

NGU Rapport 92.173

Geofysiske målinger over mulige sprekkesoner på
Kjerkøy, Hvaler, Østfold.

Rapport nr. 92.173		ISSN 0800-3416		Gradering: Åpen	
Tittel: Geofysiske målinger over mulige vannførende sprekkesoner på Kjerkøy, Hvaler, Østfold.					
Forfatter: Torleif Lauritsen Jan S. Rønning			Oppdragsgiver: NGU		
Fylke: Østfold			Kommune: Hvaler		
Kartbladnavn (M=1:250.000) Oslo			Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1913 3 Fredrikstad		
Forekomstens navn og koordinater: Kjerkøy 6150 65510			Sidetall: 28		Pris: 140
			Kartbilag: 10		
Feltarbeid utført: 05-12.10.90/10-15.05.91		Rapportdato: 22.04.92		Prosjektnr.: 63.2462.01	
				Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i>	
Sammendrag: <p>Det er foretatt geofysiske målinger over en rekke sprekkesoner innenfor 5 forskjellige lokaliteter på nordsiden av Kjerkøy. Målingene var et ledd i NGU's kompetanseoppbygging på grunnvann i fjell.</p> <p>VLF-målinger ble i noen tilfeller forstyrret av tekniske anlegg, men ga ellers anomalier som kan skyldes sprekker i berggrunnen. Magnetiske målinger ga entydige magnetiske minima over til dels smale sprekker. Elektriske profileringer ga god informasjon om ledende soners beliggenhet og bredde. CP-målinger ga p.g.a. dårlig ledningsevnekontraster, bare delvis indikasjon på sprekkesonens utbredelse. Ved georadaropptak framkom en rekke dagnære hendelser som tilsynelatende skrår ned mot dypet. Disse kan muligens tilskrives steiltstående sprekker som krysses i en spiss vinkel. For å avklare dette må det utføres boringer.</p>					
Emneord: Geofysikk		Elektromagnetisk måling		Elektriske målinger	
Magnetometri		Grunnvann		Fagrapport	

<u>INNHold</u>	Side
1. INNLEDNING	4
2. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE	4
3. RESULTATER OG KOMMENTARER	7
3.1. VLF, MAGNETOMETRI OG ELEKTRISKE MOTSTANDSMÅLINGER	7
3.2. GEORADAR	11
3.3. CP	13
4. KONKLUSJON	14
5. REFERANSER	15

TEKSTBILAG

Metodebeskrivelser

Bilag 1	VLF Magnetometri CP
Bilag 2	Elektriske motstandsmålinger
Bilag 3	Georadar

DATABILAG

Fig. 1-3	Georadaropptak Pulservik
Fig. 4-6	Georadaropptak Utengen
Fig. 7-8	Georadaropptak Dammyr

KARTBILAG

92.173-01	Oversiktskart	M 1:50 000
-02	Tolkningskart VLF, magnetometri og elektriske motstandsmålinger, Korshavn	M 1: 2 500
-03	Tolkningskart VLF, magnetometri og elektriske motstandsmålinger, Pulservik	M 1: 2 500
-04	Tolkningskart VLF, magnetometri og elektriske motstandsmålinger, Saltvik	M 1: 2 500
-05	Tolkningskart VLF, magnetometri og elektriske motstandsmålinger, Utengen	M 1: 2 500
-06	Tolkningskart VLF, magnetometri og elektriske motstandsmålinger, Dammyr	M 1: 2 500
-07	Oversiktskart Georadarprofiler, Pulservik	M 1: 2 500
-08	Oversiktskart Georadarprofiler, Utengen	M 1: 2 500
-09	Oversiktskart Georadarprofiler, Dammyr	M 1: 2 500
-10	CP-konturkart, Utengen	M 1: 2 500

1. INNLEDNING

Som en del av NGU's kompetanseoppbygging omkring grunnvannsuttak i fjell, er det foretatt geofysiske målinger på nordsiden av Kjerkøy innenfor følgende lokaliteter: Korshavn, Pulservik, Saltvik, Utengen og Dammyr (kartbilag 92.173-01).

Utgangspunktet for målingene var sprekkesystemer, som ved hjelp av flyfotostudier og observasjoner i felt, ble påvist ved de ulike lokalitetene (D. Banks og E. Rohr-Torp 1991). De fleste sprekkesonene er markerte i dagen, og en ville bl.a. undersøke hvordan de ulike metodene "svarte" på disse. Undersøkelsene ble foretatt i tidsrommene 5.-12. oktober 1990 og 10.-15. mai 1991.

2. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

De geofysiske metodene som ble benyttet, var i første rekke VLF, magnetometri, elektrisk profilering og georadar. I tillegg ble CP-målinger forsøkt ved Utengen. Metodene er kortfattet beskrevet i tekstbilagene 1, 2 og 3.

Tabell 1 viser målemetodenes fordeling på de ulike profilene. Profilenes innbyrdes beliggenhet er vist i kartbilagene 92.173-02 - 92.173-09. Det ble totalt målt 46 profiler, iberegnet 8 georadarprofiler. Profilene ble stukket med siktekompas og målesnor, og merket for hver 25 m med stikker påskrevet koordinater.

VLF-målingene ble utført som dipvinkelmålinger med NGU's egenproduserte mottaker. Senderstasjonene, som ble benyttet, var vekselvis de to britiske GBZ (19,6 kHz) og GYD (19,0 kHz), den amerikanske NAA (24,0 kHz) og den norske JXZ (16,4kHz). Valg av senderstasjon bestemmes av dens beliggenhet i forhold til sprekkesonens retning, og av mottaksforholdene. Målepunktavstanden, som ble benyttet, var 5 m.

De magnetiske totalfeltmålingene ble utført med Unimag bærbart protonmagnetometer (Geometrics 1977). Målehøyden var ca. 1.5 m over bakken, og målepunktavstanden i det alt vesentlige 5 m.

Motstandsmålingene ble foretatt med ABEM Terrameter SAS 300 og et kabelsystem for gradient elektrodekonfigurasjon med faste strøm-elektroder. Avstanden mellom potensialelektrodene var 5 m.

CP-målingene ved Utengen ble utført som gradientmålinger, og en benyttet NGU's egenproduserte CP-utrustning. En fjernelektrode, C1, i form av en kobbertråd, ble lagt ut i sjøen ved Saltvik, ca. 400 m fra måleområdet. Deretter ble det etablert en elektrode, C2, i hovedsprekken, ved at en satte ned flere jernspyd i bekken ved profil 4F (se kartbilag 92.173-10). Hensikten med disse målingene var å se om hovedsprekken kunne følges under dyrkamarka som ligger sentralt i området.

LOKALITET	PROFIL	METODER	KOMMENTARER
KORSHAVN	1A	VLF, Mag.	Meget svak VLF-sender. Svaberg.
	1B	VLF, Mag.	
	1C	VLF, Mag. og elektrisk profilering	
PULSERVIK	2A-2E	VLF, Mag.	Gode måleforhold for VLF og Mag. Kraftlinje
	2F	Mag.	
	2G-2I	VLF, Mag.	
	GPR 1	Georadar	
	GPR 2	Georadar, Mag.	
	GPR 3	Georadar	
SALTVIK	3A	VLF, Mag.	
	3B	VLF, Mag. og elektrisk profilering	
	3C-3F	VLF, Mag.	
UTENGEN	4A-4C	VLF, Mag., CP	
	4D-4E	VLF, Mag.	
	4F	Mag., CP, elektrisk profilering	
	4G-4O GPR 4-6	CP Georadar	
DAMMYR	5A	VLF, Mag., elektrisk profilering	Kraftlinje
	5B	VLF, Mag.	Svaberg
	5C	VLF, Mag., elektrisk profilering	
	5D	VLF, Mag.	Kraftlinje. Svaberg.
	5E-5F GPR 7-8	Mag. Georadar	

TABELL 1: Målemetodenes fordeling på de ulike profiler.

Georadaren, som ble benyttet, er av typen puls EKKO IV (Sensors & Software Inc.). Antennenes senterfrekvens var på 50 MHz og samplingstiden 0.8 ns. Tabell 2 viser en oversikt over profilene og deres opptaks- og prosesseringsparametre.

GPR NR.	LENGDE (m)	OPPTAKSTID (ns)	ATTENUATION	POINTS STACKING	AMOUNT	TRACE DIFF.
1	120	1024	1,000	10	200	N/Y
2	226	1024	1,000	20	100	N/Y
3	127	512	0,500	10	100	N/Y
4	74	512	5,000	10	100	Y
	74	512	1,000	10	100	N
5	57	512	1,000	10	100	N/Y
6	181	512	1,000	10	100	N/Y
7	325	512	1,000	20	100	N/Y
8	214	512	1,500	10	100	Y
	214	512	1,500	20	100	N

TABELL 2: Georadarprofilenes opptaks- og prosesseringsparametre.

Alle profiler er prosessert med Gain type SEC, og antall stacks under opptakene var 128. Antenneseparasjonen var 1 m for GPR 2-8 og 2 m for GPR 1. Hvert profil er presentert både med og uten "trace differencing". "Trace differencing" er en filtreringsprosess som forsterker raskt skiftende hendelser langs profilet. Samtidig blir flattliggende, utholdende horisonter dempet. Ved angivelse av dybdeskala har en valgt bølgehastighet 0.13 m/ns. Horisontale og vertikale akser har samme skala.

Det er ikke tatt hensyn til høydeforskjeller langs profilene under prosesseringen. Georadarprofilenes innbyrdes plassering er vist i kartbilagene 92.173-07 - 92.173-09. Profilene er merket med stikker ved start og slutt, samt for hver 100 m.

3. RESULTATER OG KOMMENTARER

3.1. VLF, MAGNETOMETRI OG ELEKTRISKE MÅLINGER

Resultatene er presentert som tolkningskart i målestokk 1: 2 500 (kartbilagene 92.173-02 - 92.173-06).

KORSHAVN:

Ved Korshavn ble det målt 3 profiler på tilsammen 350 m (kartbilag 92.173-02), og tabell 3 viser de ulike anomaliens koordinatplassering langs profilene. De magnetiske målingene fungerte meget godt, og en fikk magnetiske minima over sprekker hvis bredde i dagen var ca. 30 cm (jfr. profil 1A, koordinat 25). Metoden virker derfor svært pålitelig under de geologiske forhold som råder på Kjerkøy. VLF-målingene er mer usikre fordi en hadde store problemer med mottaksforholdene.

Den indikerte sonen mellom profilene 1A og 1B er tegnet på bakgrunn av observasjoner i felt. Det er forøvrig sannsynlig at VLF-anomaliene på profilene 1B og 1C, samt den svake VLF-anomalien på profil 1A, alle representerer samme sone (D. Banks og E. Rohr-Torp 1991). Den elektriske profileringen på profil 1C antyder en 20 m bred, oppknust sone. Løsmassedekket er meget begrenset, og synes ikke å påvirke målingene.

PROFIL	meget svak $\leq 5^\circ$	VLF svak 5-10°	moderat $\geq 10^\circ$	MAG ≤ 50150 nT	LEDN.EVNE $\geq 0,6$ mS/m
1A	30, 40	70		25, 45-50	Ikke målt
1B	93			90, 100, 160	Ikke målt
1C			30	20-35, 60-65 75-80	25-45

TABELL 3: Koordinatanvisning, i meter, for de ulike anomalytypene ved Korshavn.

PULSERVIK:

Innenfor lokaliteten ved Pulservik gjorde en undersøkelser langs 10 profiler (kartbilag 92.173-02). Elektrisk profilering ble ikke utført her. Profil 2F ble ikke målt med VLF p.g.a. forstyrrelser fra kraftlinje. Ellers fungerte VLF-senderne normalt, og metoden ga utslag på flere sprekker (se tabell 4).

PROFIL	MEGET SVAK $\leq 5^\circ$	VLF SVAK 5-10°	MODERAT $\geq 10^\circ$	MAG $\leq 50150\text{nT}$
2A		30		30-35
2B		45		40-50
2C	45			30-35, 50-55 65-70
2D	30, 40			10-15, 22-27 43-50
2E	45, 60		93	80-95
2F		Ikke målt		60-85
2G	37			27-55, 75-85
2H	35			30-40, 70-80
2I	73,95	150		20-25, 70-90 145-150
GPR 2		Ikke målt		47-53, 190-195 205-220

TABELL 4: Koordinatanvisning, i meter, for de ulike anomalytypene ved Pulservik

Også i dette området synes de magnetiske målingene å være de mest pålitelige av metodene. En fikk magnetiske minima over samtlige sprekker som er synlige i dagen. Ved magnetisk måling av profil GPR 2, sto flere biler parkert mellom koordinatene 75-150, og data herfra er derfor ikke tatt hensyn til.

SALTVIK:

Ved Saltvik ble det målt 6 profiler på tilsammen 1100 m (kartbilag 92.173-04). Deler av profil 3B ble forstyrret av kraftlinjen som krysser profilet ved koordinat 115. Et bilvrak ved profil 3C, koordinat 155, forstyrret de magnetiske målingene her, og kan skjule et eventuelt lavmagnetisk område ved profilets VLF-anomali. Tabell 5 viser de ulike anomalienes plassering langs profilene ved Saltvik.

PROFIL	MEGET SVAK $\leq 5^\circ$	VLF SVAK 5-10°	MODERAT $\geq 10^\circ$	MAG ≤ 50150 nT	LEDN.EVNE $\geq 0,6$ mS/m
3A	45, 67, 80 165	120		45-50, 67-73 77-85, 115-127 135-190	Ikke målt
3B		70		7-15, 37-85	65-90
3C		150		0-100	Ikke målt
3D	70, 80			120-150	Ikke målt
3E	40, 90, 185	160		33-47, 77-97 113-117 157-163 193-197	Ikke målt
3F	130, 160	90		85-100, 127-137	Ikke målt

TABELL 5: Koordinatanvisning, i meter, for de ulike anomalytyper ved Saltvik.

Anomaliene som trer fram på profilene 3A og 3F, representerer sannsynligvis samme sprekkesonesystem, nemlig den før omtalte nordøst-/sørvestgående hovedretning. VLF-anomalien på profil 3C (150) er muligens en forlengelse av denne. Profil 3C ligger forøvrig delvis i, og parallelt med den andre hovedsprekkeretningen. Derfor har de magnetiske målingene gitt lave verdier (≤ 50 150 nT) langs første halvdel av profilet. De elektriske målingene langs profil 3B indikerer at denne andre hovedsprekken er ca.25 m bred. Anomaliene på profil 3E indikerer at profilet krysser et system av sprekker hvis retning ligger mellom de to før omtalte hovedretningene (Banks og Rohr-Torp, 1991).

UTENGEN:

Innenfor lokaliteten ved Utengen ble det målt 8 profiler av en total lengde på 1125 m (kartbilag 92.173-05). De fleste VLF-profilene ble forstyrret av høyspentlinjene sentralt i området. VLF-anomaliens plassering og styrkeangivelse kan derfor være noe usikker. Profilene 4F-4N ble ikke forsøkt målt p.g.a. dette. Anomaliens plassering langs profilene er vist i tabell 6.

PROFIL	VLF			MAG ≤ 50 200 nT	LEDN.EVNE ≥ 0,5 mS/m
	meget svak ≤ 5°	svak 5-10°	sterk og moderat ≥ 10°		
4A	105	140	80		Ikke målt
4B		Ikke målt			Ikke målt
4C			85	60-65	Ikke målt
4D		25, 55		25-65	Ikke målt
4E	35, 90 110	60		55-80	Ikke målt
4F		Ikke målt		0-5 20-70	15-45
4G			70	15-25 40-100	Ikke målt
4H	120		85	90-127	Ikke målt

TABELL 6: Koordinatanvisning, i meter, for de ulike anomalytypene ved Utengen.

Den nordøst-/sørvestgående hovedsprekkesonen er her sannsynligvis representert ved VLF-anomaliene 4D (25 og 55) og 4G (70), samt de lavmagnetiske områdene 4D (25-65) og 4G (40-100). I forlengelsen av disse har en også et lavmagnetisk område på profil 4B, men nivået her ligger noe høyere enn den øvre grense som er valgt (≤ 50 200 nT). VLF-anomaliene på profilene 4A (80), 4C (85) og 4H (85) indikerer en sone som tydelig går i forlengelsen av det markerte dalsøkket i nordvest-/sørøstlig retning.

DAMMYR:

Ved Dammyr har en målt 6 profiler på tilsammen 1100 m. Tabell 7 viser koordinatanvisningen for de ulike anomalytypene. Kun de to profilene 5B og 5D ble gjenstand for VLF-målinger p.g.a. forstyrrelser fra høyspentlinjer og andre tekniske anlegg. VLF-anomaliene på profil 5B og 5D kan være indikasjon på en nordvest-/sørøstgående sprekkese. En har også magnetiske anomalier over de samme koordinatene (5B, 95-100 og 5D, 40-75). Ellers ser en at de magnetiske målingene gir lavmagnetiske verdier langs store deler av de andre profilene. Anomaliene er sammenfallende med fordypninger i terrenget som sannsynligvis har sammenheng med sprekker i berggrunnen. Det ble utført elektriske profileringer langs profilene 5A (75-190) og 5C (0-115). På profil 5A indikeres oppsprekking mellom koordinatene 105 og 120, hvor den tilsynelatende ledningsevnen såvidt overstiger 0.5 mS/m. Profil 5C går delvis langs en nordvest-

/sørøstgående sprekkesone. Langs hele profilet, fram til koordinat 95, ligger den tilsynelatende ledningsevnen godt over 0.5 mS/m, med en markert topp mellom koordinatene 65 og 90. Her krysser profilet sannsynligvis den nordøst-/sørvestgående hovedsprekken.

PROFIL	meget svak $\leq 5^\circ$	VLF svak 5-10°	moderat $\geq 10^\circ$	MAG ≤ 50 100 nT	LEDN.EVNE $\geq 0,5\text{mS/m}$
5A		Ikke målt		75-150	105-120
5B			95	55-60 95-100	Ikke målt
5C		Ikke målt		0-120	0-95
5D			50	40-75	Ikke målt
5E		Ikke målt		45-55 90-120 135-340	Ikke målt
5F		Ikke målt		35-75	Ikke målt

TABELL 7: Koordinatanvisning, i meter, for de ulike anomalytypene ved Dammyr.

3.2. GEORADAR

PULSERVIK:

Resultatene av georadarmålingene (GPR 1-GPR 3) er presentert i figurene 1-3. Hvert profil er presentert både med og uten "trace differencing". Horisontale hendelser ved 250 ns og 450 ns representerer støy. Der profilene krysser sprekker som er synlige i dagen, er dette anmerket på opptakene. På GPR 1 framtrer 2 hendelser som tolkes som sprekker i fjell; en ved koordinat 70-75 og en annen ved koordinat 50. Disse synes å løpe sammen mot dypet, men kan også skyldes et samspill mellom to sprekker som krysses i forskjellig vinkel. Sprekkene faller tilsynelatende mot økende profilkoordinat og kan representere den nordøst-/sørvestgående hovedsprekkesonen (kartbilag 92.173-07). Profilet krysser sonen i en spiss vinkel, og dette påvirker fallet som sprekken opptrer med på opptaket.

De første 25 m av profil GPR 2 (Fig.2) synes å bestå av homogent lite oppsprukket fjell, mens resten av profilet gir flere reflektorer ned til ca.300 ns (ca.20m). De mest markerte ser ut til å være dagnære ved koordinatene 40, 50 og 190. De to siste anomaliene korresponderer med magnetiske anomalier (jfr. tabell 4). Ved koordinat 50 ser en dessuten tydelig oppsprekking i dagen. Denne sprekken krysses av profilet i en spiss vinkel, og det kan

synes som om reflektorene ved 40 m og 50 m skyldes en siderefleksjon fra sonen. Dersom dette er forklaringen, må sonen ha et fall (steilt ?) mot sørvest. Profilet karakteriseres ellers av mye høyfrekvent støy.

GPR 3 (Fig.3) viser en markert hendelse ved koordinat 50, tid 0 ns. Profilet krysser den nordvest-/sørøstgående hovedsonen nettopp ved denne koordinaten. Hendelsen skrår med varierende fall mot minkende koordinat (0/380ns). Det varierende fallet kan skyldes at denne delen av profilet ikke går i rett linje, men at profilretningen varierer i forhold til sprekkesonens retning. I området mellom koordinatene 85 og 100, vises ingen indikasjoner på reflektorer. Dette kan skyldes at vi befinner oss mellom de to hovedsprekkesonene hvor berggrunnen er homogen og lite oppsprukket. Fra koordinat 100, har en indikasjoner på et tynt løsmasselag. Profilet går her i den nordøst-/sørvestlige sprekkesonen. Fra koordinat 20 til koordinat 80, hvor profilet krysser sentrale deler av den nordvest-/sørøstlige hovedsprekken, har en reflektorer ned til 150 ns (≈ 10 m). Det antas at dette representerer penetrasjonsdypet i oppspryknet fjell, og ikke dypet av oppsprekkingen.

UTENGEN:

Ved Utengen ble 3 georadarprofiler målt (kartbilag 92.173-08 og Fig.4-6). Opptakene fra georadarprofil 4 (fig. 4) viser flere skråstilte hendelser. De to mest markerte har vi på slutten av profilet: Den ene ved koordinat 165/tid 0 ns, skrår nedover til koordinat 215/ tid 450 ns. Den andre er dagnær ved koordinat 210, og skrår derfra ned til 340 ns ved koordinat 168, men fortsetter muligens helt til 450 ns ved koordinat 150. De første 40 meter av profilet gir flere reflektorer ned til 450 ns. Dette er et område med en svak forsenkning i terrengoverflaten, og en bekk krysser profilet ved ca. koordinat 20. Det er mulig at reflektorene her indikerer oppsprekking av berggrunnen.

Opptakene fra GPR 5 (Fig.5) er karakterisert ved svært liten energi. Dette skyldes sannsynligvis absorpsjon i godt ledende leire i overdekket. På "trace difference"-opptaket har en tatt hensyn til denne svekkelsen av radarsignalet ved å øke forsterkningen. Opptaket viser flere hendelser som skrår fra ca. 50 ns og ned til ulike dyp. Den mest utholdende av disse går fra koordinat 70 til ca. 350 ns ved koordinat 30. En annen reflektor kan følges fra 0 ns ved koordinat 62 til ca. 150 ns ved koordinat 45. Denne reflektoren er dagnær der en har detektert en moderat VLF-anomali (4C, 85)

GPR 6 (Fig. 6) er sammenfallende med deler av profil 4F (100-155). CP-anomalien ved koordinat 120 krysser GPR 6 ved koordinat 45. Her har en indikasjoner på en dagnær hendelse som kan følges ned til ca.200 ns ved koordinat 30.

DAMMYR:

Georadaropptakene er presentert i figurene 7 og 8. Kartbilag 92.173-09 viser deres beliggenhet. På GPR 7 ser en at fjelloverflaten stikker ned ved koordinat 90 og kommer opp ved koordinat 130. Dette er innenfor profilets lavest liggende parti. Av andre markerte hendelser sees en reflektor som er dagnær ved koordinat 145, og som kan følges til 200 ns ved koordinat 130.

På GPR 8 sees en hendelse som skrår fra 0 ns ved koordinat 235 ned til 300 ns ved koordinat 200. Denne reflektoren kan representere en mulig steiltstående sprekke som krysses i en spiss vinkel ved koordinat 235. To andre markerte hendelser kan begge følges fra 0 ns ved koordinat 70, til 200 ns ved henholdsvis koordinat 40 og 115. Disse to reflektorene ser ut til å kunne være forårsaket av én steiltstående sprekke som krysses i en spiss vinkel, men dette kan vanskelig forklares ut ifra observasjoner på stedet.

3.3. CPUTENGEN:

Resultatet av CP-målingene er vist som konturkart i kartbilag 92.173-10.

Målingene ga et potensialbilde som indikerer en ledende sone langs den nordvest-/sørøstlige hovedsprekken. Ute på dyrkamarka er det vanskelig å få et sikkert bilde av sprekkesonens forløp. Dette kan skyldes at løsmassene er bedre ledende enn sprekkesonen. Potensialbildet blir dessuten dratt ut mot bukta, som sees i nordenden av kartet. Årsaken til dette kan være at bukta representerer en svakhetssone i berggrunnen med saltvannsinnregning, som står i kontakt med leira på dyrkamarka. Det ser imidlertid ut til at CP-potensialet har sitt maximum noe forskjøvet i forhold til VLF-anomaliene på profil 4A og 4H (92.173-05).

Videre ser en at potensialkurvene strekkes noe ut i nordøstlig retning (profil 4F). Dette kan skyldes en oppsprekking av berggrunnen her, og retningen er i så fall parallell med den andre hovedsprekkeretningen. En kunne ha fått et klarere potensialbilde ved å måle tettere.

4. KONKLUSJON

En god del av VLF-målingene er som vanlig beheftet med forstyrrelser fra tekniske anlegg. Metoden har derfor sine klare begrensninger i bebygde områder. I upåvirkede strøk får en imidlertid utslag på de fleste markerte sprekkesonene.

Innenfor de geologiske forholdene som råder på Kjerkøy, virker de magnetiske målingene å være svært pålitelige. Metoden gir magnetiske minima over selv meget smale sprekker.

Ledningsevne målingene med gradient elektrodekonfigurasjon, var i enkelte tilfeller vanskelig å utføre p.g.a. mangel på overdekke, og dermed "umulige" forhold for elektrode plassering. Metoden har gitt god informasjon om ledende soners beliggenhet og bredde.

CP-målingene som ble utført ved Utengen, ga indikasjoner på en ledende sone langs den nordsørgående hovedsprekkesonen som kunne følges et stykke under overdekket. Anomalibildet er imidlertid forstyrret trolig av godt ledende leire.

På georadaropptakene framkommer enkelte dagnære hendelser som skrå tilsynelatende ned mot dypet. Disse kan muligens tilskrives sprekker i berggrunnen som krysses i en spiss vinkel. Sprekkesens sanne fall kan ikke bestemmes p.g.a. manglende profildekning. For å kunne verifisere tolkningen av de geofysiske målingene er det nødvendig å utføre boringer.

REFERANSER

Banks, D. og Rohr-Torp, E. 1991: Hvaler-prosjekt Grunnvann i fast fjell. Sprekkekartlegging i Iddefjord-granitten. NGU rapport 91.214.

Geometrics 1977: Operating manual. Model G-836, Unimag, Proton Magnetometer.

Rønning, J. S. 1985: Geofysikk i vannprospektering fra sprekkesoner i fjell. Resultat fra et forprosjekt. NGU rapport 85.103.

Sensors & Software Inc. 1991: PulseEKKO IV User's Guide. Technical Manual 12.

Henkel & Guzmán 1977: Magnetic Features of Fracture zones. *Geoexploration* 15 (173-181).

METODEBESKRIVELSER:VLF:

VLF (Very Low Frequency) er en elektromagnetisk metode som gir anomalier på økt elektrisk ledningsevne, som skyldes større vanninnhold i oppsprukket fjell. VLF-anomali er ingen garanti for at sprekkesonen gir vann, men målinger kan sikre gunstig plassering av brønner, og dermed øke sannsynligheten for et godt resultat (Rønning 1985).

Metoden benytter feltet fra fjerntliggende radiostasjoner hvor frekvensen ligger i intervallet 15 til 30 kHz. Uten ledende soner i bakken er magnetfeltet horisontalt. I ledende soner induseres sekundære strømmen, og det totale elektromagnetiske feltet blir ikke lenger horisontalt. Ved å måle feltets retning (dipvinkel, reellkomponent R_e), og en størrelse som er avhengig av faseforskyvningen mellom det primære og det sekundære feltet (imaginærkomponenten I_m), kan ledende soner påvises. Metoden gir ikke informasjon om sonenes bredde.

MAGNETOMETRI:

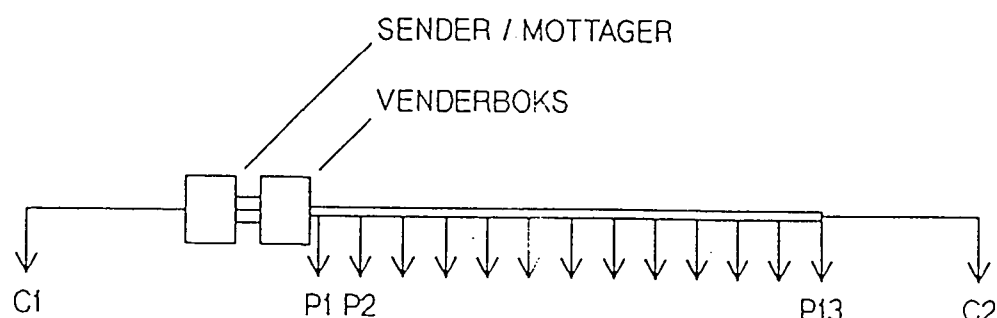
Ved magnetiske målinger kartlegges bergartenes magnetiske egenskaper. I praksis er det bare mineralet magnetitt som gir anomalier, og magnetiske målinger gir derfor et bilde av bergartenes magnetittinnhold. I sprekkesonekartlegging har magnetiske målinger på bakken og i lav flyhøyde vist seg brukbare 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.

CP:

CP står for charged potential. Metoden går ut på å koble en strømelektrode direkte til et godt ledende medium, mens en annen elektrode fjernes langt bort fra måleområdet slik at den ikke influerer potensialbildet innen måleområdet. Deretter sender man strøm i form av pulser med lik polaritet gjennom elektrodene. Ved å måle potensialet på overflaten, får en et bilde av hvordan strømmen fordeler seg ut fra nærelektroden. Metoden forutsetter stor ledningsevnekontrast mellom ledende medium og sidebergart.

ELEKTRISK PROFILERING:

Elektrisk profilering ble utført med NGU's kabelsystem spesialbygd for sprekkesonekartlegging.



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. Avstanden mellom potensialelektrode (P1-P13) var 5 meter. 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 strømelektrode plasseres i ledende soner. Ved en så stor avstand mellom strømelektrode som denne konfigurasjonen gir, trenger strømmen dypt ned i bakken og målingene blir ikke så følsomme overfor løsmassedekkets sammensetning og volum. Konfigurasjonen gir derfor uforstyrrede målinger utenfor sprekkesonene samtidig som den gir klare anomalier over sonene.

GEORADAR :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

GEORADAR PROFIL 1, PULSERVIK

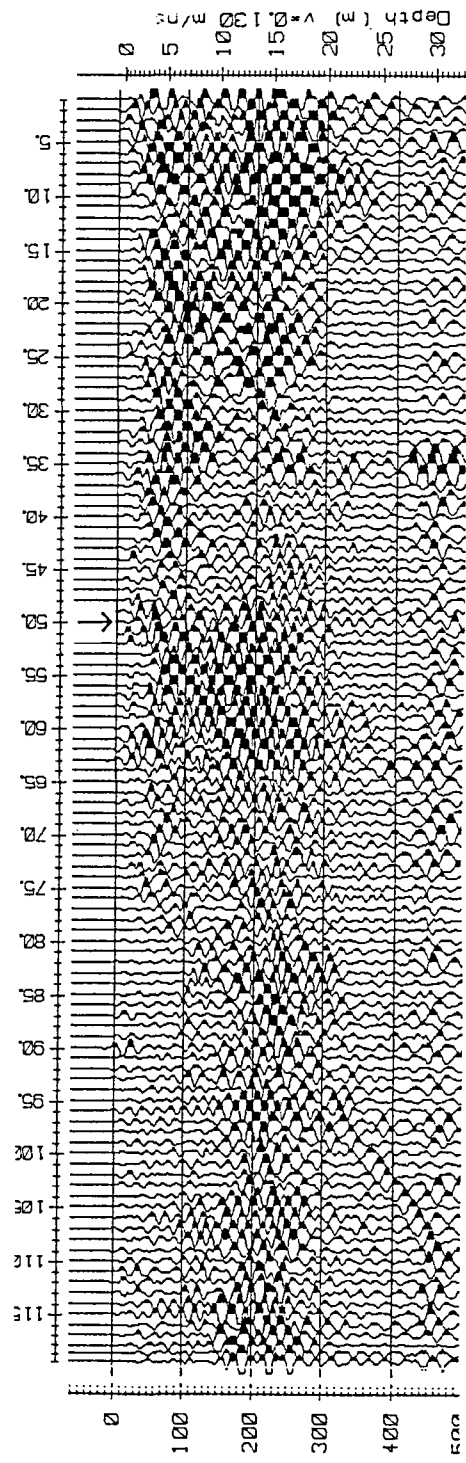
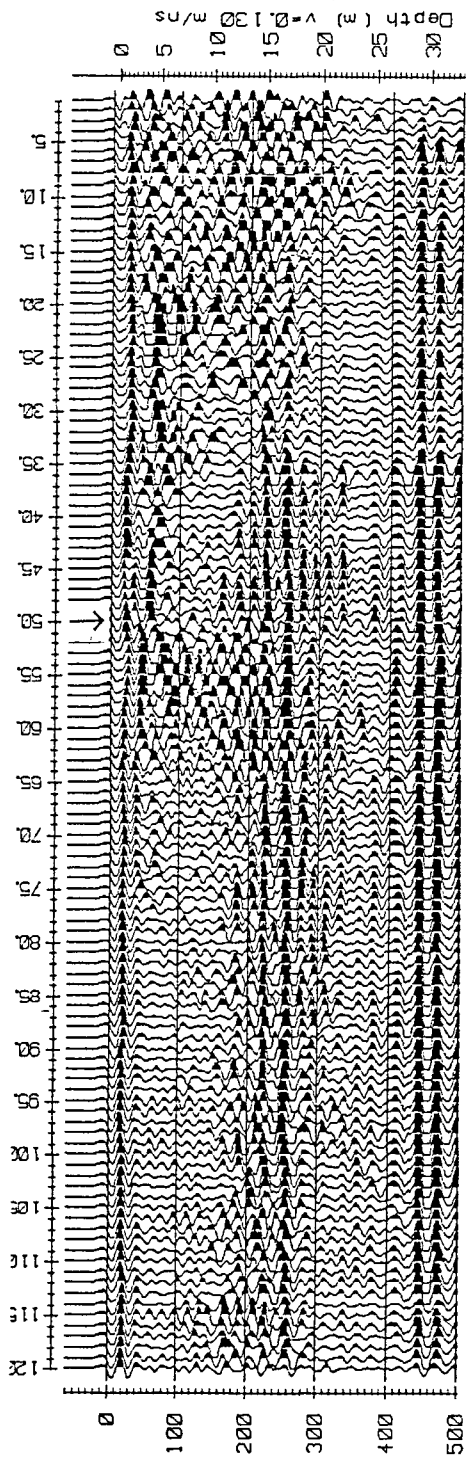
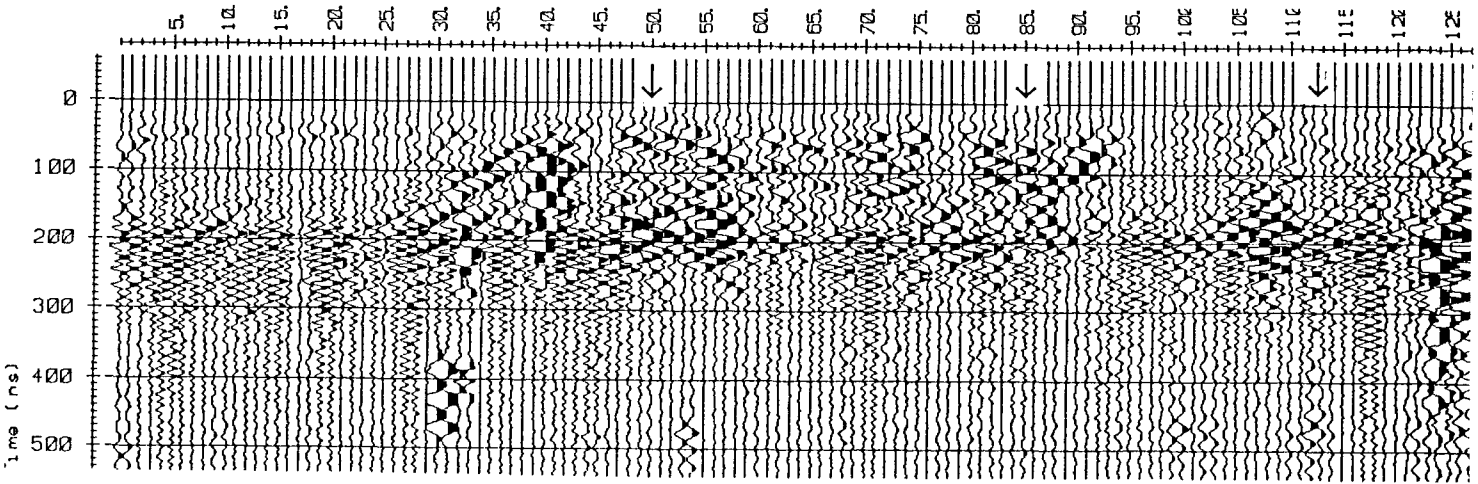
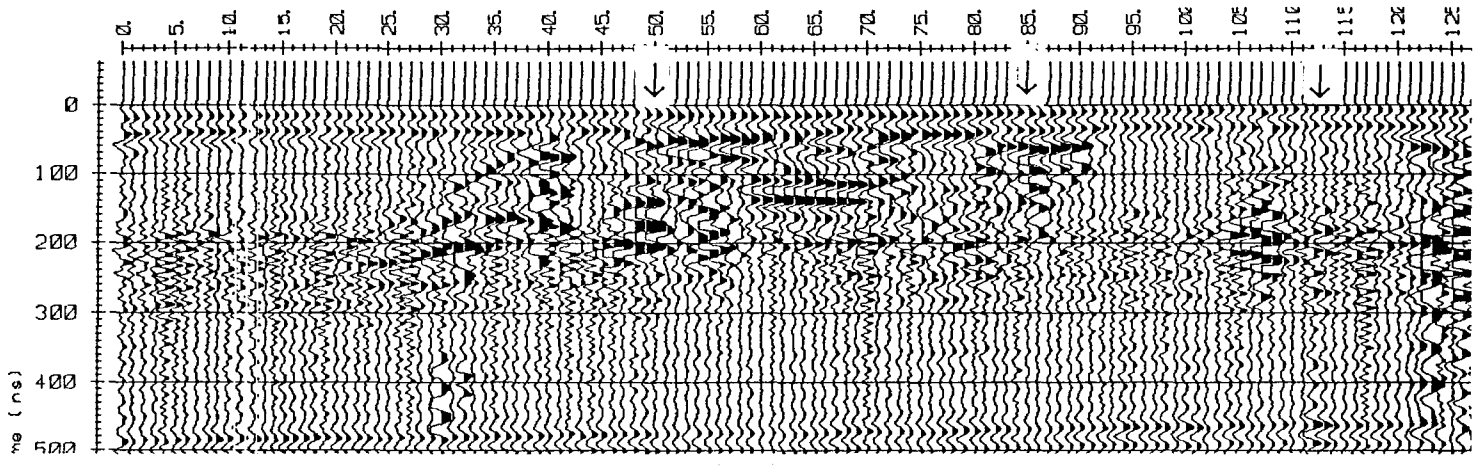


Fig.1

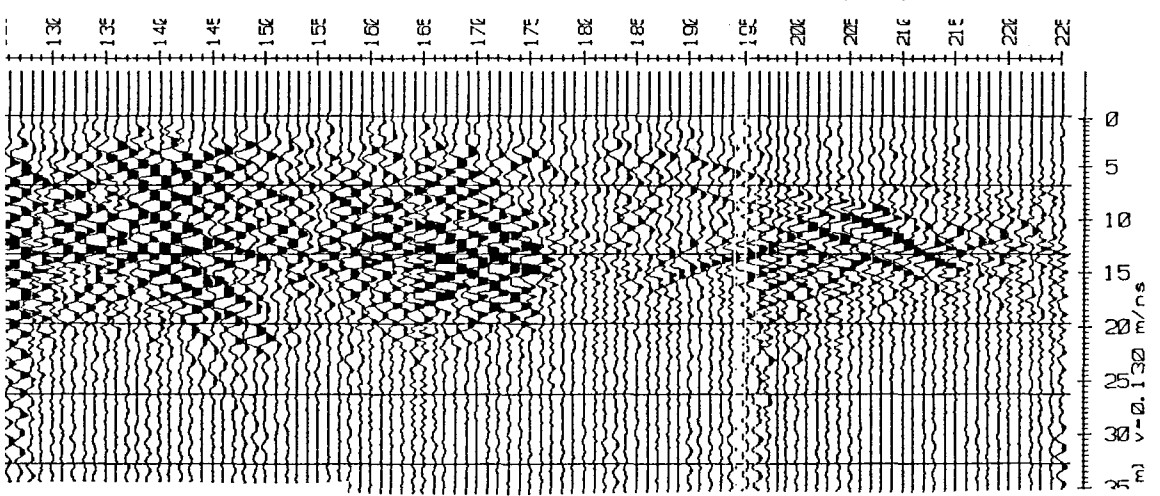
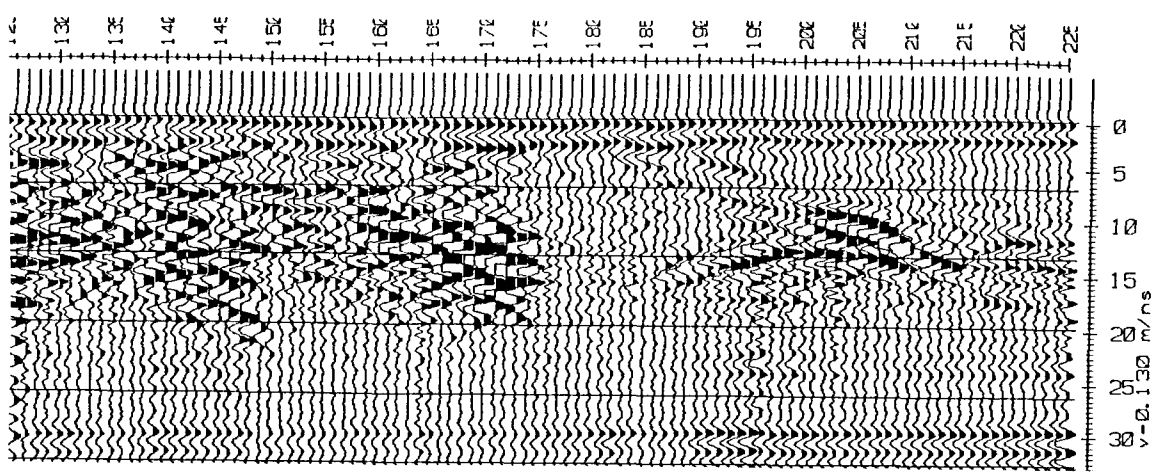
GEORADAR PROFIL 2, PULSERVIK



Trace difference

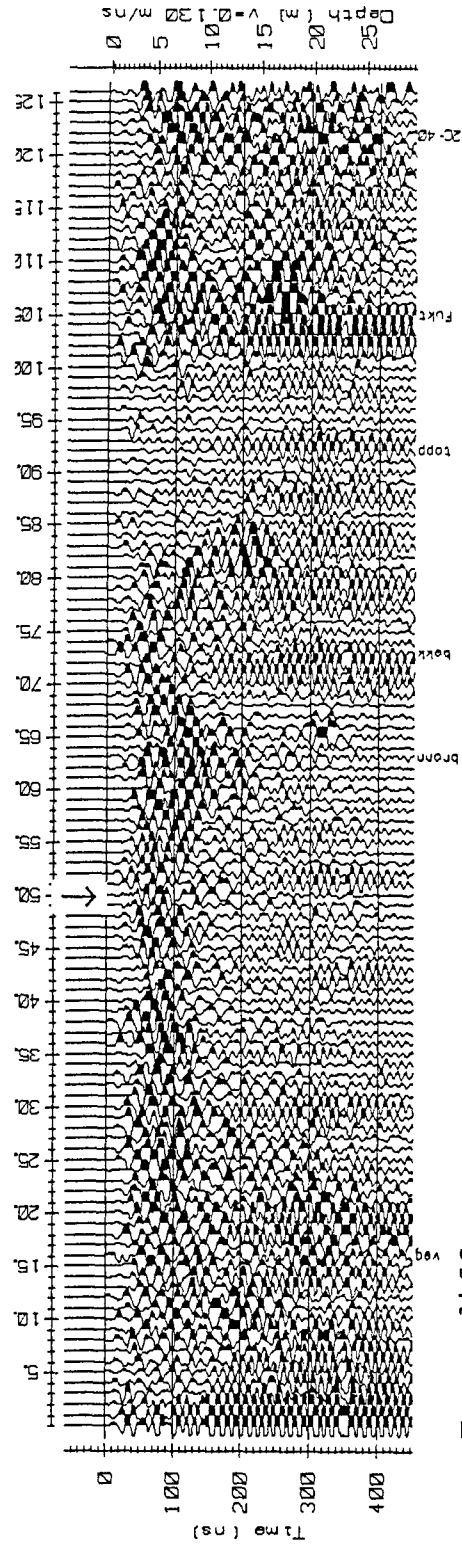
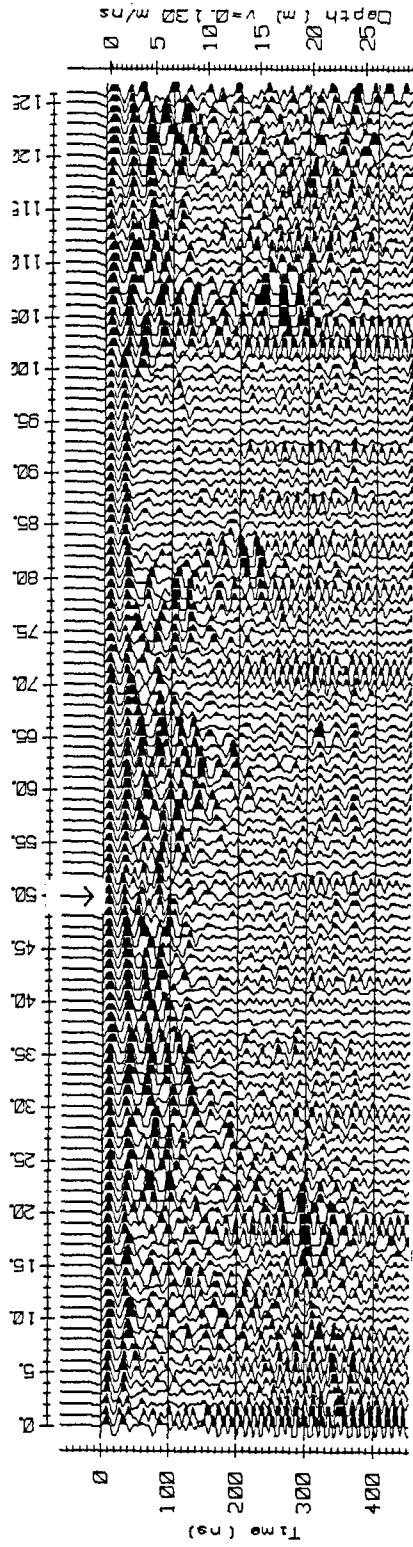
↓ = sprekkje i dagen

PROFIL 2, forts.



Trace difference

GEORADAR PROFIL 3, PULSERVIK



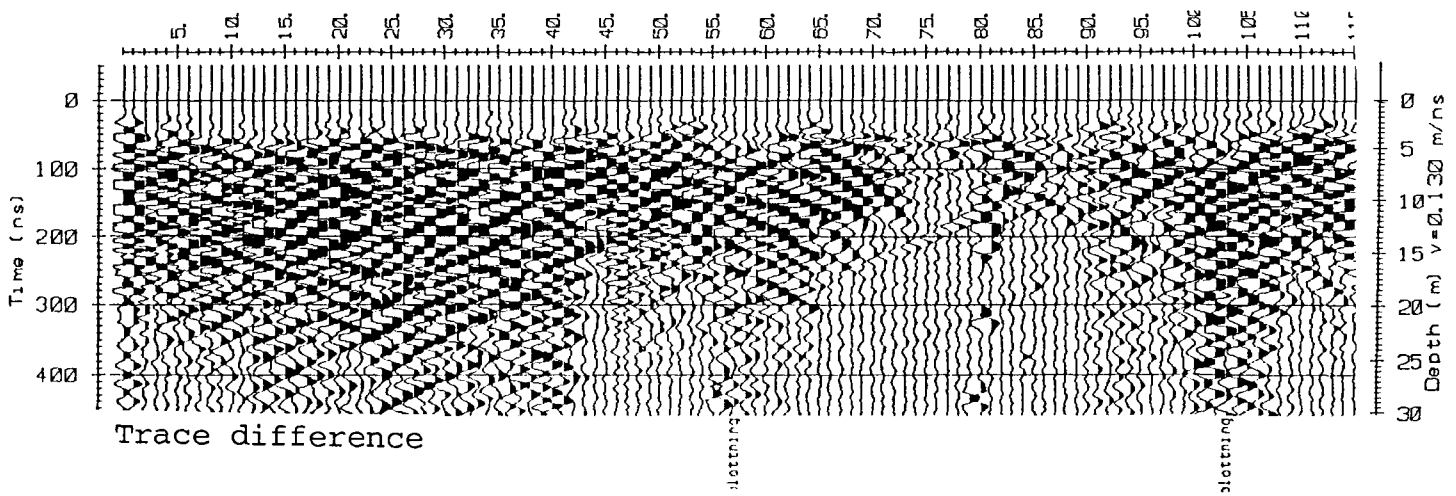
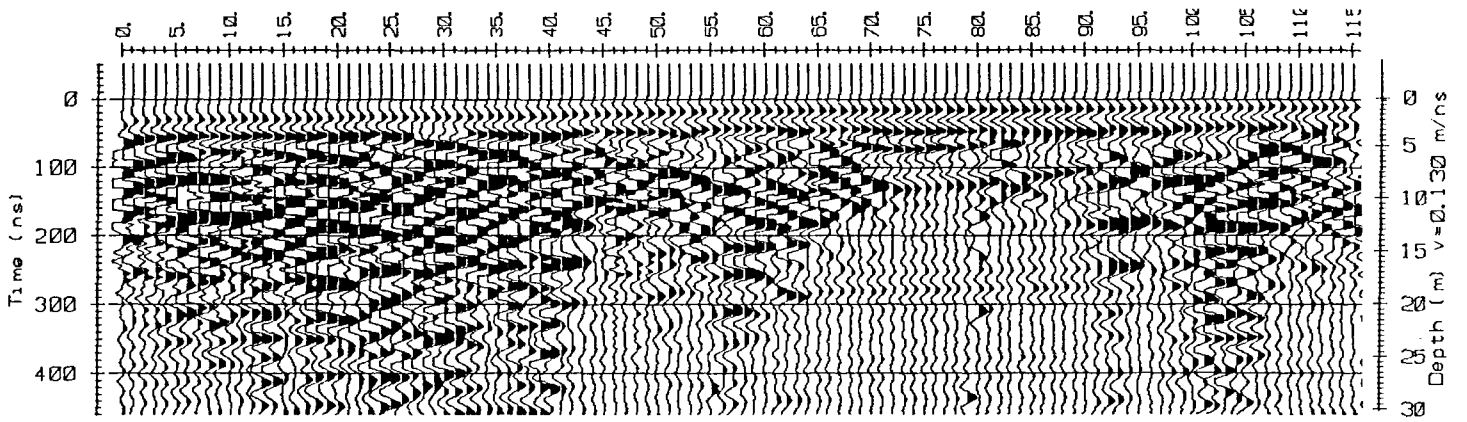
Trace difference

↓ = sprekke i dagen

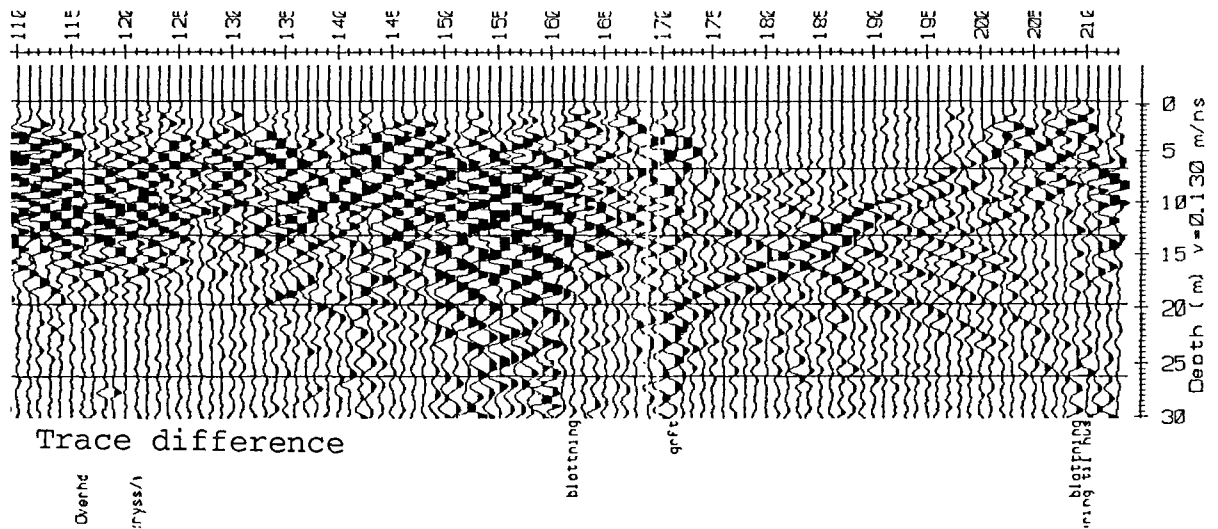
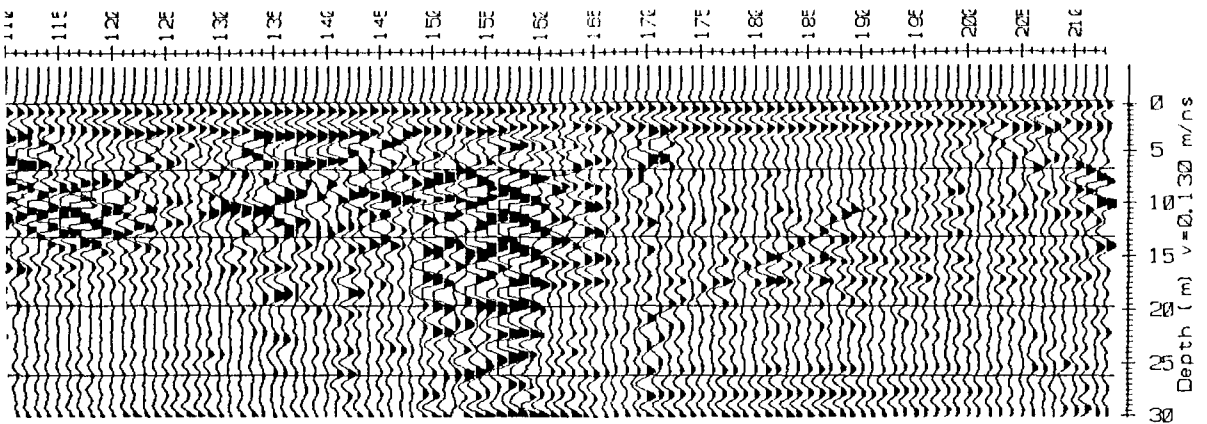
Fig.3

GEORADAR PROFIL 4, UTENGEN

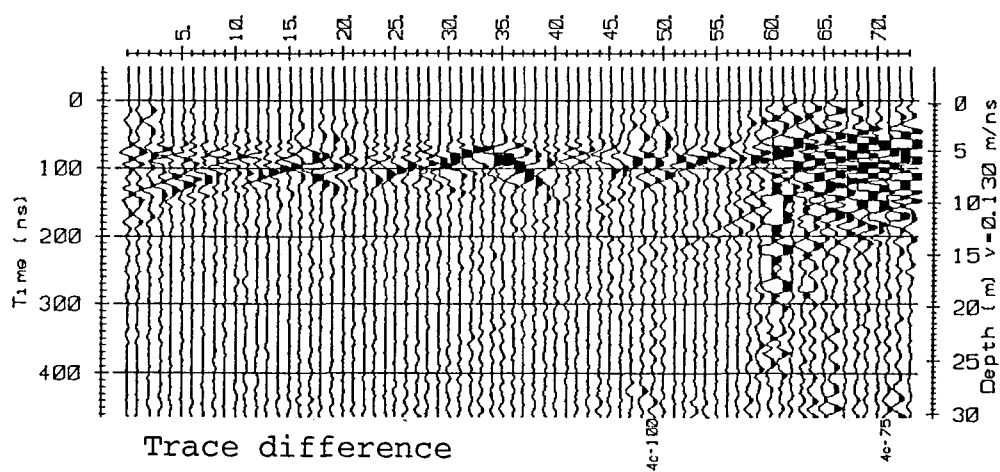
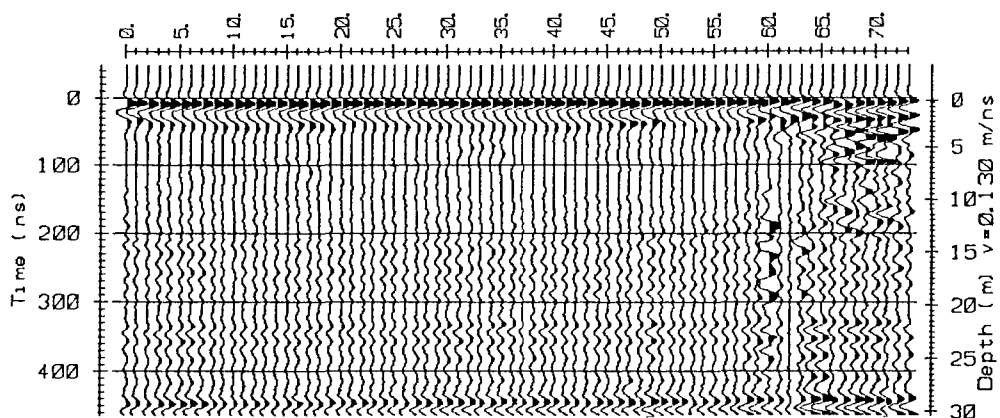
Fig. 4



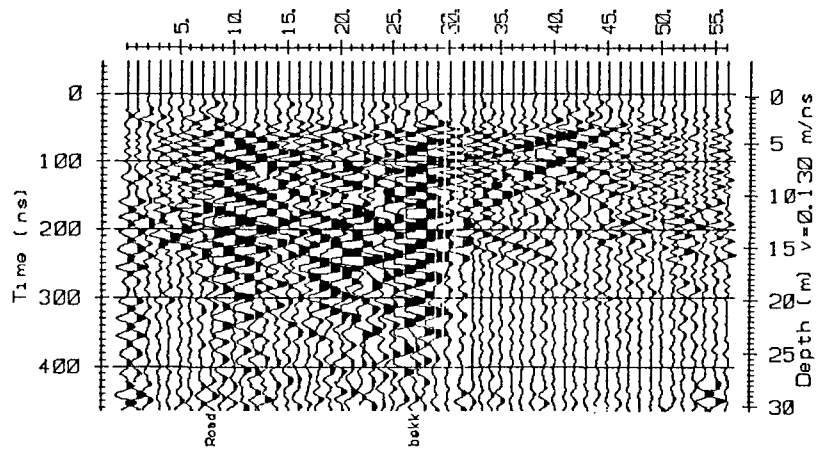
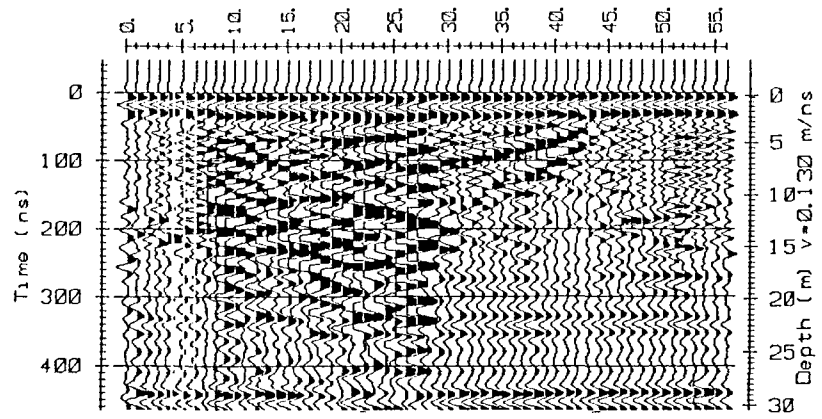
PROFIL 4, forts.



GEORADAR PROFIL 5, UTENGEN



GEORADAR PROFIL 6, UTENGEN



Trace difference

Fig. 7

GEORADAR PROFIL 7, DAMMYR

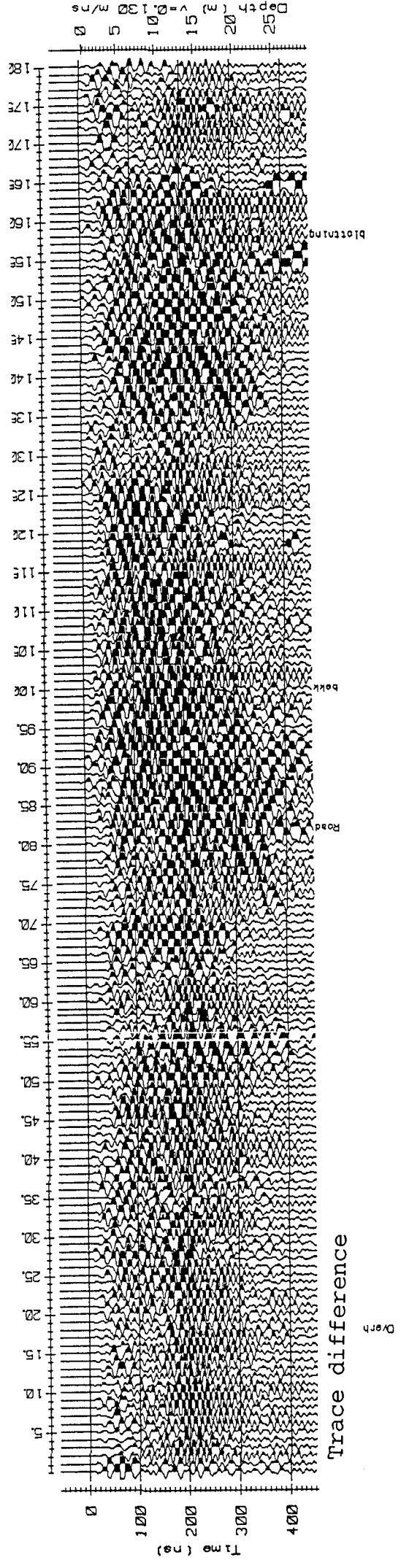
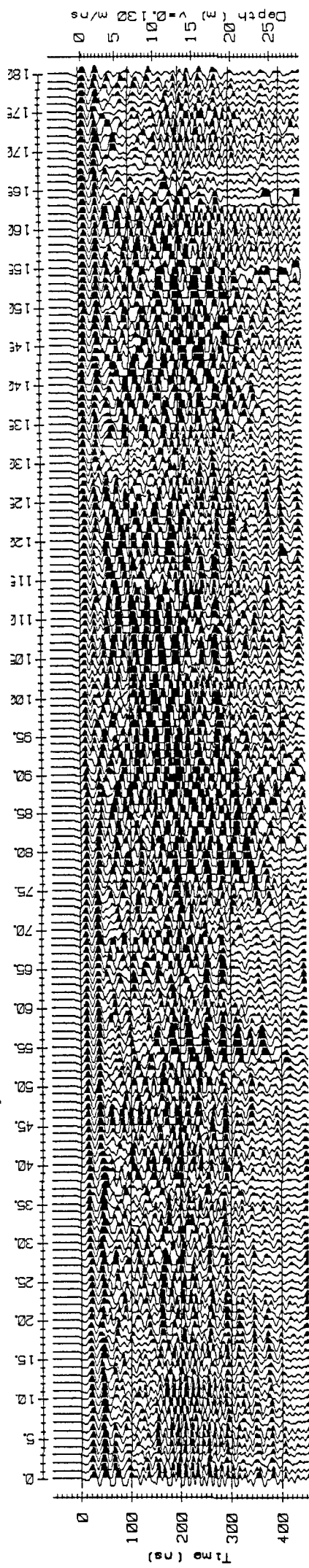
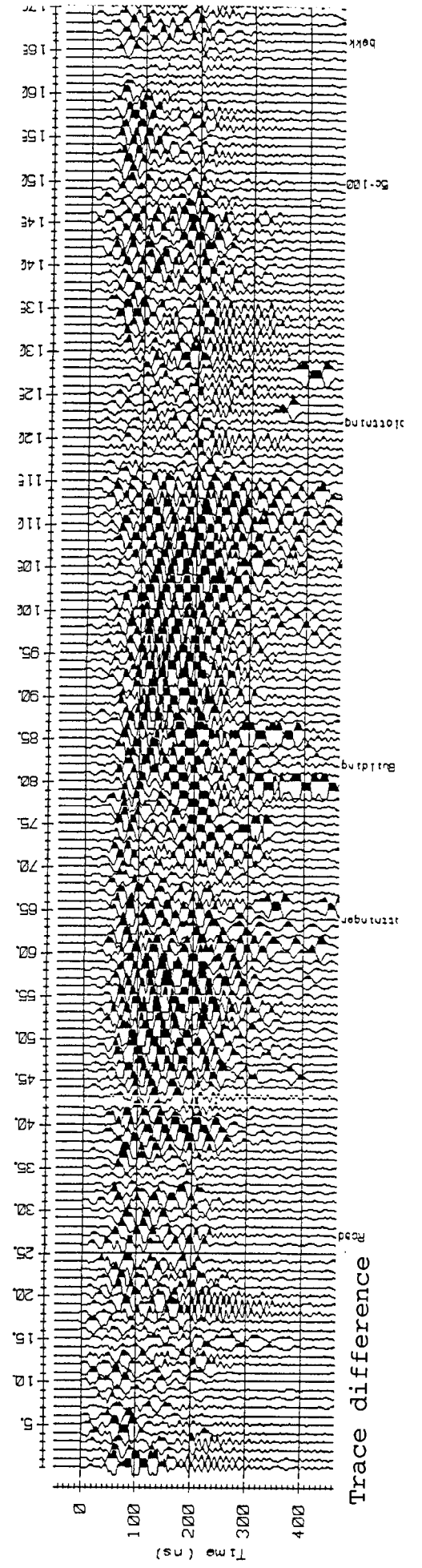
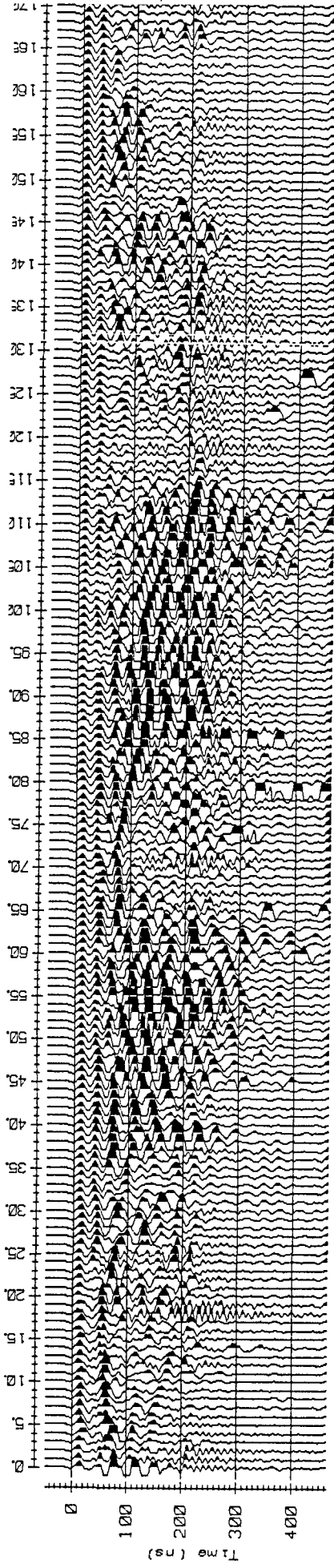
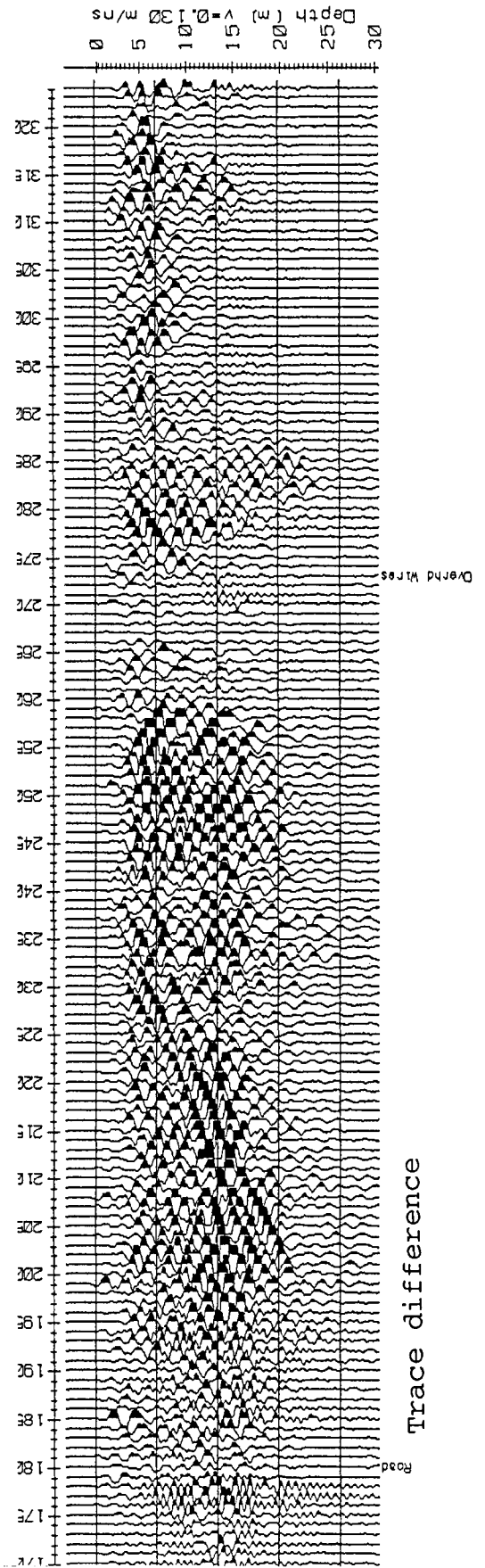
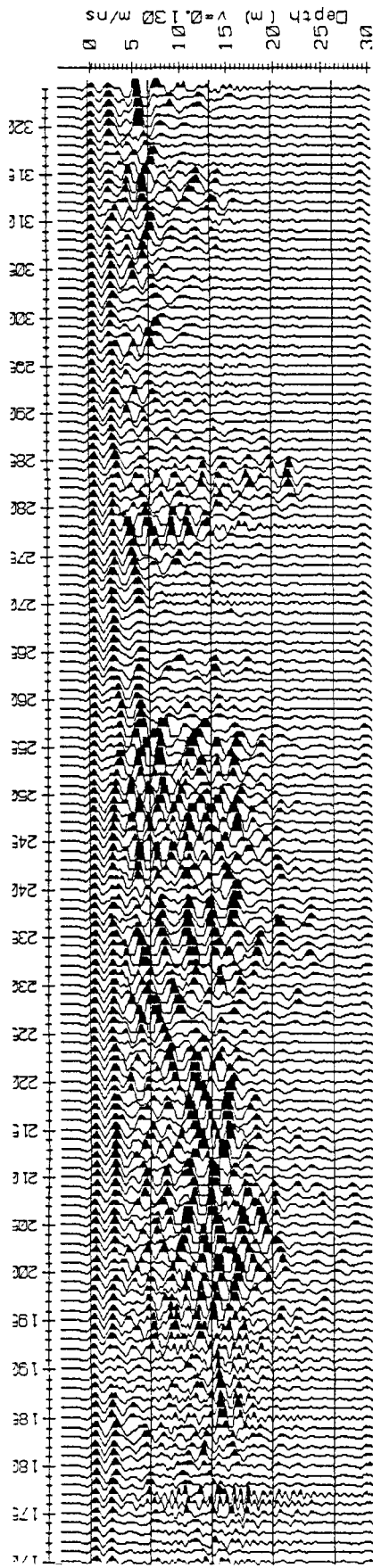


Fig. 8a

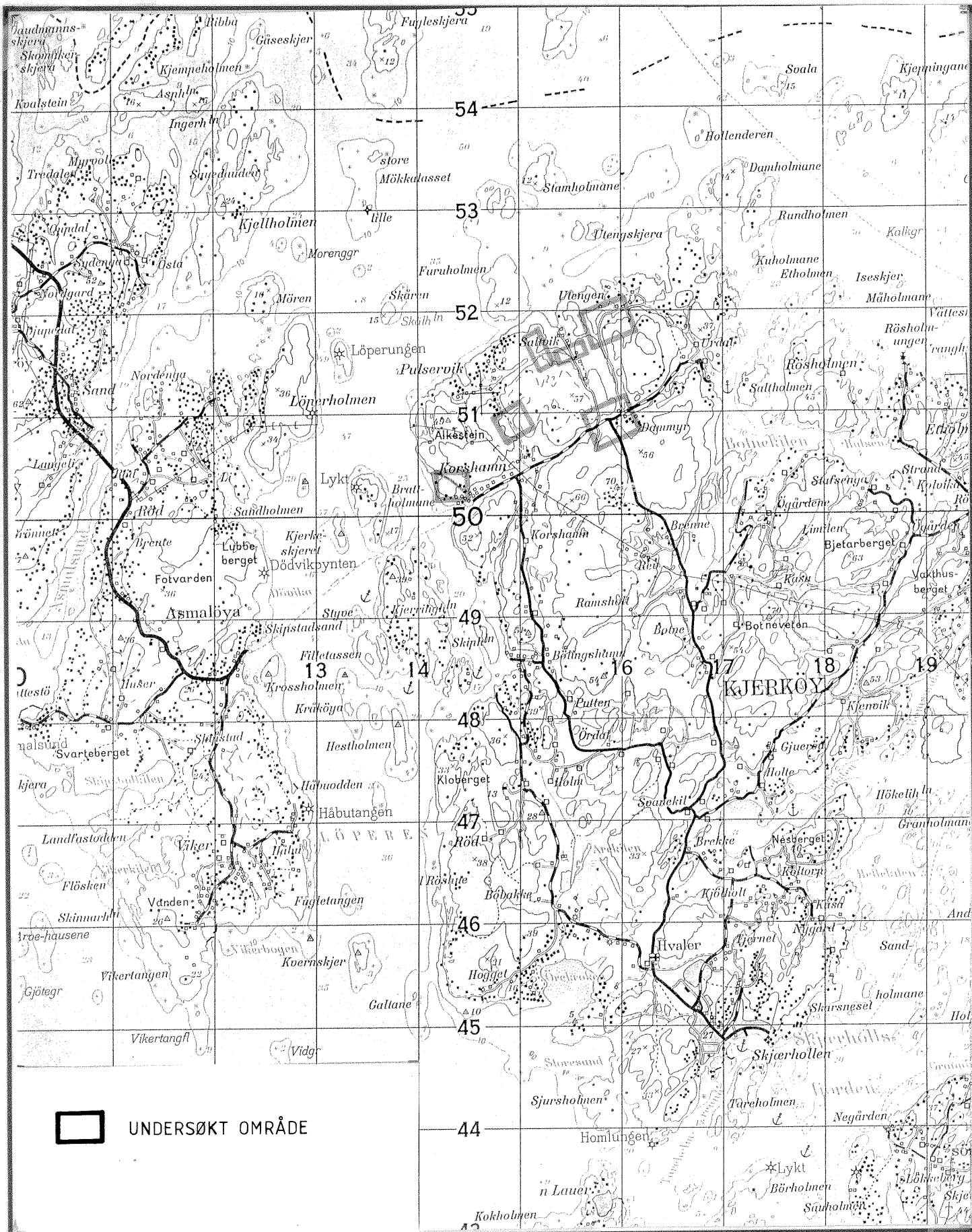
GEORADAR PROFIL 8, DAMMYR



GEORADAR PROFIL 8, DAMMYR (forts.)



Trace difference



UNDERSØKT OMRÅDE

NGU
 OVERSIKTSKART
 KJERKØY
 HVALER, ØSTFOLD

MÅLESTOKK

1 : 50 000

MÅLT

TEGN

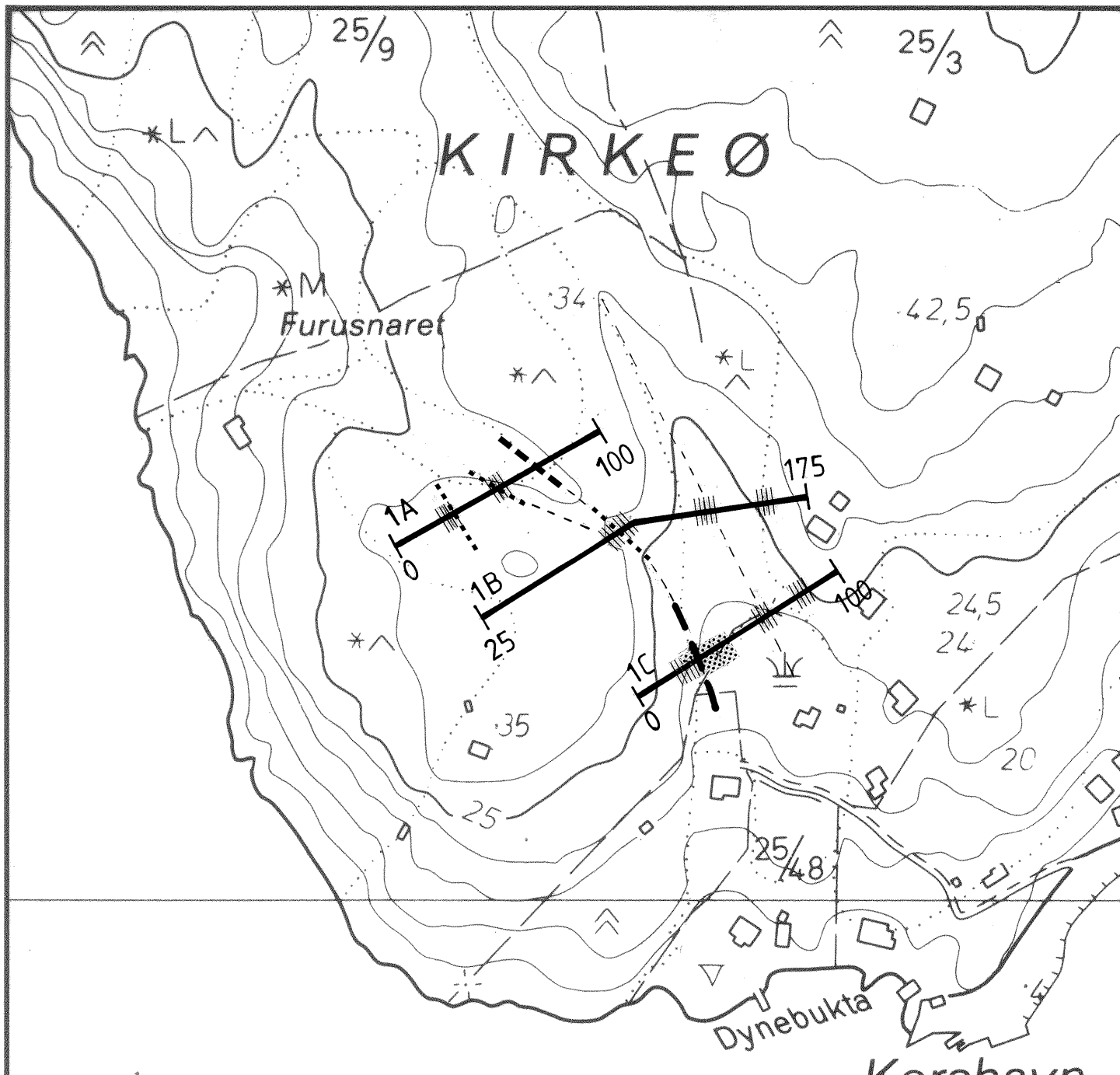
TRAC

KFR.







NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

TEGNING NR.
 92.173 - 01

KARTBLAD NR.
 1913 III



TEGNFORKLARING

-  MÅLT PROFIL
-  MEGET SVAK VLF-ANOMALI ($\leq 5^\circ$)
-  SVAK VLF-ANOMALI ($5^\circ - 10^\circ$)
-  MODERAT VLF-ANOMALI ($\geq 10^\circ$)
-  LAVMAGNETISK OMRÅDE ($\leq 50150 \text{ nT}$)
-  LEDNINGSEVNE-ANOMALI ($\geq 0,6 \text{ mS/m}$)

 INDIKERT SONE

NGU
TOLKNINGSKART
KORSHAVN
HVALER, ØSTFOLD

MÅLESTOKK

1:2500

MÅLT TL-OB

TEGN

TRAC

KFR.

OKT. 1990

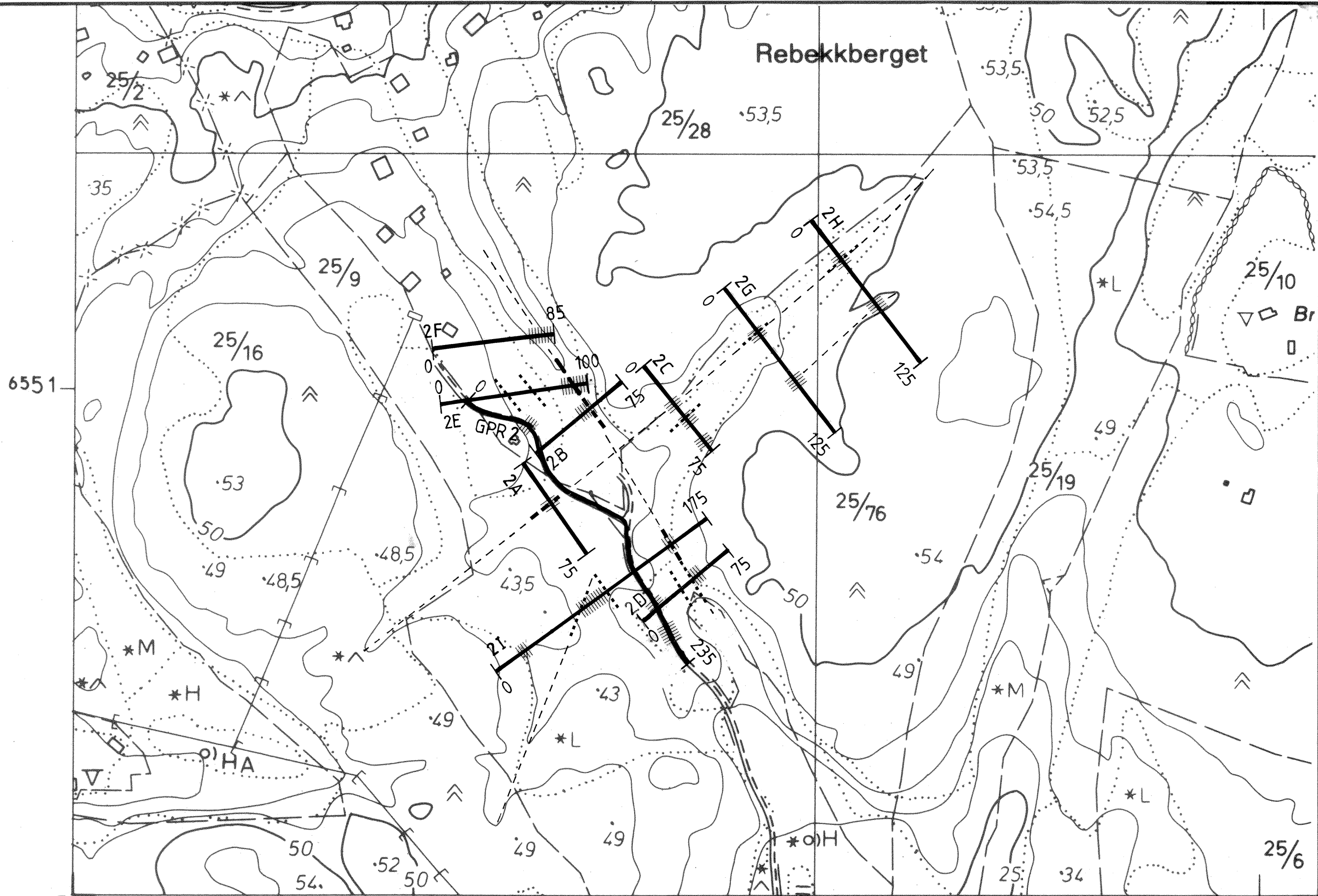
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

TEGNING NR.

92.173 - 02

KARTBLAD NR.

1913 III



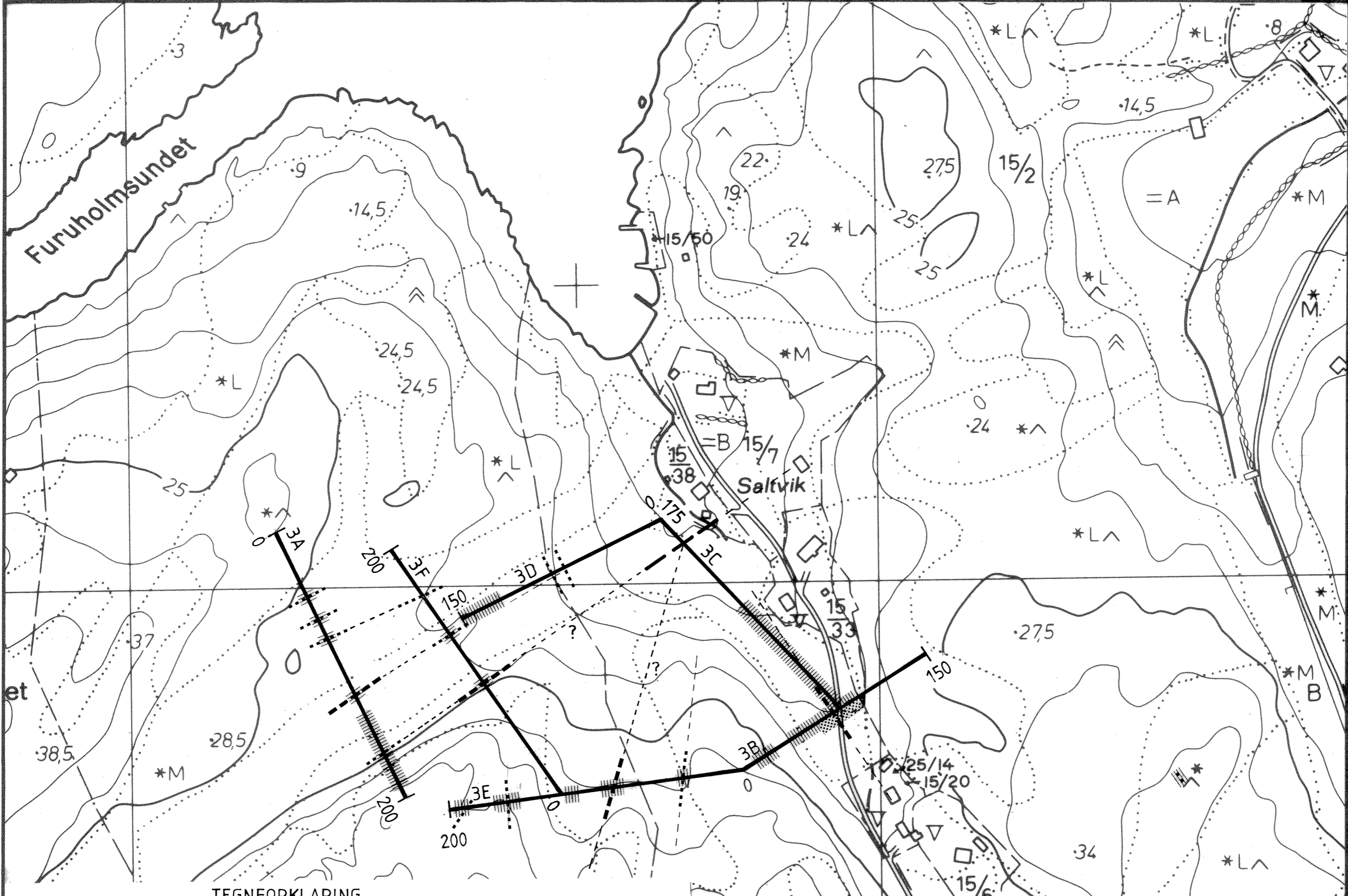
- | | | | |
|--|---|--|---|
| | MÅLT PROFIL | | LAVMAGNETISK OMRÅDE ($\leq 50150\text{nT}$) |
| | MEGET SVAK VLF-ANOMALI ($\leq 5^\circ$) | | INDIKERT SONE |
| | SVAK VLF-ANOMALI ($5-10^\circ$) | | |
| | MODERAT VLF-ANOMALI ($\geq 10^\circ$) | | |

NGU
TOLKNINGSKART
PULSERVIK
HVALER, ØSTFOLD






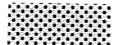
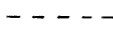
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

MÅLESTOKK 1:2500	MÅLT	
	TEGN	
	TRAC	
	KFR	

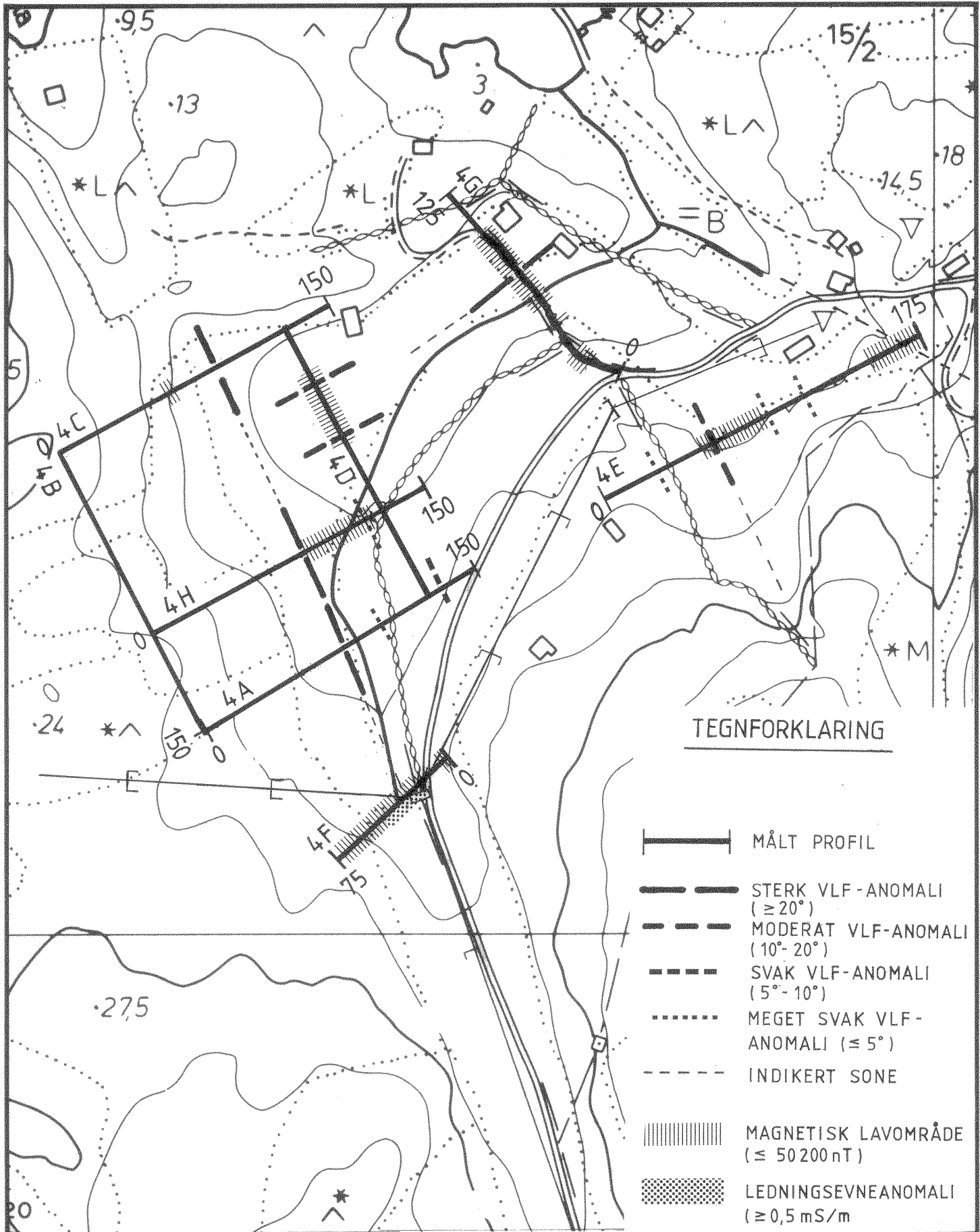
TEGNING NR. 92.173 - 03	KARTBLAD NR. 1913 III
----------------------------	--------------------------



TEGNFORKLARING

-  MÅLT PROFIL
-  MEGET SVAK VLF-ANOMALI ($\leq 5^\circ$)
-  SVAK VLF-ANOMALI ($5^\circ - 10^\circ$)
-  MODERAT VLF-ANOMALI ($\geq 10^\circ$)
-  MAGNETISK LAVOMRÅDE ($\leq 50 \text{ } 150 \text{ nT}$)
-  LEDNINGSEVNE - ANOMALI ($\geq 0,6 \text{ mS/m}$)
-  INDIKERT SONE

NGU TOLKNINGSKART SALTVIK HVALER, ØSTFOLD	MÅLESTOKK	MÅLT	
	1:2500	TEGN	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD NR.	
	92.173 - 04	1913 III	



TEGNFORKLARING

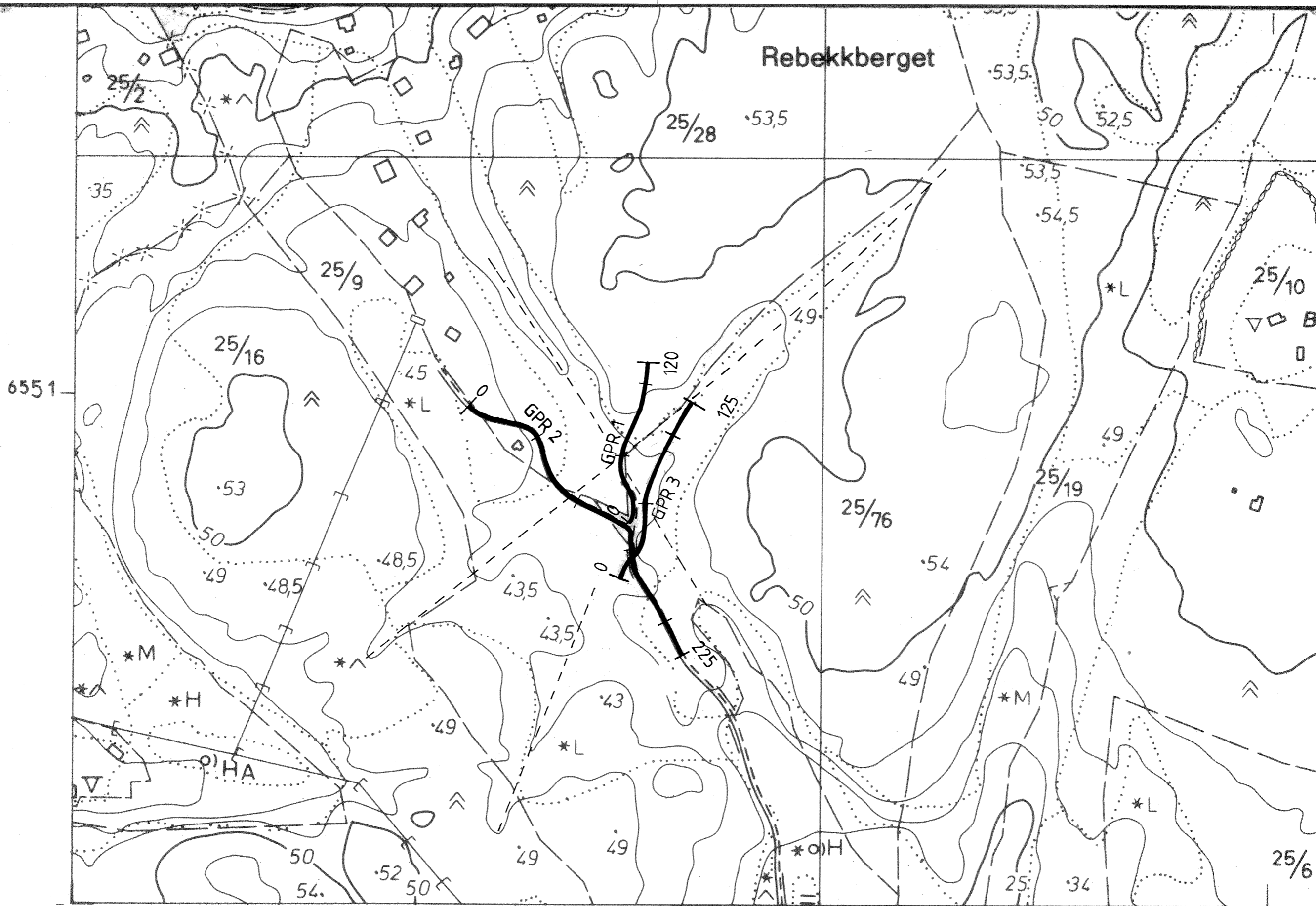
- MÅLT PROFIL
- STERK VLF-ANOMALI ($\geq 20^\circ$)
- MODERAT VLF-ANOMALI ($10^\circ - 20^\circ$)
- SVAK VLF-ANOMALI ($5^\circ - 10^\circ$)
- MEGET SVAK VLF-ANOMALI ($\leq 5^\circ$)
- INDIKERT SONE
- MAGNETISK LAVOMRÅDE ($\leq 50\ 200\text{ nT}$)
- LEDNINGSEVNEANOMALI ($\geq 0,5\text{ mS/m}$)

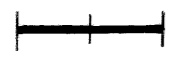
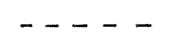
NGU
 TOLKNINGSKART
 UTENGEN
 HVALER, ØSTFOLD

MÅLESTOKK 1: 2500	MÅLT	
	TEGN	
	TRAC	
	KFR.	

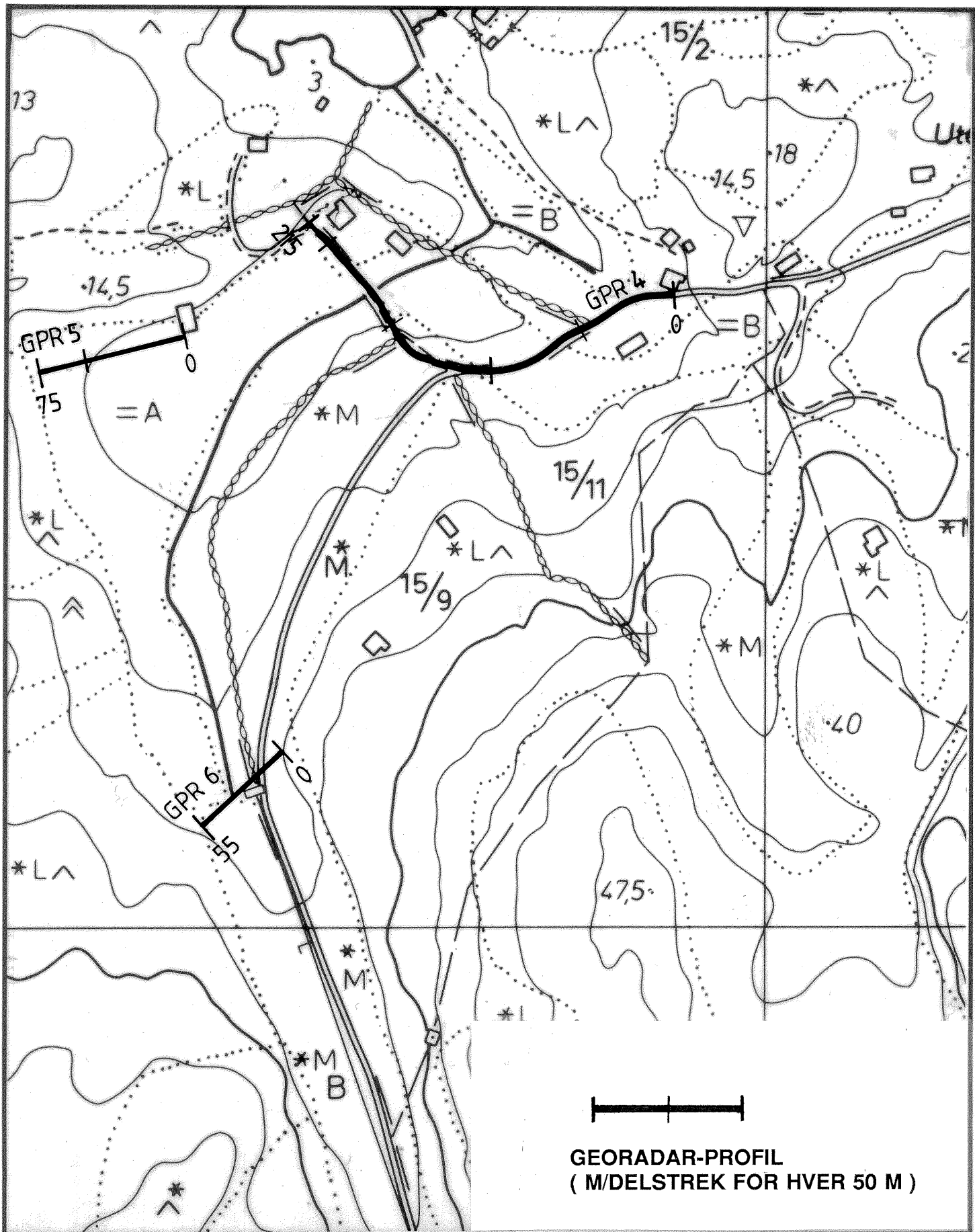
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

TEGNING NR. 92.173 - 05	KARTBLAD NR. 1913 III
----------------------------	--------------------------



 GEORADAR - PROFIL (M/DELSTREK FOR HVER 50 M)
 INDIKERT SPREKKESONE

NGU GEORADAR - PROFILER PULSERVIK HVALER, ØSTFOLD	MÅLESTOKK	MÅLT	
	1:2500	TEGN	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD NR.	
	92.173 - 07	1913 III	



GEORADAR-PROFIL
(M/DELSTREK FOR HVER 50 M)

NGU
GEORADAR - PROFILER
UTENGEN
HVALER, ØSTFOLD.

MÅLESTOKK

1 : 2500

MÅLT

TEGN

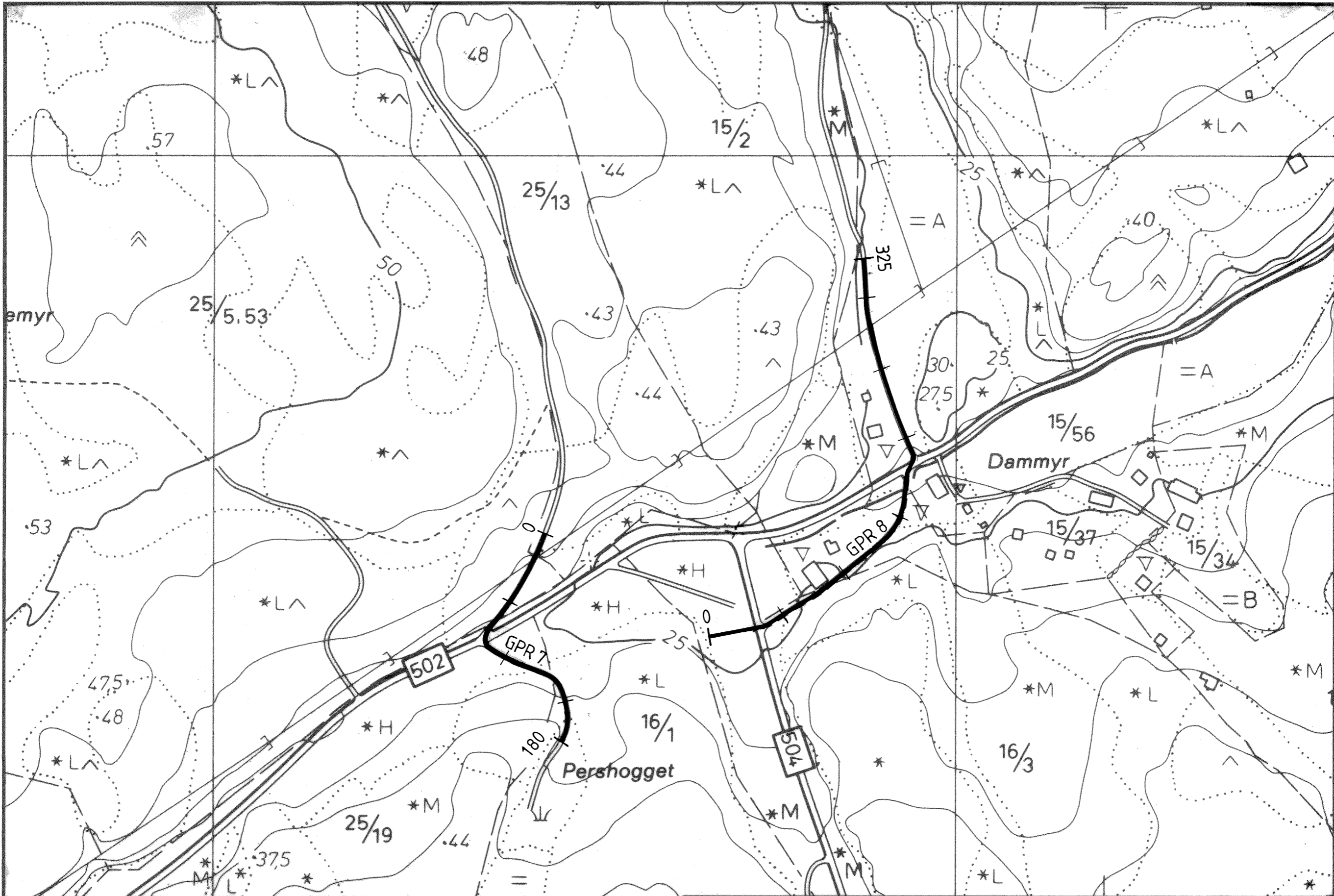
TRAC


KFR.

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

TEGNING NR.
92.173-08

KARTBLAD NR.
1913 III



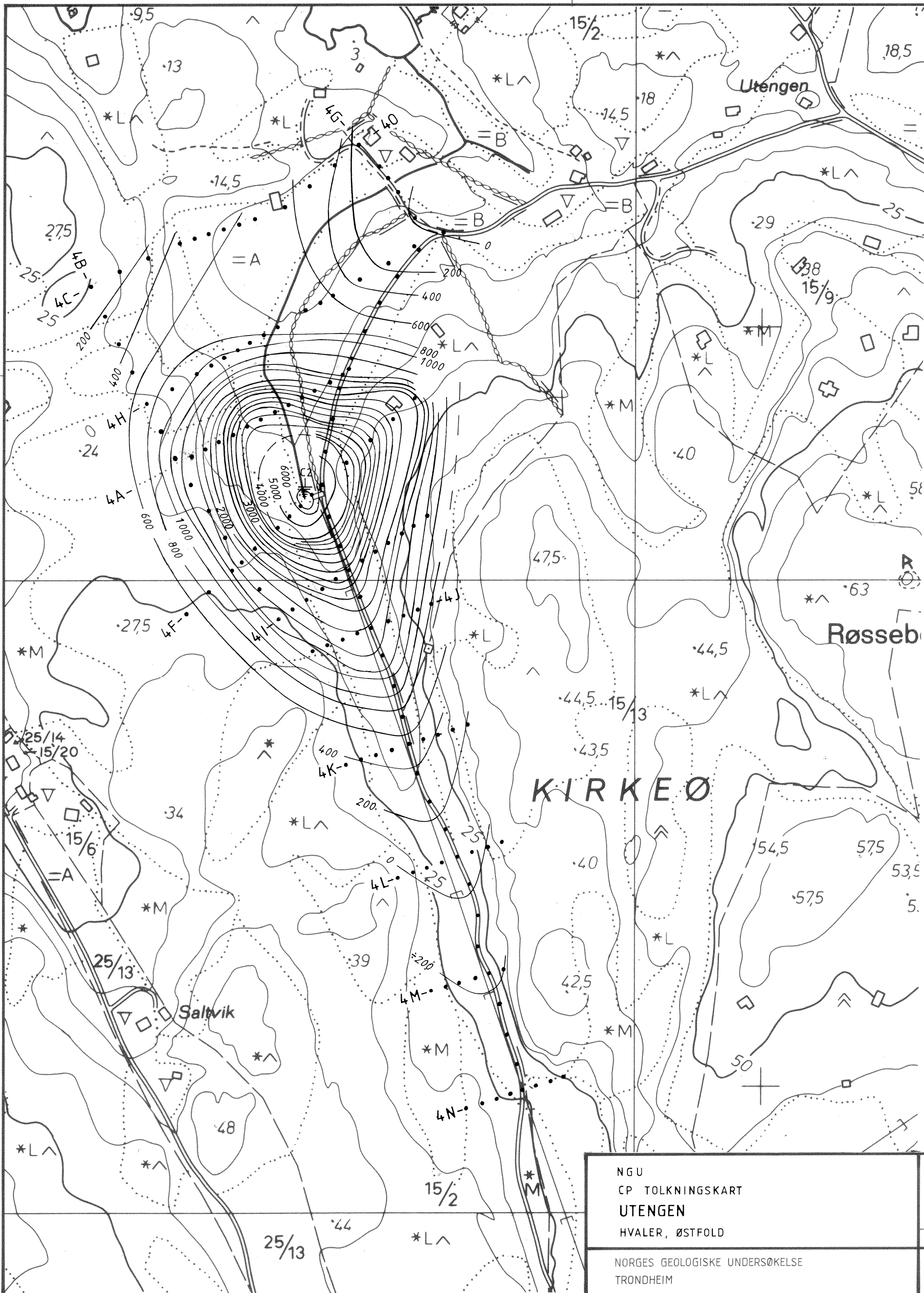

 GEORADAR - PROFIL (M / DELSTREK FOR HVER 50 M)

NGU
 GEORADAR - PROFILER
DAMMYR
 HVALER, ØSTFOLD

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK 1 : 2500	MÅLT	
	TEGN	
	TRAC	
	KFR	

TEGNING NR. 92.173-09	KARTBLAD NR. 1913 III
--------------------------	--------------------------



TEGNFORKLARING

- MÅLEPUNKT CP
- 200- EKVIPOTENSIALLINJE
- ⊥ STRØMELEKTRODE

NGU CP TOLKNINGSKART UTENGEN HVALER, ØSTFOLD	MÅLESTOKK	MÅLT	
	1:2500	TEGN	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR	KARTBLAD NR.	
	92.173 - 10	1913 III	