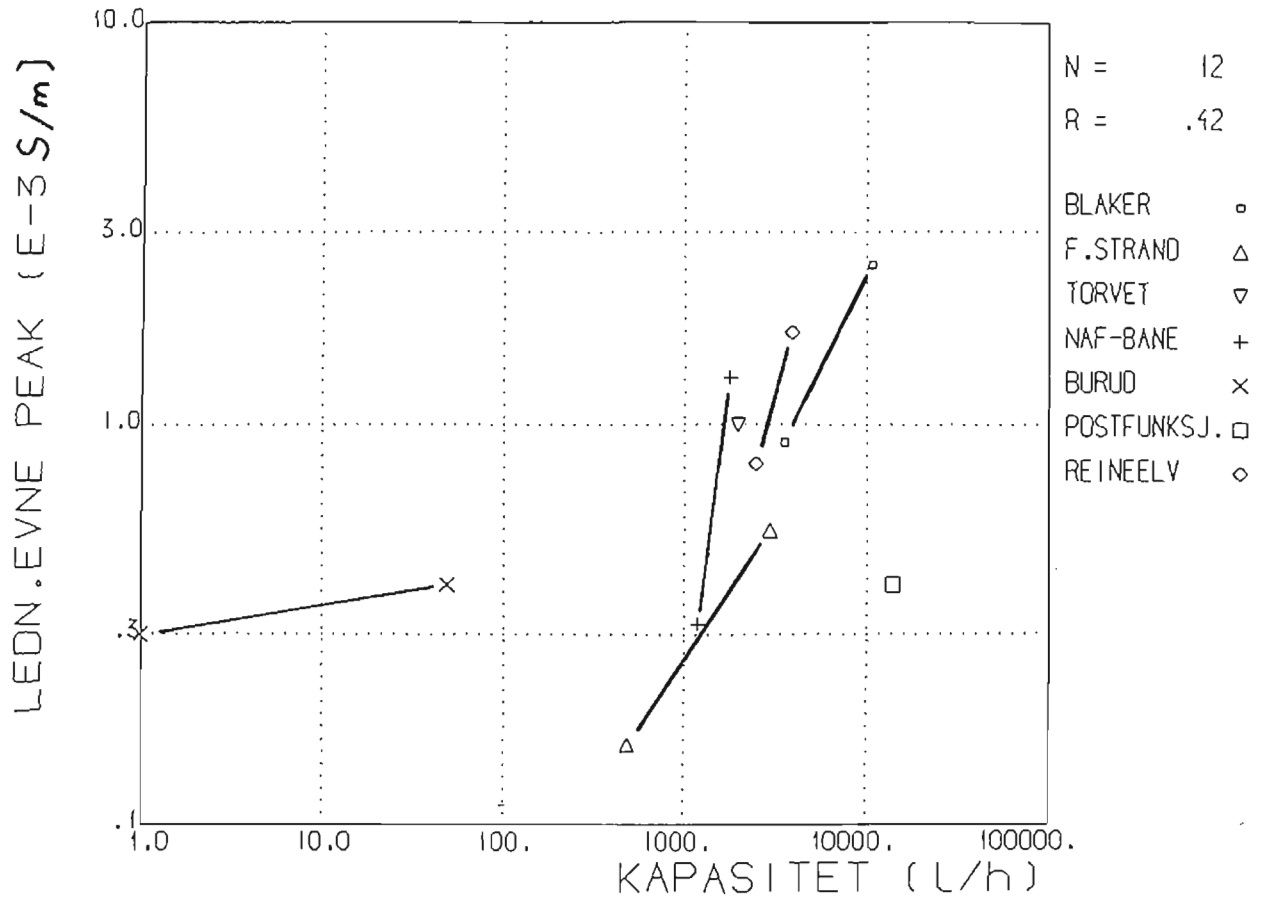
# GEOFYSIKK-VANNKAPASITET



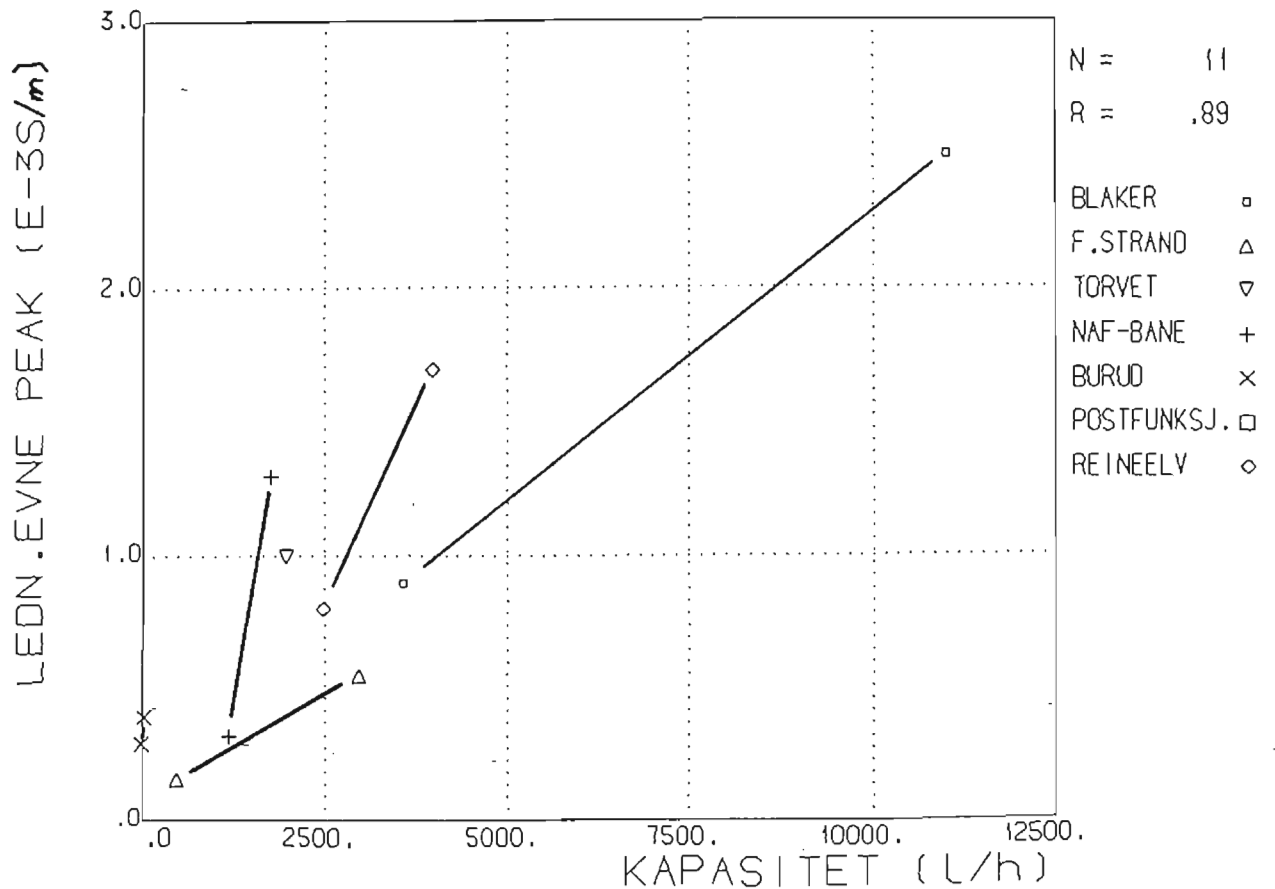
# GEOFYSIKK-VANNKAPASITET



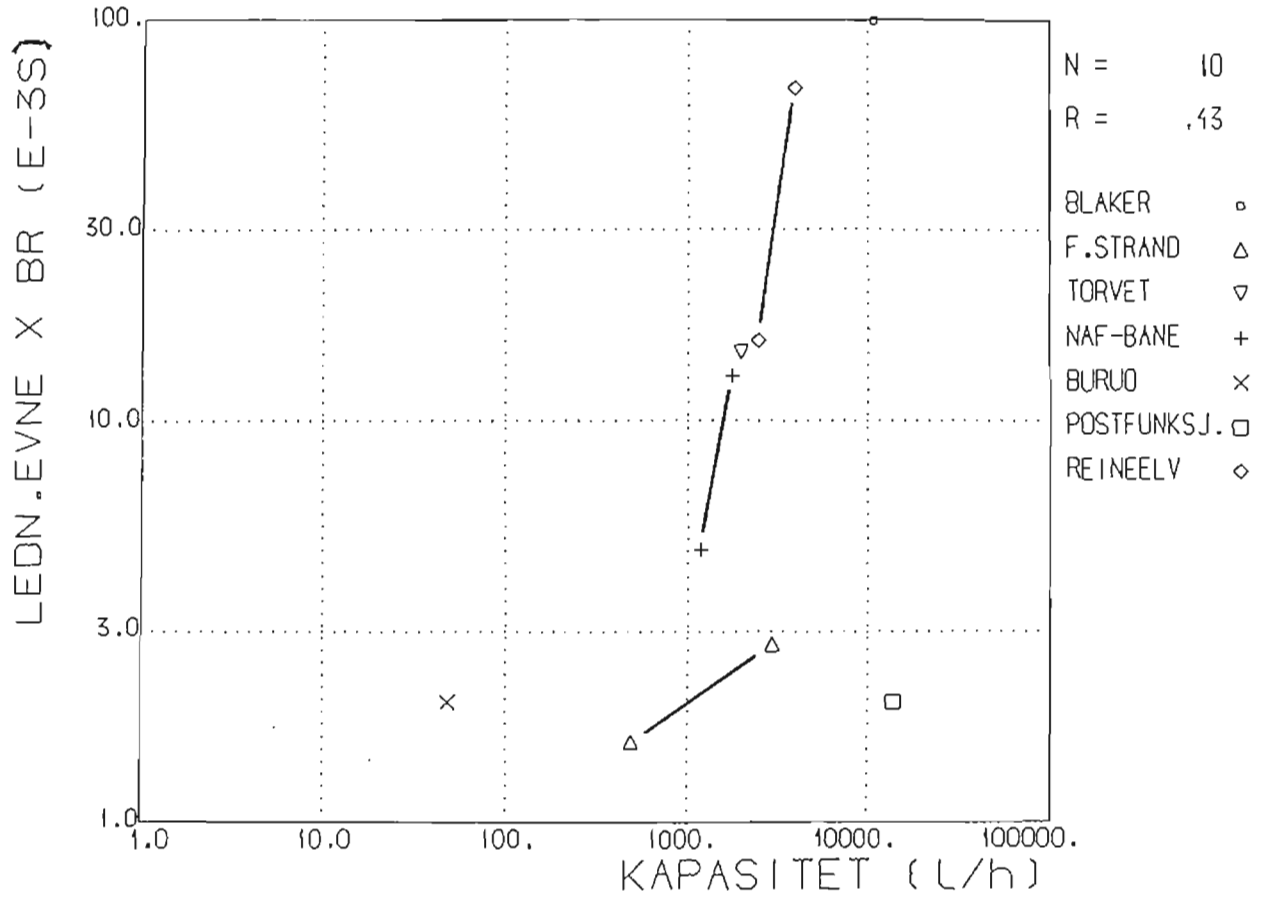
## GEOFYSIKK-VANNKAPASITET



## GEOFYSIKK-VANNKAPASITET



# GEOFYSIKK-VANNKAPASITET



# GEOFYSIKK-VANNKAPASITET

