NGU Rapport 94.049

Undersøkelse for HVDC-elektrode
Rapport fra feltundersøkelse

NGU
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

Postboks 3006 - Lade
7002 TRONDHEIM
Tlf. 73 90 40 11
Telefax 73 92 16 20

RAPPORT

Rapport nr. 94.049	ISSN 0800-3416	Gradering: ~~Fortrolig~~ Åpen

Tittel:
Undersøkelse for HVDC-elektrode. Rapport fra feltundersøkelse.

Forfatter:	Oppdragsgiver:
Jan Steinar Rønning, Ole Bernt Lile, Leiv Eriksson og Einar Dalsegg	Statnett SF
Fylke: Rogaland, Vest-Agder og Aust-Agder	Kommune: Evje og Hornnes, Vennesla, Iveland, Arendal, Grimstad og Sokndal
Kartbladnavn (M=1:250.000) Mandal og Arendal	Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1512 III Evje, 1511 IV Iveland 1611 IV Arendal og 1311 IV Sokndal
Forekomstens navn og koordinater: Flåt gruve 4345 64960 Eikeland 4275 64715 Iveland 4353 64780 Skotta 4810 64720 Bråstad 4825 64805 Storgangen 3442 64722 Vest for Storgangen 3415 64722	Sidetall: 20 Pris: Kartbilag: 12

Feltarbeid utført:	Rapportdato:	Prosjektnr.:	Ansvarlig:
02.05.-15.05 1994	23.06 1994	61.2621.00	Jan S. Rønning

Sammendrag:
På oppdrag fra Statnett SF har NGU i samarbeid med NTH og SGU vurdert mulighetene til å benytte malmforekomster som jordingspunkt for HVDC-elektrode (High Voltage Direct Current). I alt 7 lokaliteter er valgt ut på grunnlag av tilgjengelig informasjon. Disse er undersøkt med metoder som CP (Charged Potential), VLF (Very Low Frequency), SP (Selv-Potensial) og Stangslingram (EM-31). Målet var å finne forekomster som kunne konkurrere med jordinger i sjø når det gjelder overgangsmotstand fra elektrode via forekomst til omkringliggende bergart.

Av de 7 lokalitetene ble 5 funnet uaktuelle (Eikeland, Iveland, Skotta, Flåt nikkelgruve og Bråstad jerngruve). Området kalt Vest for Storgangen kan som et alternativ til Storgangen være aktuell etter nærmere undersøkelser. Storgangen ved Hauge i Dalane er den mest interessante av de undersøkte lokalitetene. Her anbefales videre undersøkelser for å studere effektene av flere og større elektroder samt større strømstyrke over lengre tid.

Emneord:	Berggrunnsgeologi	
Geofysikk	Malmgeologi	
Elektrisk måling	Elektromagnetisk måling	Fagrapport

INNHOLD Side

1 INNLEDNING 4

2 MÅLEMETODER OG UTFØRELSE 4

3 RESULTATER OG KOMMENTARER 6
3.1 Flåt gruve 6
3.2 Eikeland 6
3.3 Iveland 7
3.4 Bråstad gruve 7
3.5 Skotta 7
3.6 Vest for Storgangen 8
3.7 Storgangen 10
3.7.1 Jording CP1 10
3.7.2 Jording CP2 12
3.7.3 Jording CP3 12

4 DISKUSJON OG ANBEFALING 12

5 KONKLUSJON 14
6 REFERANSER 15

TEKSTBILAG:

Tekstbilag 1: CP metodebeskrivelse
Tekstbilag 2: VLF metodebeskrivelse
Tekstbilag 3: SP metodebeskrivelse.
Tekstbilag 4: EM31 metodebeskrivelse

KARTBILAG:

94.049-01 Flåt gruve, oversiktskart
-02 Eikeland og Iveland, oversiktskart
-03 Skotta og Bråstad gruve, oversiktskart
-04 Storgangen og Vest for Storgangen, oversiktskart
-05 Flåt gruve, CP konturkart
-06 Eikeland, VLF og SP tolkningskart
-07 Iveland, VLF og SP tolkningskart
-08 Bråstad gruve, CP konturkart
-09 Skotta, VLF og EM31 tolkningskart
-10 Vest for Storgangen, VLF og SP tolkningskart
-11 Storgangen, CP konturkart jording 1
-12 Storgangen, CP konturkart jording 3

1 INNLEDNING

På oppdrag fra STATNETT SF har NGU i samarbeid med NTH og SGU vurdert muligheter til å benytte malmforekomster som jordingspunkt for HVDC-elektrode (High Voltage Direct Current) for overføring av elektrisk energi til kontinentet. Det aktuelle området er begrenset av Killdal Kraftstasjon i nord, Boknafjorden i vest og Arendal i øst samt de kystnære havområder. På grunnlag av forundersøkelser beskrevet i NGU Rapport 94.022 (Dalsegg & Rønning 1994), ble følgende prioriterte list over mulige lokaliteter godkjent på prosjektmøte 31. januar og 1. februar 1994:

1) - Ni-sulfidforekomst, Flåt gruve, Evje
   - mulig grafittmineralisering nord for Hauge (vest for Storgangen)
   - Fe-Ti-mineralisering, Storgangen
   - Fe-mineralisering, Bråstad ved Arendal

2) - mulig grafittmineralisering ved Eikeland
   - kartlegging av potensialforløp på land med jording i forskjellige posisjoner i sjøen over Listabassenget.

3) - mulig grafittmineralisering mellom Grimstad og Arendal

I følge avtale med oppdragsgiver skulle alle forekomster med prioritet 1 undersøkes. Prioritet 2 og 3 skulle bare undersøkes dersom det kunne gjøres innenfor de gitte økonomiske rammer.

Med utgangspunkt i denne prioriterte listen ble det utført feltundersøkelser i perioden 2. til 15. mai 1994. Hensikten med disse undersøkelsene var å vurdere om noen av lokalitetene kunne være aktuelle som jordingspunkt.

Som en del av prosjektarbeidet er det også utarbeidet et notat generelt om kraftoverføring med HVDC-elektroder i bakken (Eriksson 1994) og et notat om elektrokjemiske reaksjoner rundt malmkropper som utsettes for strøm (Lile 1994).

2 MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

De aktuelle lokalitetene for HVDC-elektrode kan deles i tre grupper; kjente mineraliseringer, ukjente mulige mineraliseringer og sjø med underliggende sedimentære bergarter. Områdenes beliggenhet fremgår av kartbilagene -01 og -04 (M 1:50.000). De kjente mineraliseringene (Flåt Ni-gruve, Bråstad Fe-gruve og Storgangen Fe/Ti-forekomst ble undersøkt med CP-metoden (Charged Potential). Metoden, som er beskrevet i tekstbilag 1, gir informasjon om

forekomstens beliggenhet og i enkelte tilfeller størrelse samt om det er andre ledende soner i omgivelsene. I tillegg kan en få informasjon om overgangsmotstand fra elektrode til mineralisering, overgangsmotstand fra mineralisering til sideberg og elektrisk potensialgradient rundt jordingspunktet. I vurderingen av forekomster har en lagt vekt på de to sistnevnte forhold som er naturgitte og ikke kan endres. Overgangsmotstand fra elektrode til malmkropp kan reduseres ved å velge riktige tekniske løsninger. For at en forekomst skal være aktuell må overgangsmotstand fra malmkropp til omgivelsene være mindre enn 0,5 ohm, mens potensialgradienten ikke må overskride 5 mV/m/A (skrittspenning på 10 V ved strømstyrke 2000 A).

De ukjente ledende sonene (Vest for Storgangen, Eikeland, Iveland og ved Arendal) ble undersøkt med metodene VLF (Very Low Frequency), SP (Self Potential) og delvis Stangslingram (EM-31). Metodene er beskrevet i tekstbilagene 2, 3 og 4. Ved bruk av disse målemetodene ville en fastlegge sonenes utgående, samt få et inntrykk av sonenes ledningsevne. Ved påvisning av godt ledende soner ville også disse bli fulgt opp med CP-målinger, noe som ble gjort i området Vest for Storgangen.

Undersøkelse av potensialforløp på land med jording i forskjellige posisjoner i sjøen over Listabassenget ble nedprioritert til fordel for mer en omfattende undersøkelse av Storgangen. Dette er også problemstillinger som skal studeres ved planlagte modellberegninger i regi av EFI (Energiforsyningens ForskningsInstitutt).

CP-målingene ble utført med NGUs egenproduserte utstyr. Strøm ble sendt i firkantpulser på 1 sekund, og med en dødtid på 3 sekunder. Strømstyrken ved målingene på Flåt, Bråstad og Storgangen var 1 A, mens det i området Vest for Storgangen ikke var mulig å få ut mer enn 0.5 A. Alle CP-målinger ble utført som gradientmålinger med ikke polariserbare $Cu/CuSO_4$-elektroder. Målepunktavstand var hovedsaklig 25 meter.

VLF-målingene ble utført delvis med Paulsens mottaker og delvis med EM-16 (Geonics, Canada). I alle områdene ble den engelske senderen GBR (16.0 kHz) benyttet. Målepunktavstand var hovedsaklig 25 meter.

SP-målinger kartlegger naturlig oppsatte elektriske strømmer rundt dagnære elektroniske ledere i bakken. Metoden kan benyttes til å skille VLF-anomalier forårsaket av sprekkesoner, forkastninger o.l. fra anomalier som skyldes elektriske ledere. Målingene ble utført som gradientmålinger med ikke polariserbare $Cu/CuSO_4$-elektroder og NGUs egenproduserte DC-voltmetre. Målepunktsavstand var hovedsaklig 25 meter.

Stangslingram ble bare benyttet til enkeltstående målinger i områder en ville ha informasjon om de dagnære ledningsevneforhold.

Målingene ble utført i perioden 2/5 - 15/5 1994 av Leiv Eriksson SGU (14 dager), Jan Steinar Rønning NGU (14 dager), Ole Bernt Lile NTH (12 dager), Einar Dalsegg NGU (7 dager), Tore Telstad Statnett (3 dager) og Tor Henriksen EFI (1 dag). Under målingene hadde en ikke nevneverdige tekniske problemer og været var tilfredstillende med nesten ingen nedbør.

3 RESULTATER OG KOMMENTARER.

I det følgende blir resultatene kommentert i den rekkefølge undersøkelsene ble utført. Som kartbilagoversikten viser, er CP-målingene presentert som konturkart, mens VLF- og SP-målingene er presentert som tolkningskart. I tillegg er CP-målingene Vest for Storgangen og i Storgangen presentert som kurveplott i henholdsvis figurene 1 og 2.

3.1 Flåt gruve

Flåt gruve er en Ni-mineralisering med antatt størrelse over 10 mill. tonn (Juve & Grenne 1993). Forekomsten kan følges fra utgående og ca. 1 km mot dypet i retning sør (Nixon 1977) og det har tidligere vært drift på den.

Fjern strømelektrode ble lagt i bekk ca. 2 km øst for gruva (kartbilag -01). Jordingselektrode i malmen ble etablert med 5 ekspansjonsbolter direkte i malmens utgående. Nullnivå for potensialmålingene ble lagt til fjern potensialelektrode (P_0) ca. 0.9 km vest for utgående (kartbilag -01).

Potensialbildet rundt malmen (kartbilag -05) indikerer at forekomsten strekker seg fra utgående og mot sør. Uregelmessigheter i potensialbildet rundt angitte røsk indikerer en mindre ledende sone, men denne har liten betydning for distribusjonen av strømmen ned i bakken. Et oppladingspotensial større enn 4,4 V med strømstyrke 1 A (overgangsmotstand 4,4 ohm) viser at forekomsten ikke er aktuell som jordingspunkt. Det er uklart om en jording på større dyp ville ha gjort forekomsten mere aktuell.

3.2 Eikeland

Det ble her målt tilsammen 9 VLF-profiler over EM-flyanomalier (kartbilag -06). Alle profilene unntatt 5, 6 og 9 ble i tillegg målt med SP. Bare på de nordligste profilene ble det påvist ledende soner. Ingen av sonene ga SP-anomalier, noe som utelukker elektroniske ledere som anomaliårsak. Årsaken til påviste anomalier er trolig sprekkesoner i fjell. Det er uklart hva som er grunnen til at EM-anomalien i sør ikke ble funnet igjen ved bakkemålingene. Uansett er området ikke aktuelt som jordingspunkt for HVDC-elektrode.

3.3 Iveland

I samråd med oppdragsgiver ble det lagt ut to VLF/SP-profiler over EM-flyanomali ved Iveland, selv om dette området ikke sto på den prioriterte listen. Kartbilag -07 viser at anomaliene også her er meget svake og manglende SP-anomalier utelukker større elektroniske ledere som anomaliårsak. Også her skyldes påviste anomalier trolig sprekkesoner i fjell. Området er ikke aktuelt som jordingspunkt for HVDC-elektrode.

3.4 Bråstad gruve

Bråstad gruve er en Fe-mineralisering (magnetitt) med antatt størrelse over 10 mill. tonn (Juve & Grenne 1993). Det har tidligere vært drift på forekomsten. Fjern strømelektrode ble lagt i bekk ca. 1,9 km sør for utgående (kartbilag -03). Nærelektrode ble etablert med ekspansjonsbolter direkte i malmen (E1) i utgåendes sørlige del og kobbertråd i vannfylt synk pluss to ekspansjonsbolter i malmen (E2) ca. 70 m nord for E1. Strømmen fordelte seg med 0,15 A på E1 og 0,85 A på E2. P_0 (kartbilag -03) angir punkt for valg av nullnivå for potensialmålingene.

Potensialforløpet rundt malmen (kartbilag -08) indikerer at forekomstens strøklengde er ca. 150 meter og at malmen er steiltstående. Overgangsmotstanden fra forekomst til sideberg er over 5 ohm og i tillegg indikeres stor overgangsmotstand fra elektrode til malm ($\leq$ 5ohm). Dette gjør forekomsten uaktuell som jordingspunkt for HVDC-elektrode.

3.5 Skotta

Det var i området indikert to EM-flyanomalier med en strøkutstrekning på flere kilometer (kartbilag -09). Den lange strøkutstrekningen, og det faktum at anomaliene krysser grensen til Grimstadgranitten (Padget 1986), indikerer at anomaliårsaken trolig skyldes sprekker i fjell eventuelt også godt ledende løsmasser (leire). Den østligste anomalien ble undersøkt med VLF og EM31 ved Skotta, mens den vestligste anomalien ble undersøkt med EM31 ved Tingstveit.

Som kartbilag -09 viser framkom det en moderat VLF-anomali ved Skotta, mens EM31-målingene viser at ledningsevnen på sonene ligger i området 12 -30 mS/m (resistivitet 33 - 83 ohmm). Målte ledningsevneverdier indikerer topplag av godt ledende leire. Trolig er årsaken til EM-fly-anomaliene en kombinasjon av leire i overflaten og oppsprukket fjell. Uansett årsak er området ikke egnet for HVDC-elektrode.

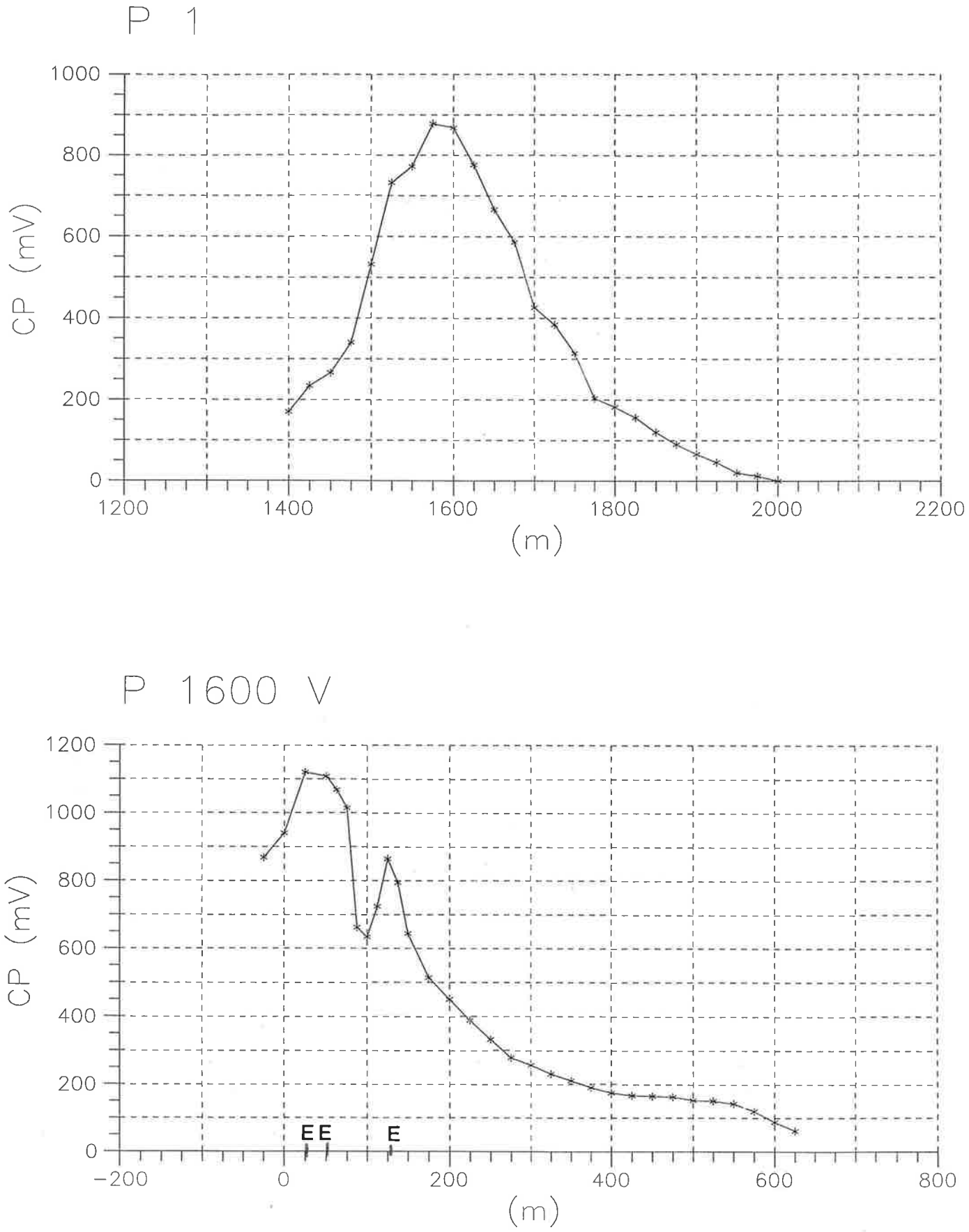
3.6 Vest for Storgangen

På grunnlag av EM-flyanomaliene var det stilt størst forhåpninger til dette området med tanke på å finne større, godt ledende soner. I området framkom tre parallelle EM- anomalier og, som kartbilag -10 viser, er disse undersøkt med VLF og SP på tilsammen 7 profiler. Alle tre EM-anomaliene ga sterke VLF- og SP-anomalier. Den midterst sonen er kun påvist på ett profil (P3), noe som indikerer at strøkutstrekningen er kort. Den østligste sonen er påvist på profilene P1 og P4, og med støtte i EM-flymålingene, ser denne sonen ut til å ha en strøklengde på 400 til 500 meter. Denne sonen har også sterke SP-anomalier og kan være aktuell for senere CP-målinger, hvis det blir aktuelt med flere undersøkelser.

Den vestligste sonen ga sterke VLF- og SP-anomalier på profil P1, men de videre målingene mot nord (P2, P6 og P7) indikerer at årsaken til EM-anomalien trolig er flere parallelle, ledende soner. Området ble vurdert å være av interesse, og det ble derfor foretatt enkle CP-målinger for å fastlegge jordingsmotstanden på den vestligste sonen hvor VLF/SP-anomaliene var sterkest. Det ble under målingene påvist mineralisering som samsvarte med VLF/SP-anomaliene og ifølge Krause et al. (1985) utgjør mineraliseringen bånd av ilmenitt og magnetitt i en ellers homogen noritt. Det ble etablert 5 jordingspunkter med ekspansjonsbolter i mineraliserte bånd som var eksponert i dagen mellom profilene P1 og P2. To fjernelektroder ble etablert ca. 1 km mot sør og sørvest. CP-målingene ble utført langs deler av profil P1 (1400 -2000), og langs profil 1600V.

Selv om det her ble lagt mye arbeid i å etablere jordingspunkter i mineraliserte bånd og striper, var det med tilgjengelig effekt ikke mulig å få ut mer enn 0,5 A. Dette viser at ledningsevnen lokalt i mineraliseringen er relativt dårlig. Dette ble bekreftet med EM-31-målinger som viste 10 - 15 mS/m (restivitet 70 - 100 ohmm) som høyeste verdi.

Målte potensialer vist i figur 1 er normalisert til en strømstyrke på 1 A. Nullnivå for potensialet er lagt til koordinat P1-2000, noe som gir et for lavt nivå langs profilene. Topp-potensialet ("malmpotensialet") ligger noe høyere enn 1 V (overgangsmotstand > 1 ohmm), noe som gjør denne mineraliseringen dårligere egnet som jordingspunkt for HVDC-elektrode enn Storgangen (se avsnitt 3.7). Topp-potensialet er imidlertid påfallende lavt, den relativt lave ledningsevnen på mineraliseringen tatt i betraktning. Dette kan ha sammenheng med at det finnes bedre mineralisering på dypet, men også at det her er påvist flere ledende soner og at ledningsevnen i omgivelsene er generelt høy. Den høye SP-anomalien på minus 700 mV tyder også på god ledningsevne i selve mineraliseringen langs dette profilet. Når dette ikke er bekreftet av de kontaktene en fikk etablert med mineraliseringen som var eksponert i dagen, kan dette tyde på bedre kontakt mot dypet.



Figur 1: *Vest for Storgangen CP-kurveplott.*

3.7 Storgangen

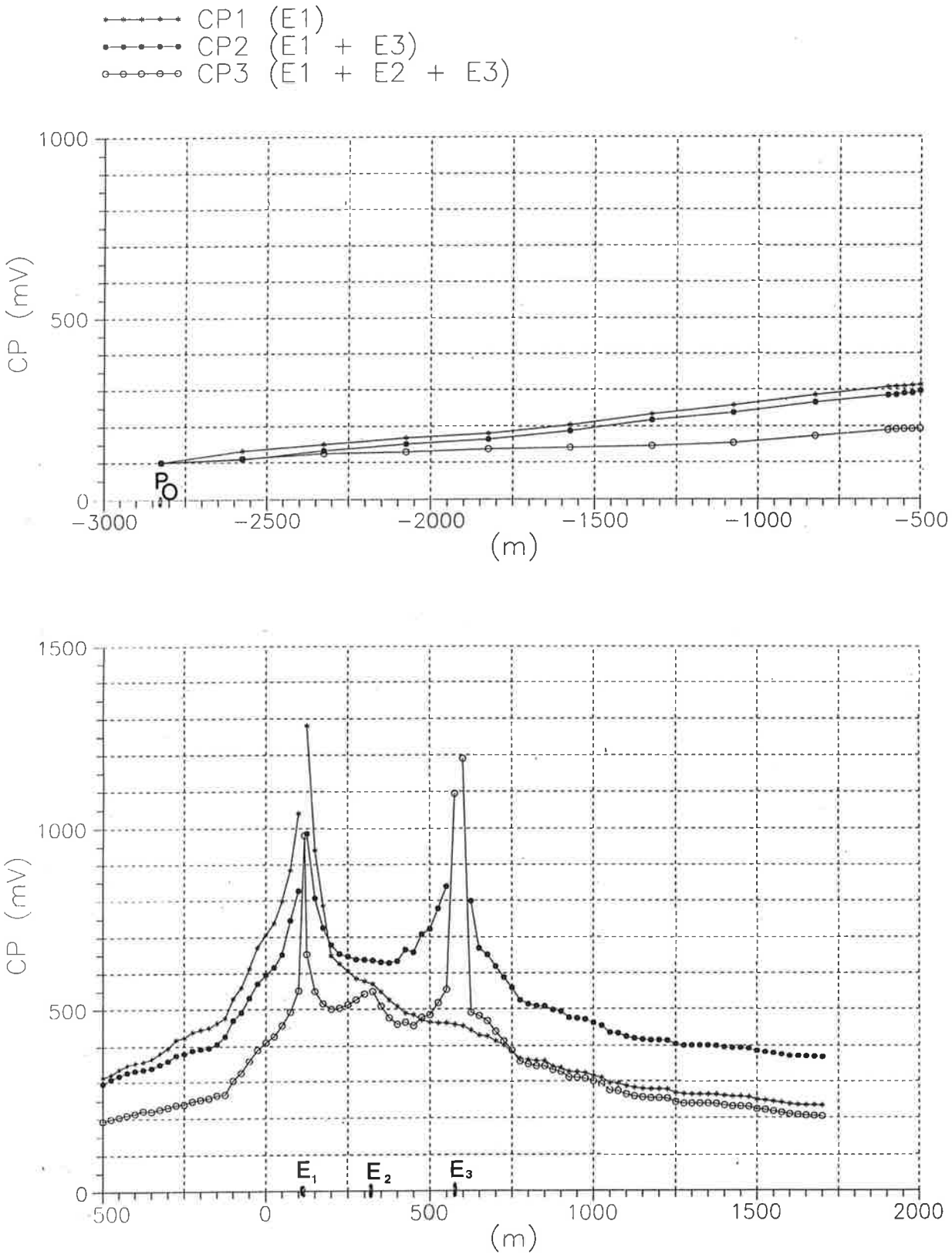
Storgangen var den klart største av de tidligere kjente malmforekomstene i det aktuelle området, og var på forhånd vurdert som den mest interessante. Storgangen er en Fe/Ti-mineralisering med et utgående på ca. 4 km i øst-vest retning og en mektighet på ca. 50 meter i de sentrale delene. Fallet er ca. 50° mot nord i utgående og noe slakere på dypet. Forekomsten består av mineraliserte lag (ilmenitt og noe magnetitt) med varierende tykkelse fra noen få centimetre til flere meters bredde. Det har vært drift på Storgangen frem til 1965 da den ble forlatt til fordel for den nyoppdagede Telnesforekomsten. Gjenstående malm utgjør ca. 60 Mt (Krause et al. 1985).

Fjern strømelektrode ble lagt i elva nær 3 km sørvest for Storgangens vestligste punkt (kartbilag -04). Kontakt med malmen ble etablert ved hjelp av ekspansjonsbolter i kompakte ilmenittlag. Det ble arbeidet med tre forskjellige elektroder; E1, E2 og E3, henholdsvis ved våre koordinater 120 m, 315 m og 580 m langs et profil gjennom dagbruddet. Koordinat 0 ligger ved vegdele like vest for dagbruddet. Disse elektrodene ble benyttet i tre kombinasjoner; Jording CP1 = E1, Jording CP2 = (E1 + E3) og Jording CP3 = (E1 + E2 + E3). Det ble lagt ned mye arbeid på å gjøre overgangsmotstanden til malmen mest mulig lik ved samkjøring av flere elektroder (Jording CP2 og CP3). Potensialet ved samtlige målinger refererer til 100 mV ved fjern potensialelektrode (P_0) ca. 1,9 km nord for forekomstens utgående (kartbilag -04). Måleresultatene er vist i figur 2 og kartbilagene -11 og -12.

CP-målingene i og rundt Storgangen ble sterkt hindret av vanskelig topografi. Profiler måtte derfor legges der terrenget tillot det og dette ga begrensede muligheter til å legge inn mange profiler. Samtidig ble målehastigheten redusert. Av denne grunn ble det bare for jording CP1 og CP3 gjort forsøk på å kartlegge potensialbildet rundt malmen og denne kartleggingen ble meget grov.

3.7.1 Jording CP1

Potensialbildet rundt jording CP1 (kartbilag -11) viser stort potensialfall rundt elektroden og et topp-potensial på 2,7 V målt på elektroden. Konturene viser etter hvert et elliptisk forløp som skyldes malmsonen. Det påvises potensialfall langs malmen, noe som indikerer en relativt dårlig ledningsevne i selve malmen. Målinger direkte på malmen med EM-31 bekrefter dette med verdier på ca. 40 mS/m (resistivitet 25 ohmm). Av denne grunn er det vanskelig å definere noe oppladingspotensial og derved overgangsmotstand fra malm til omgivelser. Potensialgradienten lokalt rundt elektroden er relativt høy ($\geq$ 100 mV/m/A) men i en avstand på 50 meter fra elektroden er denne nede i 2-3 mV/m/A. Lokalt over den gamle sandtippen i sør viser potensialbildet anomale forhold som kan ha sammenheng med god ledningsevne i det deponerte materialet. Resultatene fra denne første jordingen var så interessante at det ble bestemt å forsøke med flere jordingselektroder.



Figur 2: *Storgangen, CP-kurveplott jording CP1, CP2 og CP3.*

3.7.2 Jording CP2

Ved jording CP2 fordelte strømmen seg med 0.55 A på E1 og 0,43 A på E3. For å spare tid, ble bare potensialet langs dagbruddet og fjernpotensialet mot P_0 i nord målt. Resultatene (figur 1) viser et lavere topp-potensial og derved en lavere gradient rundt E1 mens potensialet naturlig nok øker ved E3 og østover. Potensialet på malmen ligger på ca.630 mV, noe som tilsvarer en overgangsmotstand fra malmkropp til omgivelser på ca. 0,6 ohm.

3.7.3 Jording CP3

Ved jording CP3 fordelte strømmen seg med 0,35 A på E1, 0.36 A på E2 og 0.28 A på E3. Sammenligning med jording CP1 og CP2 (figur 2) viser noen overraskende effekter. Gradienten fra P_0 i nord er mye lavere og generelt blir potensialnivået langs malmen lavere. Spesielt gjør dette utslag øst for E3. Dette kan forklares ved at E2 er plassert i en godt ledende del av malmen og at strømmen i større grad ledes mot dypet. Potensialet på malmen er her sunket til ca. 500 mV noe som tilsier overgangsmotstand til omgivelsene på 0,5 ohm.

Konturene i kartbilag -12 viser en meget klar lengdeutstrekning langs malmen. Over den gamle sandtippen vises fremdeles anomalt konturforløp, men effekten er klart svekket i forhold til jording CP1, noe som skyldes bedre distribusjon av strømmen. Potensialgradienten lokalt rundt elektrodene er fremdeles høy ($\geq$ 100 mV/m/A), men 50 meter fra elektroden er denne falt til ca. 1,5 mV/m/A.

4 DISKUSJON OG ANBEFALING.

I det følgende blir resultatene fra de forskjellige objektene som er undersøkt vurdert.

De to gruvene **Flåt** og **Bråstad** hadde for høy overgangsmotstand mot omgivelsene til å være aktuell for HVDC-elektrode. Det kan tenkes at kontakt med malmsonen på et større dyp hvor det trolig står igjen mere malm ville gitt mer interessante data. Å undersøke dette nærmere ville kreve kostbare kjerneboringer. Sett på bakgrunn av dette prosjektets mål vil ikke forfatterne anbefale dette. Det er imidlertid klart at det på landsbasis finnes tilsvarende forekomsttyper som kunne vært aktuell som HVDC-elektrode, f.eks. Joma-forekomsten i Nord-Trøndelag (Rønning 1981).

Lokalitetene **Eikeland, Iveland** og **Skotta** mellom Grimstad og Arendal ble innledningsvis omtalt som mulige grafittmineraliseringer. På grunnlag av våre målinger er det klart at de påviste EM-flyanomaliene som var utgangspunkt for å undersøke disse lokalitetene ikke er

forårsaket av grafitt. Det er heller ikke rapportert om grafittmineralisering andre steder i det aktuelle undersøkelsesområdet. Det finnes utmerkede metoder for å finne slike forekomster ved helikoptermålinger, men også dette anses som for ressurskrevende til å kunne anbefales på nåværende stadium i prosjektet. Dersom en finner at malmforekomster på land kan være aktuelle jordingspunkter for HVDC-elektrode og en har definert et produksjonsområde for elektrisk energi som også er potensielt med hensyn på grafitt, kan slike målinger anbefales. En kan i denne sammenheng nevne at NGU har kartlagt flere grafittforekomster som tilfredstiller de krav en må stille for at forekomsten kan være aktuell (Dalsegg 1985, Rønning 1991, Dalsegg 1994).

Området **Vest for Storgangen** viste påfallende lavt oppladingspotensial. Dersom en på grunn av ikke-geologiske årsaker finner Storgangen uaktuell, kan det være aktuelt å studere dette området nærmere. En bør da utføre supplerende geofysiske målinger med påfølgende kjerneboringer for å se om det kan være godt ledende materiale på dypet.

Et detaljstudie av potensialkurven fra jording CP1 på **Storgangen** (figur 2), viser at potensialet østover langs malmen har flere lokale utflatinger. Dette indikerer bedre ledende partier og elektrodene E2 og E3 er plassert i to slike områder. Videre mot øst finnes flere slike utflatinger bl.a. ved koordinatene 825, 950, 1175, 1350 og 1650, men disse er på grunn av generelt lav gradient mer diffuse.

Bruken av flere jordingselektroder har aktivisert større deler av malmen som strømdistributør. Dette har redusert overgangsmotstanden fra strømkilde til malm og videre fra malm til omgivelser. Som en konsekvens av dette er også potensialgradienten rundt malmen redusert. Ved å koble inn enda flere elektroder mot øst, kan trolig overgangsmotstanden reduseres ytterligere og Storgangen synes derfor å kunne være aktuell som en mulig lokalitet for en HVDC-elektrode.

Malmuttaket på Storgangen ble på slutten drevet med styrting av malm ned til en lastestoll som delvis følger malmen fra det gamle prosessanlegget på Sandbekk til østenden av dagbruddet. I følge opplysninger fra ansatte ved AS Titania er denne tilgjengelig slik at en kan etablere jordinger under bakken.

Ved målingene på Storgangen ble jordingene etablert med 1 eller 2 ekspansjonsbolter med diameter 12 mm og lengde 15 - 20 cm. Dette ga høy overgangsmotstand til malmen og derved lokalt høye potensialgradienter (< 100 mV/m/A) i elektrodens umiddelbare nærhet. Ved å benytte flere og større elektroder vil også denne overgangsmotstanden kunne reduseres betydelig.

På bakgrunn av de resultater som ble oppnådd ved CP-målingene på Storgangen, vil forfatterne anbefale utfyllende målinger for å vurdere forekomstens anvendbarhet som

jordingspunkt for HVDC-elektrode. Videre undersøkelser bør omfatte tre tema:

1) Uttesting av forekomstens egenskaper med bruk av flere elektroder.
2) Uttesting av elektroder med forskjellig størrelse og utforming.
3) Uttesting av forekomstens egenskaper over lengre tid med høy strømstyrke.

5 KONKLUSJON

På oppdrag fra STATNETT AS har NGU i samarbeid med NTH og SGU vurdert i alt 7 lokaliteter for mulig bruk som jordingspunkt for HVDC-elektrode.

Lokalitetene Eikeland og Iveland i Setesdalen og Skotta mellom Arendal og Grimstad ble innledningsvis omtalt som mulige grafittmineraliseringer. Våre målinger viser at EM-flyanomaliene som var utgangspunkt for undersøkelsene, er forårsaket av sprekkesoner i fjell eventuelt kombinert med godt ledende løsmasser (leire). Disse lokalitetene er ikke aktuelle for HVDC-elektrode.

Forekomstene Flåt nikkelgruve og Bråstad jerngruve viste for stor overgangsmotstand til omgivelsene og ble derfor funnet uaktuelle for HVDC-elektrode. Det er uklart om en jording på større dyp ville gitt bedre resultat.

Området kalt Vest for Storgangen ved Hauge i Dalane viste påfallende lavt oppladings-potensial, og dersom Storgangen ikke blir aktuell som jordingspunkt, kan dette området etter nærmere undersøkelser (geofysikk og kjerneboringer) være aktuelt.

Storgangen ved Hauge i Dalane er den mest interessante av de undersøkte lokalitetene. Her anbefales videre undersøkelser for å studere effektene av flere og større elektroder samt større strømstyrker over lengre tid.

6 REFERANSER

Dalsegg, E. 1985: Geofysiske bakkemålinger Skaland gruveområde og Trælen, Senja, Troms. *NGU Rapport 85.187.*

Dalsegg, E. 1994: CP-, SP- og ledningsevnemålinger ved grafittundersøkelser ved Hornvannet, Sortland, Nordland. *NGU Rapport 85.187.*

Dalsegg E. & Rønning, J.S. 1994: Undersøkelse av HVDC-elektrode. Rapport fra forundersøkelse. *NGU Rapport 94.022.*

Eriksson, L. 1994: Strøm genom jord ock berg kan ge effektivare kraftnett. *Prosjektnotat fra SGU datert 4/3 1994.*

Juve, G. & Grenne, T. 1993: Malmgeologi. *Nasjonalatlas for Norge, kartblad 2.2.4, Statens kartverk.*

Krause, H., Gierth, E. & Schott, W. 1985: Ti-Fe Deposits in the South Rogaland Igneous Complex, with Special Reference to the Åna-Sira Anorthosite Massif. *NGU Bulletin 402, 25-37.*

Lile, O.B. 1994: Bruk av naturlige elektroniske ledere i jordskorpen som jordingselektrode for kraftoverføring av likestrøm (HVDC). *Prosjektnotat fra NTH datert 7/4 1994.*

Nixon, F. 1977: Nikkelforekomster og nikkelprospektering i Evje - Iveland området *Nikkelprospektering i Norge, BVLI, Malmgeologisk symphosium 1975 , 78-92.*

Padget, P., 1986: Bergrunnskart ARENDAL, M 1:250.000. *Norges Geologiske Undersøkelse.*

Rønning, J.S. 1981: CP-målinger i Jomafeltet, Røyrvik, Nord-Trøndelag. *NGU Rapport 1854.*

Rønning, J.S. 1991: CP-målinger ved grafittundersøkelser på Vikeid, Sortland, Nordland. *NGU Rapport 1854.*

CP - METODEBESKRIVELSE

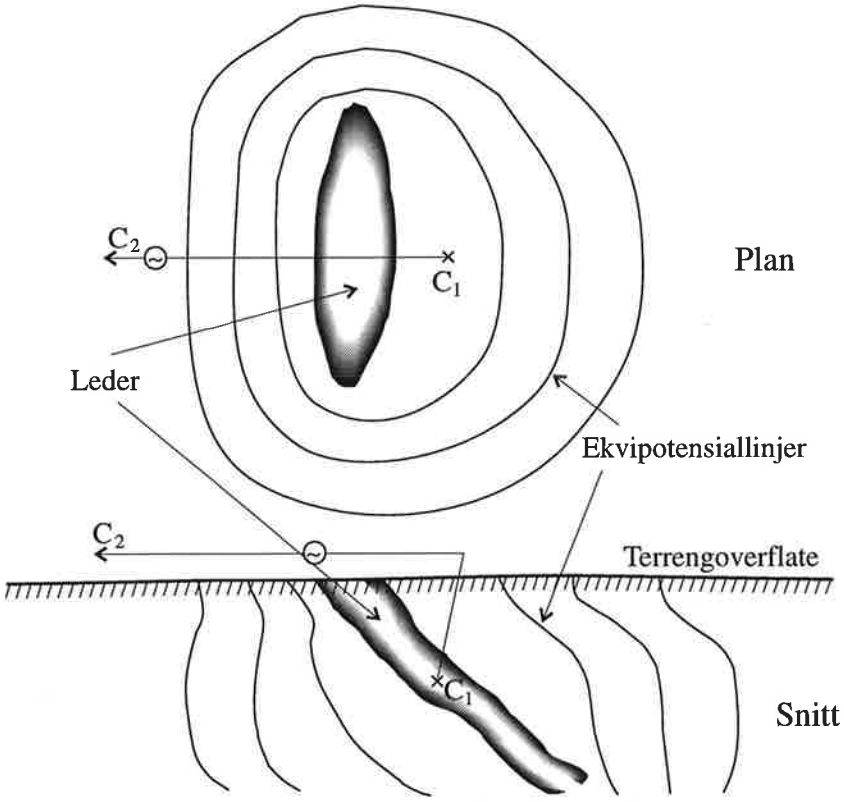


Fig. 1: Potensialbildet rundt en jordingselektrode i en leder.

CP ('Charged Potential', 'mise-à-la-masse', oppladet potensial) er en elektrisk målemetode oppfunnet av Conrad Schlumberger rundt 1920. En strømelektrode kobles direkte til en godt elektrisk ledende sone (som regel en malm) på overflaten eller i borhull. Den andre strømelektroden plasseres langt bort fra måleområdet. Ved å måle potensialet på overflaten eller i borhull oppnås et potensialbilde rundt lederen og dermed en indikasjon på hvordan den ledende sonen opptrer i undergrunnen. Utbredelse og orientering av den ledende sonen kan kartlegges. I gunstige tilfeller kan det også gis et grovt overslag på størrelsen av den ledende sonen. Metoden forutsetter stor kontrast i ledningsevne mellom ledende sone og området rundt sonen. Eksempel på potensialbilde rundt en leder er vist i figur 1.

Potensialbildet viser godt strøk- og fallretning på leder. Lederen faller bort fra den siden der potensiallinjene står tettest. En leder som ligger i nærheten av den lederen det er jordet i, vil gi seg til kjenne som forstyrrelser i potensialbildet. På denne måten kan eventuelle andre ukjente ledende soner påvises.

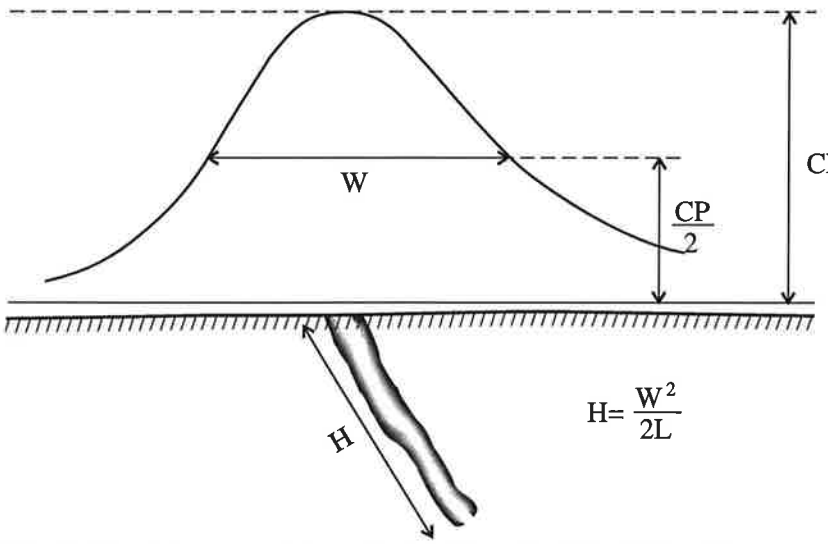


Fig. 2: Beregning av størrelsen på en leder ut fra halvverdibredde.

Potensialet på leder målt i forhold til uendelig (oppladningspotensialet) kan benyttes til et grovt overslag for lederens størrelse. Figur 2 viser dette for en plateformet leder. Her er vist potensialkurven for et profil som krysser lederen. Halvverdibredden (W i figuren) måles som avstanden mellom de to punkter på potensialkurven der potensialet har en størrelse lik halve oppladningspotensialet. Hvis malmen er bred, må malmbredden trekkes fra den målte halvverdibredden. Høyden på malmen kan da regnes ut som;

$$H = \frac{W^2}{2L} ,$$

der lengden (L) av malmen kan anslås ut fra potensialbildet. Denne formelen kan benyttes til å finne størrelsen på steiltstående (45-90°) plateformete ledere. Det forutsettes at ingen ledere opptrer nær lederen det er jordet i, slik at denne eventuelt kan påvirke potensialbildet. Dersom en kjenner ledningsevnen til omkringliggende bergart, kan også størrelsen på steiltstående plater beregnes ut fra oppladningspotensialet og strømtettheten rundt lederen (Eidsvig og Kihle 1978).

Dersom lederen er flattliggende, kan arealet tolkes direkte fra potensialbildet på bakken. Metoden kan ikke si noe om ledende soners mektighet.

VLF - METODEBESKRIVELSE

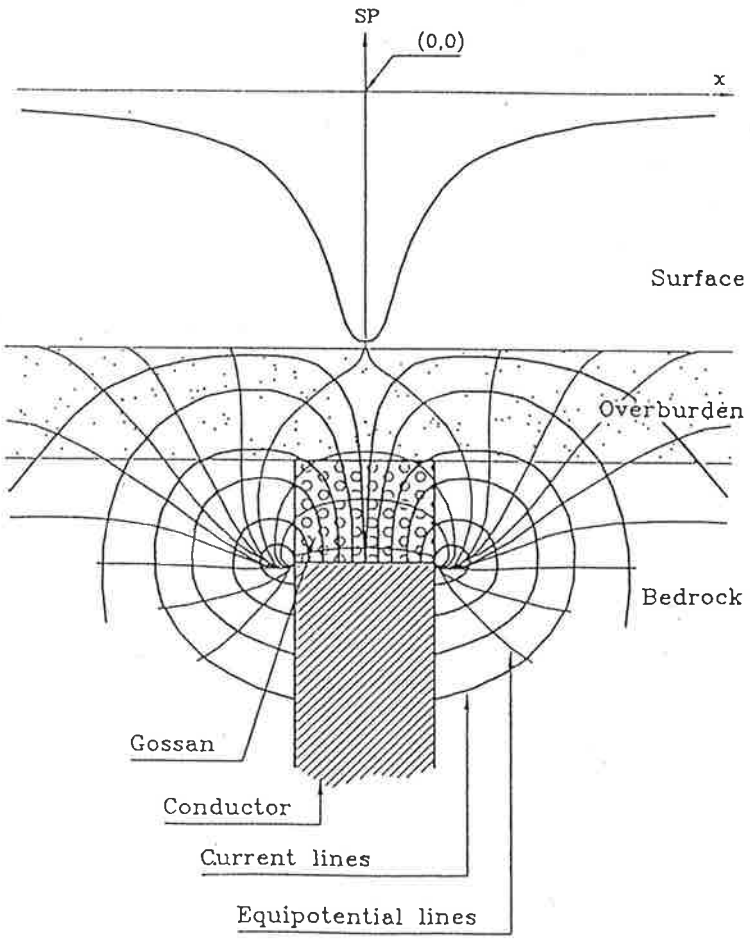
VLF er en elektromagnetisk målemetode som benytter militære radiosendere som energiseringskilde. Disse sender i frekvensområdet 15-25 kHz ('very low frequency' i radiokommunikasjon (VLF)). Senderen som velges som energiseringskilde bør ligge mest mulig i samme retning som strøkretningen på den lederen som skal kartlegges. Uten ledende soner i bakken vil magnetfeltet fra en sender være horisontalt og lineært polarisert. Ved elektrisk ledende soner induseres sekundære strømmer som omgir seg med et sekundært magnetfelt. Dette feltet vil vanligvis ikke være horisontalt og det vil som regel ikke ha samme fase som primærfeltet. Sekundærfeltet summeres med primærfeltet og gjør at det totale magnetiske feltet ikke lenger er lineært polarisert, men elliptisk polarisert. Dette betyr at det totale magnetiske feltet har en maksimalverdi i en vinkel fra horisontalplanet. Ved å måle denne vinkelen (dip-vinkel, reellkomponent -Re), og en størrelse som er avhengig av faseforskyvningen mellom det primære og sekundære feltet (elliptisiteten, imaginærkomponenten -Im), kan ledende soner påvises ved målinger på bakken. Ledende soner kan være malmmineraliseringer, ledende overdekke, sprekkesoner/forkastninger, elektriske ledninger mm. Metoden er følsom også for ledere med forholdsvis dårlig elektrisk ledningsevne dersom de har en viss utstrekning i samme retning som senderen. Dette kan ofte være en ulempe ved metoden, fordi anomalier kan ha flere årsaker enn det som forventes. Metoden anvendes først og fremst ved kartlegging av malmmineraliseringer og sprekker i fjell (som kan være vannførende og av interesse ved grunnvannsundersøkelser). Målinger kan utføres på bakken eller fra fly/helikopter, og blir i sistnevnte tilfelle oftest benyttet som støtte under geologisk kartlegging, men også til malmleting.

Vanlig benyttede VLF-sendere:

Stasjon	Sted	Frekvens (kHz)	Effekt (kW)
NAA	Cutler, Maine (USA)	17.8	1000
GBR	Rugby, England	16.0	750
FUO	Bordeaux, Frankrike	15.1	500
JXZ	Helgeland, Norge	16.4	350
GYD	England	?	?

SP Metodebeskrivelse

Elektroniske ledere som har utgående under overdekke, gir opphav til en likestrøm som sirkulerer fra sidene til toppen av lederen. Årsaken til denne SP-strømmen (SP = selv-potensial) er at lederen kortslutter forskjellige elektrokjemiske miljøer i undergrunnen. I overdekket som er mye mer permeabelt enn fjellgrunnen, er porevannet rikt på oksygen. Der er det oksyderende forhold eller et høyt red-ox-potensial. Tilsvarende er porevannet i fjellet reduserende p.g.a. liten sirkulasjon og tilgang på oksygen. SP-metoden er godt egnet til å kartlegge utgåendet av elektroniske ledere. Størrelsen på SP-anomalien er også en indikasjon på ledningsevnen av lederen. Det finnes også andre årsaker til SP-anomalier slik som elektrofiltrasjon ved grunnvannsstrøm, bioelektrisk aktivitet og varierende ione-konsentrasjoner i grunnvann. Årsakene kan skilles ved at de to sistnevnte ikke gir høyere anomalier enn 100 mV, mens elektroniske ledere gir anomalier opp mot 1000 mV og muligens enda høyere. SP måles med et feltvoltmeter og to ikke-polariserbare elektroder ($Cu/CuSO_4$).

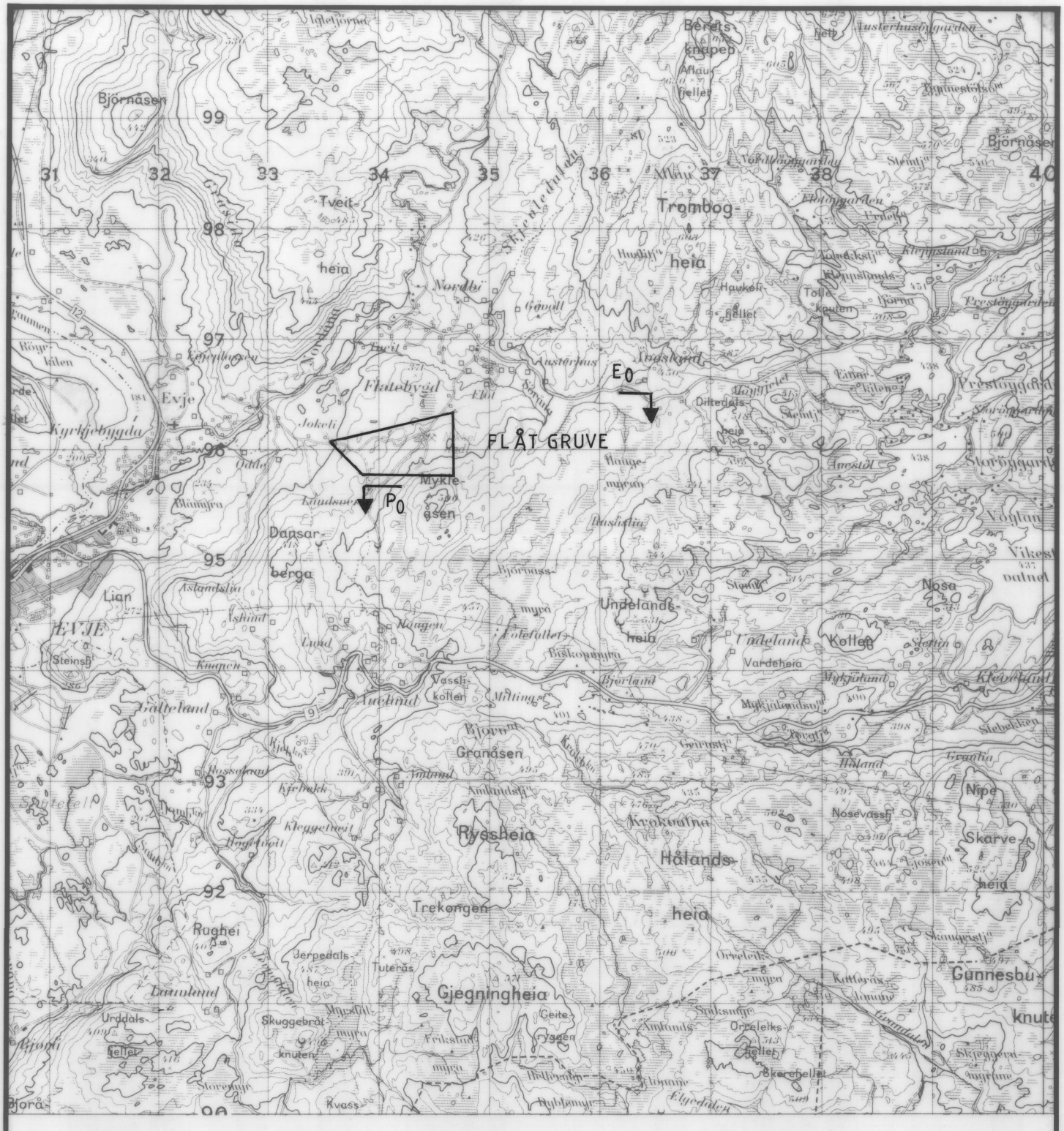


EM-31 - METODEBESKRIVELSE

EM-31 er en elektromagnetisk utrustning som måler undergrunnens elektriske ledningsevne direkte uten å ha kontakt med bakken. Instrumentet er spesialbygd for kartlegging av forskjellige jordarter, og kan til en viss grad bestemme deres mektighet. Instrumentet består av en senderspole og en mottakerspole samt en kontrollenhet hvor tilsynelatende ledningsevne kan avleses direkte i mS/m. Tilsynelatende resistivitet er det inverse av denne størrelsen. Spolene er plassert i en konstant avstand 3.66 meter fra hverandre og har normalt vertikale akser. Arbeidsfrekvensen er på 9.8 kHz, og dybderekkevidden angis til 6 meter. Med dette menes at instrumentet kan detektere endringer i ledningsevnen ned til 6 meters dyp. Tilsynelatende ledningsevne kan måles kontinuerlig, men i praksis vil en registrere data ved faste intervaller for seinere profiluttegning.

Mulighetene til å utføre dybdesonderinger med instrumentet er begrenset i og med at både spoleavstand og frekvens er fiksert. En kan imidlertid foreta såkalte geometriske dybdesonderinger. Dette kan enten gjøres ved å bestemme ledningsevnen ved forskjellige høyder over bakken, eller ved å måle med spoleaksene vertikalt og horisontalt. For å oppnå sikre data ved førstnevnte metode, bør det måles fra 0 til ca. 3 meter over bakken, og det sier seg selv at dette byr på praktiske problemer.

Ut fra en geometrisk dybdesondering kan en generelt for tolags-tilfelle beregne tykkelse av lag 1 og ledningsevnen i det andre laget. Siden EM-31 alltid måler tilsynelatende ledningsevne, er det vanskelig å bestemme ledningsevnen i det ene laget slik at de andre to størrelsene kan bestemmes. Uten tilleggsinformasjon fra f.eks. vertikale elektriske sonderinger har derfor denne tolkningsmuligheten begrenset verdi. I tolags-tilfeller hvor en kjenner ledningsevnen i det best ledende laget og hvor en vet at ledningsevnekontrasten er stor (≥ 10) kan tykkelsen av lag 1 beregnes for hver stasjon uten å utføre dybdesondering.


FLÅT GRUVE
E0
P0
Evje
Hornnes
Trombog-
heia
Undelands-
heia
Hålands-
heia
Ryesheia
Gjegningheia
Trekongen
Granåsen
Dansar-
berga
Mykle-
gsen
Tveit-
heia
Jerpedals-
heia
Skarve-
heia
Gunnesbu
Nipe
Nosa
Kotteg
Undeland
Vardeheia
Lian
Rughei
Trikstad
Skjeggerå
Skarehellet
Orreleiks-
hellet
Kvass
Bjørå
Steinsj
Knapen
Aaslandsh
Ishind
Lund
Nåsen
Vassk-
kollen
Aaslund
Kjerkekk
Kleggeheii
Jerpedals-
heia
Tuterås
Urddals-
hellet
Skuggebrå
knuten
Ceite
Ryggen
Helleråsen
Hubbamyr
Orreleiks-
myra
Kvakkutna
Nosevassf
Skaumgrisf
Kuttorås
Ljosen
Stebekken
Granlia
Håland
Mykjelandsv
Bjørland
Vassdalen
Elgedalen
Ljosland
Ljosåna
Kjerkebygda
Flatebygd
Jokeli
Austerås
Tveit
Gaudl
Nordbi
Ljosland
Ditteldals-
heia
Haukeli
Tolle-
kauten
Klepsland
Prestegården
Storegården
Vikeså
Voglan
Ameldl
Hauge-
myran
Bjørbass-
myra
Bjørland
Myklejuland
Kleivejuland
Yerlin
Stemj
Stemjf
Lusterhusgården
Berets-
knapen
Aflaup-
fjellet
Fjeltv
Bjørnåsen
Vorl.Vegngården
Urdeleg
Tollefjellet
Ljosåna
Ljosåsen
Ljosåsen
Ljosåsen

EIKELAND

IVELAND

VENNESLA

VEST-AGDER FYLKE

UNDERSØKT OMRÅDE

STATNETT

OVERSIKTSKART

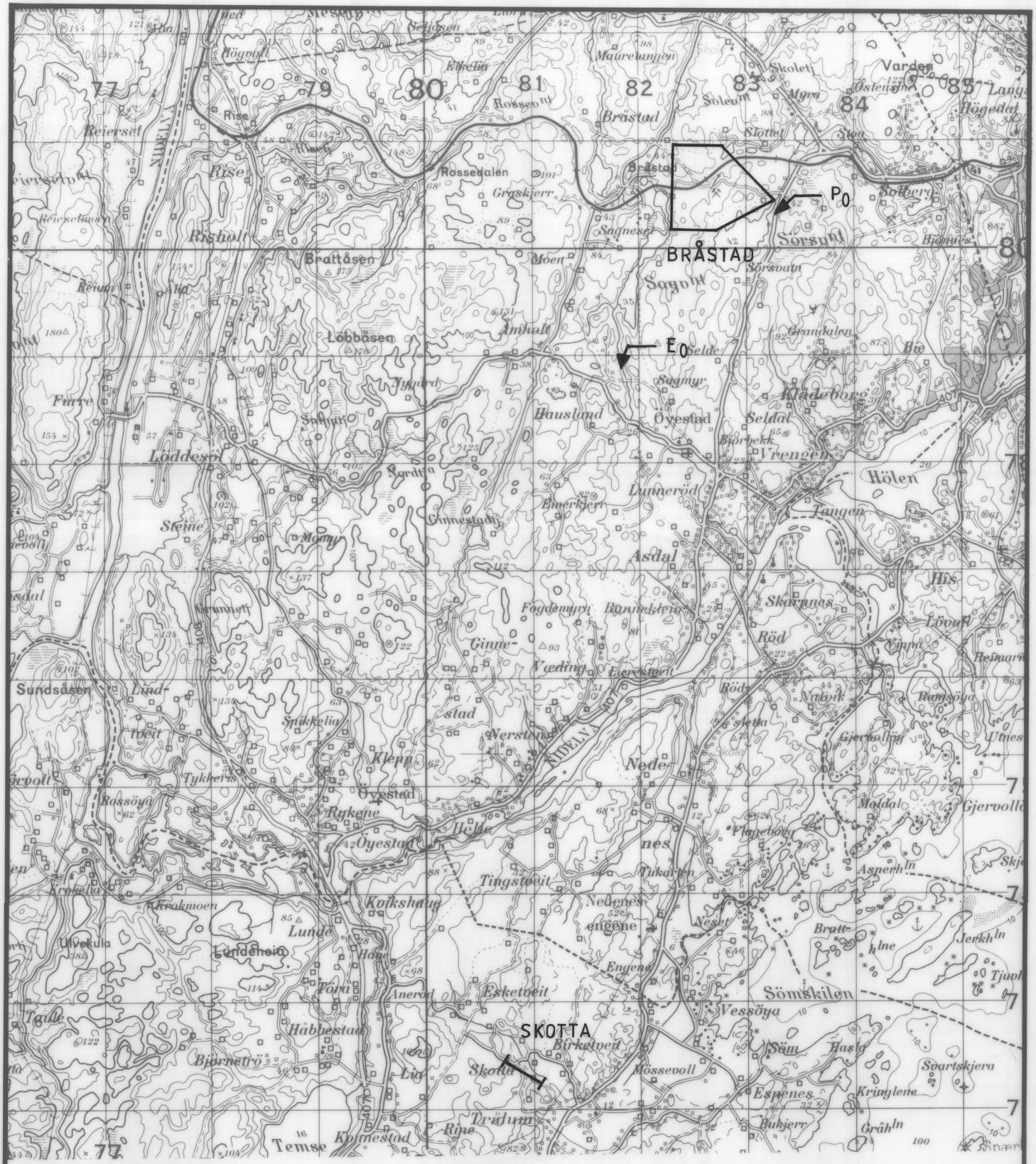
EIKELAND OG IVELAND

VENNESLA OG IVELAND, VEST OG AUST-AGDER

MÅLESTOKK	MÅLT J.S.R. O.B.L. MAI -94
1:50000	TEGN E.D. — " —
	TRAC
	KFR

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

TEGNING NR.	KARTBLAD NR.
94.049 – 02	1511 IV



UNDERSØKT OMRÅDE

E_0 : FJERN STRØMELEKTRODE

P_0 : FJERN POTENSIALELEKTRODE

STATNETT

OVERSIKTSKART

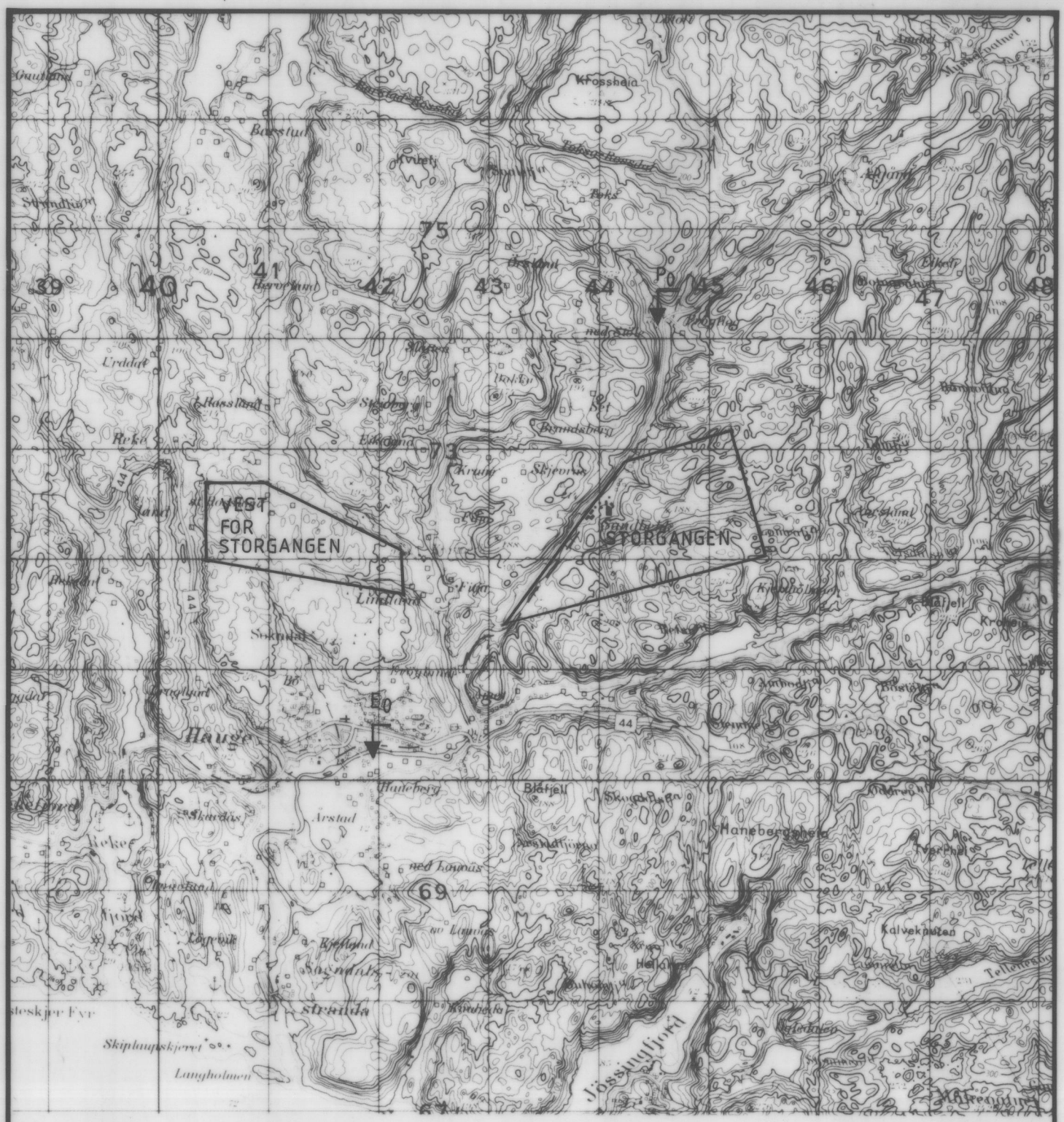
SKOTTA OG BRÅSTAD

ARENDAL OG GRIMSTAD, AUST-AGDER

MÅLESTOKK	MÅLT J.S.R.	MAI 1994
	TEGN E.D.	
1:50000	TRAC	
	KFR.	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

TEGNING NR.	KARTBLAD NR.
94.049–03	1511 IV



UNDERSØKT OMRÅDE

E_0 : FJERN STRØMELEKTRODE

P_0 : FJERN POTENSIALELEKTRODE

STATNETT

OVERSIKTSKART

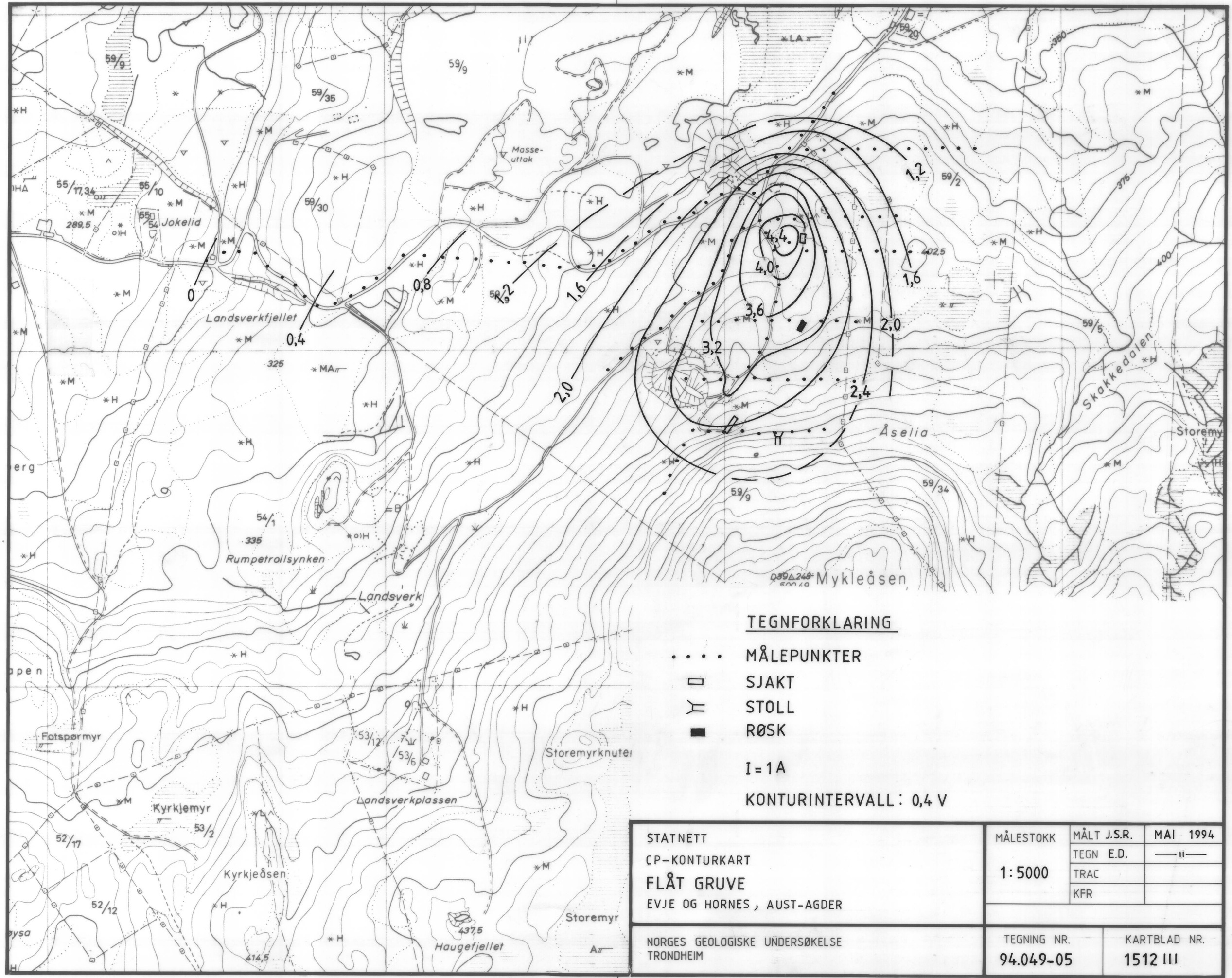
STORGANGEN OG VEST FOR STORGANGEN

SOKNDAL, ROGALAND

MÅLESTOKK	MÅLT J.S.R.	MAI 1994
	TEGN E.D.	—"—
1:50000	TRAC	
	KFR.	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

TEGNING NR.	KARTBLAD NR.
94.049 – 04	1311 IV



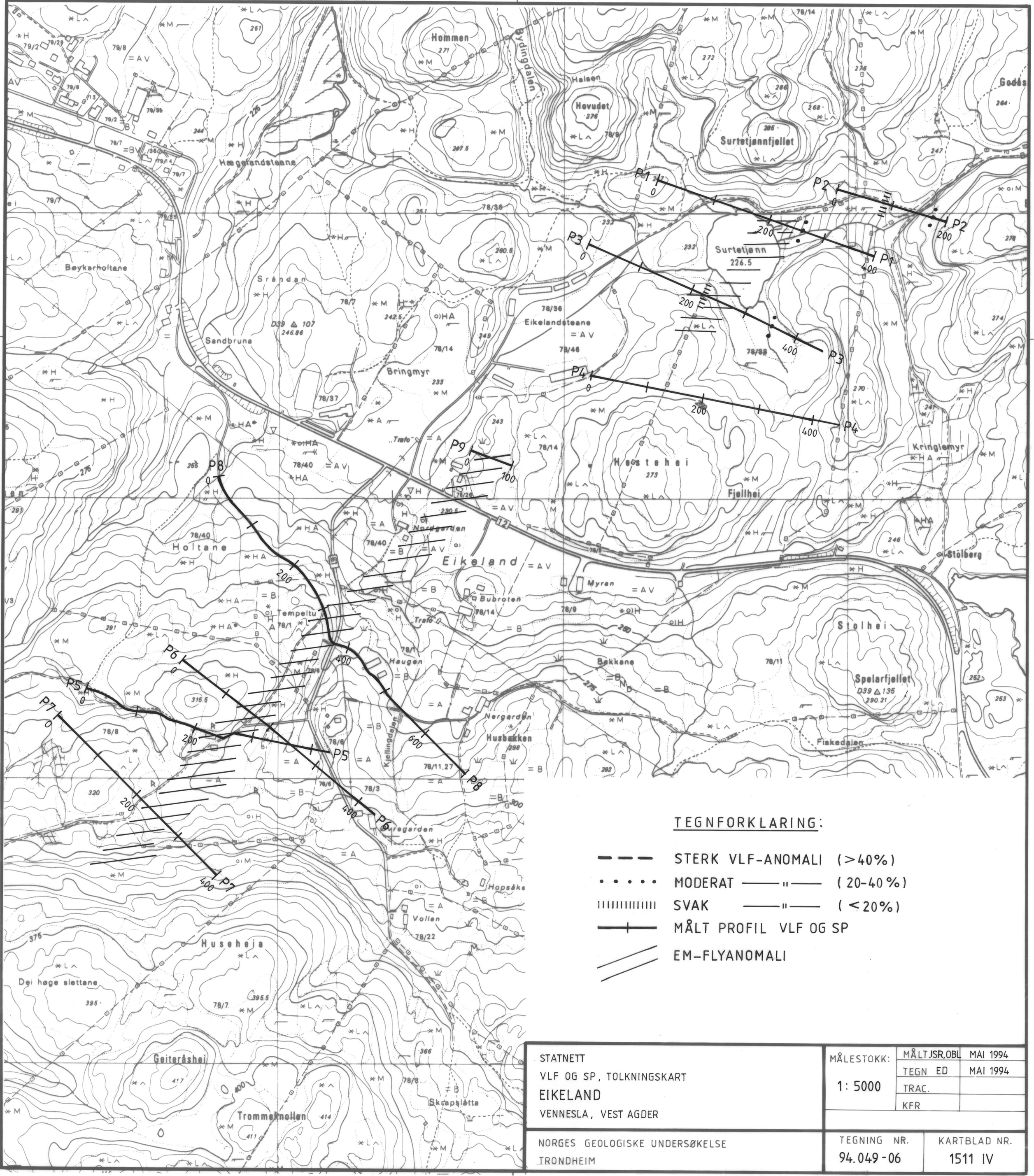
TEGNFORKLARING

- . . . . MÅLEPUNKTER
- ▭ SJAKT
- ⊢ STOLL
- ■ RØSK

I = 1A

KONTURINTERVALL : 0,4 V

STATNETT CP-KONTURKART **FLÅT GRUVE** EVJE OG HORNES, AUST-AGDER	MÅLESTOKK 1:5000	MÅLT J.S.R.	MAI 1994
		TEGN E.D.	—"—
		TRAC	
		KFR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 94.049-05	KARTBLAD NR. 1512 III	



TEGNFORKLARING:

- STERK VLF-ANOMALI (>40%)
- MODERAT —"— (20-40%)
- SVAK —"— (<20%)
- MÅLT PROFIL VLF OG SP
- EM-FLYANOMALI

STATNETT

VLF OG SP, TOLKNINGSKART

EIKELAND

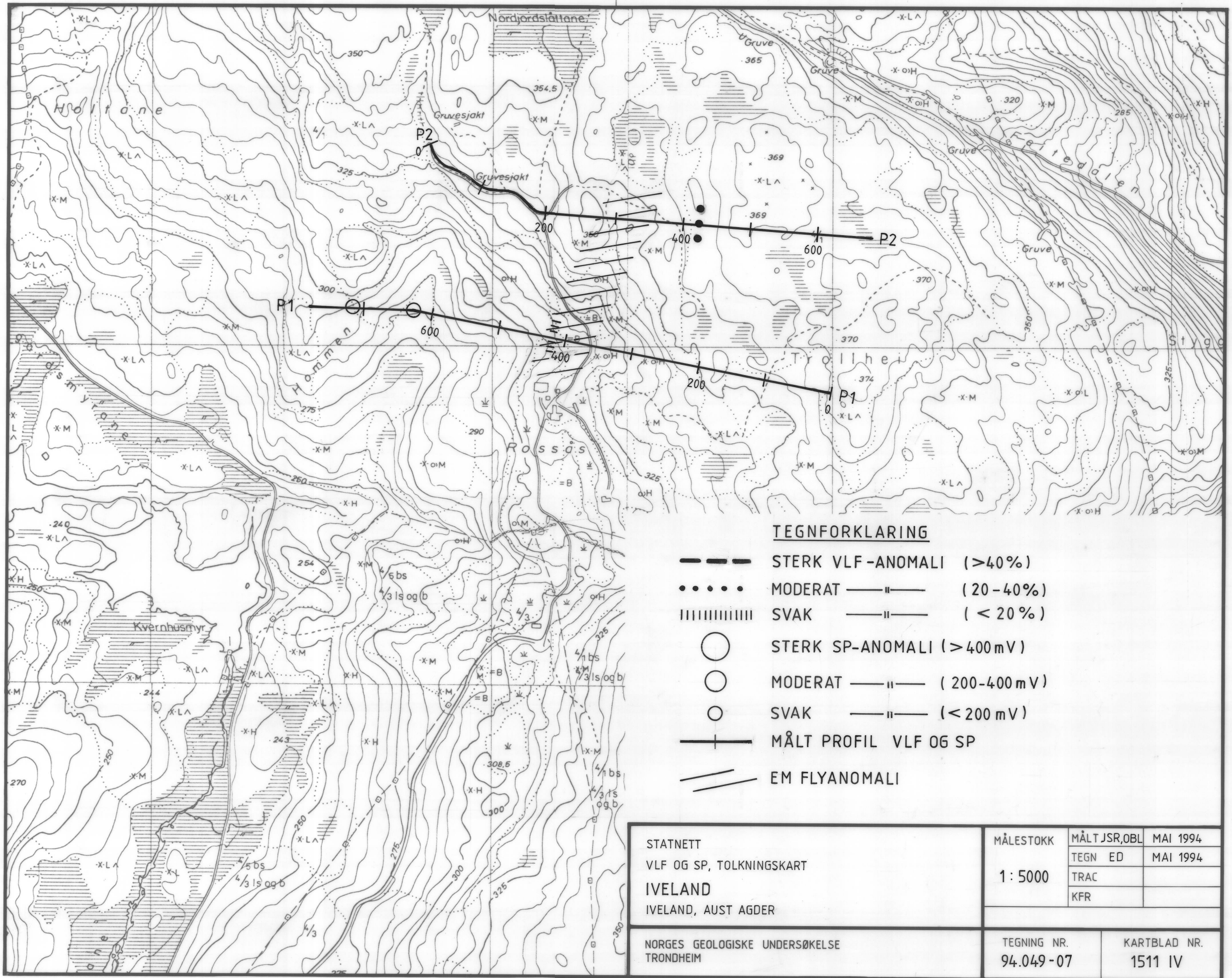
VENNESLA, VEST AGDER

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

TRONDHEIM

MÅLESTOKK: 1:5000	MÅLT JSR, OBL	MAI 1994
	TEGN ED	MAI 1994
	TRAC.	
	KFR	

TEGNING NR.	KARTBLAD NR.
94.049-06	1511 IV



STATNETT

VLF OG SP, TOLKNINGSKART

IVELAND

IVELAND, AUST AGDER

MÅLESTOKK	MÅLT JSR,OBL	MAI 1994
1 : 5000	TEGN ED	MAI 1994
	TRAC	
	KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

TEGNING NR.	KARTBLAD NR.
94.049-07	1511 IV

TEGNFORKLARING

• • • • • • MÅLEPUNKTER

I = 1A

—— —— KONTURINTERVALL : 0,5 V

———— ———— " ———— : 1,0 V

———— ———— " ———— : 5,0 V

STATNETT

CP – KONTURKART

BRÅSTAD GRUVE

ARENDAL , AUST-AGDER

MÅLESTOKK:	MÅLT J.S.R.	MAI 1994
1: 5000	TEGN E.D.	—"—
	TRAC.	
	KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE

TRONDHEIM

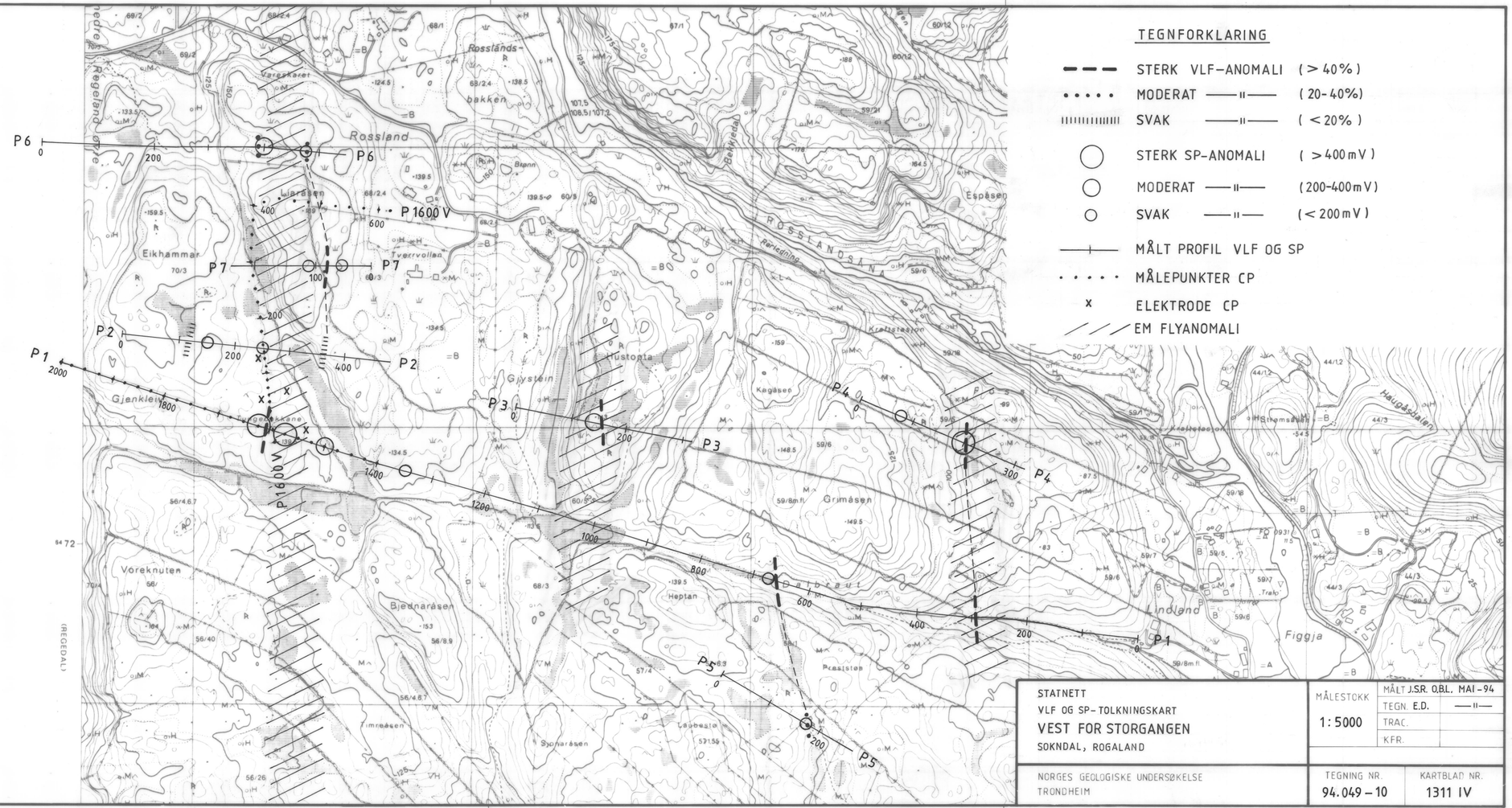
TEGNING NR.	KARTBLAD NR.
94.049–08	1611 IV

TEGNFORKLARING

- STERK VLF-ANOMALI (> 40 %)
- MODERAT —II— (20-40 %)
- SVAK —II— (< 20 %)
- MÅLT PROFIL VLF OG SP
- LEDNINGSEVNEMÅLING EM-31
- EM-FLYANOMALI

Urdalen
ØYESTAD GRIMSTAD
Tingstveit
Gamlestem
Lysthaven
Hestholmen
Engekjær
Stivelsmyr
Gitdalen
Esketveit
Karten
Løkka
Birketveit
Linnheia
Skotta
Skarsdalen
Skarsdalsbekken
Naturreservat
Tverrhusdalbekken
Fjellveien
Tingstveien
P1
200

STATNETT VLF OG EM 31 , TOLKNINGSKART **SKOTTA** GRIMSTAD OG ARENDAL , AUST AGDER	MÅLESTOKK 1 : 5000	MÅLT LE	MAI 1994
		TEGN ED	MAI 1994
		TRAC	
		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 94.049-09	KARTBLAD NR. 1611 IV	



STATNETT
VLF OG SP-TOLKNINGSKART
VEST FOR STORGANGEN
SOKNDAL, ROGALAND

MÅLESTOKK 1:5000

MÅLT J.SR. O.B.L. MAI-94
TEGN. E.D. —"—
TRAC.
KFR.

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

TEGNING NR. 94.049-10

KARTBLAD NR. 1311 IV

343 344 345 346

Y 16 000

(FRØYTLOG)

Skjevrås
Krune
Einebakka
Skjevråsen
Sandbekk
Gruve
Slagg
Gruveavfall
Steintippen
Haugåsen
Haugåsdalen
Gorgevegen
Trodledal
Figgjekkona
Hanglandsmyra
Rørledning
Kølyeskaret
Tverråsen
Åsen
Åmotfjellet
Åmot
Måhølen
Bjånes
Eikedal kyrkjegard
Gravplass
Eik
Gåikknuten
-203
Kvennadalsdammen
A/S Titania
Frøytlog
Sandtjerna
Podiskuten
Gruve
Valpletta
Dyrstøl-
heia
Skultjørn
Stormelknuten
Aursland
Kjerkjeknuten
Rundetjerna
Eikefjell
Kjerthol
Kjerdalshei
Knudknuten
-204
Kvennhushei
Refsvatnet
35.5
Svåen
Rakkestulnen
Oxjehammen
Stemmetjellet
Stemmetjørn
101.5
Sirebekken
Høneberg
Little Bjåfjellknuten
store
Trafo
Rørledning
Tilløpsrør
Esnes
Sliren
Trodledalen
SOKNO

N

1600 1400 1200 1000 800 600 400 200

0.8 0.75 0.70 0.65 0.60 0.55 0.50 0.45 0.40 0.35 0.30 0.25 0.20 0.15 0.10 0.05 0

TEGNFORKLARING

..... MÅLEPUNKTER

JORDING : E1
I=1A
KONTURINTERVALL: 0,05 V

STATNETT CP-KONTURKART JORDING 1 STORGANGEN SØKNDAL, ROGALAND	MÅLESTOKK 1:5000	OBS J.S.R.-OBL.	MAI 1994
		TEGN. J.S.R.	—"—
		TRAC.	
		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 94.049 11	KARTBLAD NR. 1311 IV	

343 Y 16 000 344 345 (FRØYTLOG) 346



TEGNFORKLARING

. . . . . MÅLEPUNKTER

JORDING : $E_1 + E_2 + E_3$

I = 0,35 A + 0,36 A + 0,28 A = 0,99 A

KONTURINTERVALL 0,05 V

STATNETT CP KONTURKART JORDING 3 **STORGANGEN** SOKNDAL, ROGALAND	MÅLESTOKK 1:5000	OBS. J.S.R.-Ø.B.L. TEGN. J.S.R. TRAC. KFR.	MAI 1994 —"—
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 94.049-12		KARTBLAD NR. 1311 IV