

60

Pyssens Vanger

Tungstad fruhe

gehr, unsi

4326

**BERGVESENET**

MED BERGMESTEREN FOR SVALBARD

Postboks 3021, N-7441 Trondheim

Rapportarkivet 2001

Bergvesenet rapport nr BV BV 4326	Intern Journal nr Kasse 51	Gammelt internt rapp. nr.	Rapport lokalisering Trondheim	Gradering
Kommer fra ..arkiv	Ekstern rapport nr	Oversendt fra Tverrfjellet	Fortrolig pga	Fortrolig fra dato:

Tittel
Oppfølging av bekkesedimentanomalier og indikasjoner på malm i området omkring Tingstad grube SØ for Levanger.

Forfatter Wangen, Øystein	Dato År 15/1 1975	Bedrift
-------------------------------------	------------------------------------	----------------

Kommune Levanger	Fylke Nord-Trøndelag	Bergdistrikt	1: 50 000 kartblad 17223	1: 250 000 kartblad
----------------------------	--------------------------------	---------------------	------------------------------------	----------------------------

Fagområde Geologi Geofysikk Geokjemi	Dokument type	Forekomster Tingstad
Råstoffgruppe Malm/metall	Råstofftype Cu Zn	

Sammendrag / innholdsfortegnelse

60

OPPFØLGING AV BEKKESEDIMENTANOMALIER OG INDIKASJONER PÅ
MALM I OMRÅDET OMKRING TINGSTAD GRUBE SØ FOR LEVANGER.

På bakgrunn av geologisk kartlegging, geofysiske målinger og geokjemiske undersøkelser skal det utarbeides en økonomisk vurdering av feltet med eventuelle forslag til videre undersøkelser.

ERKLÆRING

Jeg erklærer herved på ære og samvittighet at jeg har utført dette eksamensarbeid selv og uten noen ulovlig hjelp.

NTH, den 15. januar 1975

Øystein Wangen

INNHOLDSFORTEGNELSE

OPPGAVETEKST	1
ERKLÆRING	2
INNHOLDSFORTEGNELSE	3
FORORD	5
INNLEDNING	8
GENERELL BESKRIVELSE AV FELTET	10
KARTGRUNNLAG/FLYFOTO	13
TIDLIGERE ARBEID I FELTET	14
DISKUSJON AV BEKKESEDIMENTANOMALIER PÅVIST AV NGU	20
 I GEOLOGI	 23
(1) Innledning	23
(2) Bergartene	25
(a) Garbenskiifer	25
(b) Amfibolitt	25
(c) Oligomikt konglomerat	27
(d) Hornblende - metadioritt	29
(3) Strukturgeologi	29
(4) Geologiske forhold ved Tingstad Gruve	32
(a) Bergartene rundt mineraliseringen	32
(b) Mineraliseringens forhold til folde- strukturene	34
 II GEOFYSIKK	 38
(1) Innledning	38
(2) VLF	39
(a) Det primære VLF-feltet	39
(b) Det sekundære VLF-feltet.	43
(c) Størrelsene som måles med Pauslens VLF-mottaker	44
(d) Måleopplegget	47
(e) Behandling av data fra VLF-målingene	48
(f) VLF-målingene ved Tingstad Gruve	49
(g) Diskusjon av måleresultatene-Tingstad	50
(h) Diskusjon av måleresultatene-Slåtsveet	51
(3) Selvpotensialmålingene	52
(a) Prinsipp	52
(b) Måleutstyr	53
(c) Feltprosedyre	54
(d) Behandling av data fra SP-målingene	55
(e) Diskusjon av SP-kurvene-Tingstad	56
(f) Diskusjon av måleresultatet-Slåtsveet	57

(4)	Måling av tilsynelatende spesifikk motstand	57
(a)	Hensikten med målingene	57
(b)	Prinsipp	58
(c)	Måleopplegg	62
(d)	Behandling av data	63
(e)	Diskusjon av måleresultatene-Tingstad	63
(f)	Diskusjon av måleresultatene-Slåtsveet	64
(5)	Konklusjon	64
III	GEOKJEMI	66
(1)	Jordprøvetaking	66
(a)	Utvelging av område for jordprøvetaking	66
(b)	Opplegget for prøveinnsamlingen	67
(c)	Prøvetakingen	68
(d)	Preparering og analyse av prøvene	69
(e)	Behandling av datamaterialet	71
(f)	Diskusjon av den geokjemiske disper- sjonen øst for Slåtsveet	73
(g)	Diskusjon av den geokjemiske disper- sjonen langs profil 500 Y vest for Tingstad Gruve	76
	ØKONOMISK VURDERING AV FELTET	77
	FORSLAG TIL VIDERE UNDERSØKELSER	79
	LITTERATURLISTE	81
	Tabell 1	27
	Tabell 2	73
	Tabell 3	74

FORORD.

Arbeidet ble utført i tidsrommet 15. august 1974 til 15. januar 1975. I denne perioden ble det en del nødvendige opphold i arbeidet med oppgaven. Dette skjedde i forståelse med professor F.M. Vokes.

Den effektive arbeidstiden fordelte seg omtrent slik:

1 uke forberedende arbeid med anskaffelse av utstyr, kart og litteratur, kart- og flyfotostudier og rekognosering i feltet.

5 uker feltarbeid med geologisk kartlegging inkludert detaljkartlegging i Tingstad Gruve, ca. 20 km (ca. 1500 målinger) med VLF, ca. 6 km (ca. 600 målinger) med selvpotensial (SP) og to profiler med motstandsmåling (RP) samt innsamling av vel 200 jordprøver.

2 uker tørking, sikting innveining, oppløsning og analyse av jordprøvene.

1 uke geologisk lab.arbeid; Mikroskopering av 20 tynnslip og 7 polerslip, 10 modalanalyser, nedknusing av bergartsprøver for røntgenanalyse, utført analyse osv.

3 uker behandling av data, tegning, og tracing av bilag og skisser, fotografering, litteraturstudier.

4 uker skrivning og redigering.

Netto arbeidstid blir da ca. 16 uker. Av dette gikk ca. 2½ uke med til å utføre arbeid som ifølge oppgaveteksten skulle gjøres av andre;

Jordprøvene skulle ifølge oppgaveteksten analyseres av Follidal Verk A/S. Undertegnede valgte imidlertid å gjøre dette selv, dels for å få noe mer innsikt i analytisk arbeid enn det studiet ved NTH har gitt, dels fordi analysene da kunne gjøres ved atomabsorpsjon (AAS) mens Follidal Verk A/S ville brukt røntgenspektralanalyse. Sistnevnte analysemetode gir som kjent prøvens totale innhold av det aktuelle elementet, mens en ved AAS kan finne det som er bundet i

syreløselige forbindelser uten å få med det silikatiske, som er uinteressant i denne sammenheng. Dette arbeidet tok ca. 2 uker.

På grunn av årstiden med skolegang osv. var det bare mulig å få assistent i vel to uker. Dette, sammen med forsinket levering av VLF-mottakeren, førte til at undertegnede måtte gjøre vel halvparten av VLF-målingene.

Oppgaven er bl.a. en oppfølging av bekkesedimentanomalier som Kjemisk avdeling, NGU har utført gjennom et oppdrag for Folldal Verk A/S som takkes for økonomisk støtte under feltarbeidet og for å ha stilt geofysisk utstyr og redskap til geokjemisk prøvetaking til disposisjon.

Ansatte ved NGU har som vanlig vist stor velvilje. Ved Kjemisk avdeling fikk jeg utføre all preparering av de geokjemiske prøvene, og mottok i den forbindelse veiledning og hjelp fra flere av de ansatte. De regionalgeologiske forhold i området ble diskutert med statsgeolog Fr. Chr. Wolff som hadde mange interessante opplysninger å gi. En takk til alle NGU-ansatte som bistod med sine kunnskaper.

Ved Geologisk Institutt, NTH, gav professor F.M. Vokes gode råd om arbeidsopplegg og deltok i diskusjoner omkring malmgeologiske emner. Laborant I. Rømme gav hjelp og veiledning under analysearbeidet med jordprøvene, og laborant A. Hov utførte DTA-analyser i forbindelse med mine modalanalyser. Preparantene Frøseth og Isachsen laget poler- og tynnslip hurtig og greit. En takk til alle disse, og til medstudentene og andre ved instituttet som har bidratt med hjelp og diskusjoner.

Min trivelige og hjelpsomme assistent Morten Skaland takkes for godt selskap og fin innsats, likeså Eilif Carstens som en kald oktoberdag var med og hjalp til med RP-målingene.

Lic.techn. Ole B. Lile har vært til stor hjelp gjennom hele arbeidet. Han skaffet måleapparat, gav råd og vink om måle-

opplegg og deltok entusiastisk i mange diskusjoner om geofysiske og geokjemiske emner og problemer. En stor takk til ham for all hjelp.

Til slutt en takk til Britt Grønning som besørget maskinskrivningen på en hurtig og profesjonell måte.

INNLEDNING.

Oppgavens tittel "Oppfølging av bekkesediment-anomalier og indikasjoner på malm i området omkring Tingstad Gruve" innebærer at det ikke er definert noen fast geografisk avgrensning. Undertegnede fant det derfor naturlig å la de påviste bekkesedimentanomaliene danne utgangspunktet når feltets utstrekning skulle fastlegges. Tankegangen var følgende:

- 1) Malmen som det en gang var drift på i Tingstad Gruve er en kobber-sinkmalm. Utenom disse metallene er det bare jern som forekommer sulfidisk (Gust og Hovland 1967).
- 2) Fra og med Littlelva (like øst for gruva) og ca. 3 km østover viser bekkesediment-analysene til dels meget høge kobber- og sinkverdier. Disse anomaliene skiller seg ut fra de en har i områdene omkring, da disse også viser høge verdier av bly og nikkel.

En har med andre ord et sekundært geokjemisk mønster som innen et visst område viser stor kjemisk likhet med en kjent mineralisering. Dermed skulle det være dekning for å antyde at de høge kopper- og sinkverdiene i bekkesedimentene helt eller delvis kan stamme fra mineraliseringer av denne type.

Ut fra dette resonnement ble dreneringsområdet for bekkene som viser slike anomalier, valgt som objekt for undersøkelsene.

"Indikasjoner på malm" omfatter selvfølgelig Tingstad Gruve. En nærmere undersøkelse i gruveområdet måtte derfor bli prioritert høgt. En tykk rustutfylling i en myr NØ for Tingstad gård som ble funnet under en rask befaring sammen med Johann G. Heim og Ole B. Lile på forsommeren, kan i det minste kalles en sulfidindikasjon, og burde derfor fortjene en forklaring - noe som også vil bli gitt senere i teksten.

Videre heter det i oppgaven, at det skal utarbeides "en økonomisk vurdering av feltet med eventuelle forslag til videre undersøkelser".

Betydningen av uttrykket "økonomisk vurdering" ble ganske tidlig diskutert med professor F.M. Vokes. Han kunne bekrefte at uttrykket i denne sammenheng innebar at mitt arbeid i feltet

skulle legges opp med henblikk på å avgjøre hvorvidt det er interessant som malmletingsområde.

Dette har jeg funnet naturlig å gjøre gjennom

- 1) I størst mulig grad å påvise årsaken(e) til det høge Cu-Zn-innholdet i bekkesedimentprøvene. Jeg har her forsøkt å holde øynene åpne for så vel geologiske som ikke geologiske årsaker.
- 2) Så langt tid og evner strekker til å klarlegge de viktigste geologiske trekk innen området. Spesiell vekt vil bli lagt på geologien rundt Tingstad Gruve.
- 3) Utføre enklere geofysiske målinger og en del jordprøvetaking i de områder som etter min mening pekte seg ut som interessante etter en første vurdering.

GENERELL BESKRIVELSE AV FELTET.

Feltet ligger ca. 4 km i luftlinje SØ for Levanger sentrum. Det undersøkte området er ca. 2 x 3 km med lengste utstrekning i retning Ø-V. Langåsdammen markerer SV-hjørnet i feltet.

De topografiske forhold er meget varierende, men stort sett uproblematisk. En har flere åser med til dels bratte sider, mens lendet mellom disse for det meste er noenlunde flatt. Minste høyde over havet er ca. 50 m, den største er ca. 300 m.

Områdets lavere deler er i meget stor grad dekt av marine sedimenter. Som det vil framgå av det økonomiske kartverket er en del av dette dyrket mark. Høgere opp er overdekket langt tynnere, men den tette skogbunnen gir likevel en liten blotningsgrad. Skogen er for det meste granskog, men på gamle hogsfelt finnes en del tett lauvskog.

Det går flere bilveger inn i og gjennom feltet. En grei adkomstmåte er langs fylkesveg 125 som tar av mot SØ fra E6 til 1 km S for Levanger sentrum. Denne vegen går forbi Langåsdammen og videre inn i feltet.

Fig. 1 viser feltets beliggenhet på norgeskartet. Fig. 2. viser feltet inntegnet på kartblad 1722-III Levanger, M = 1:50 000.

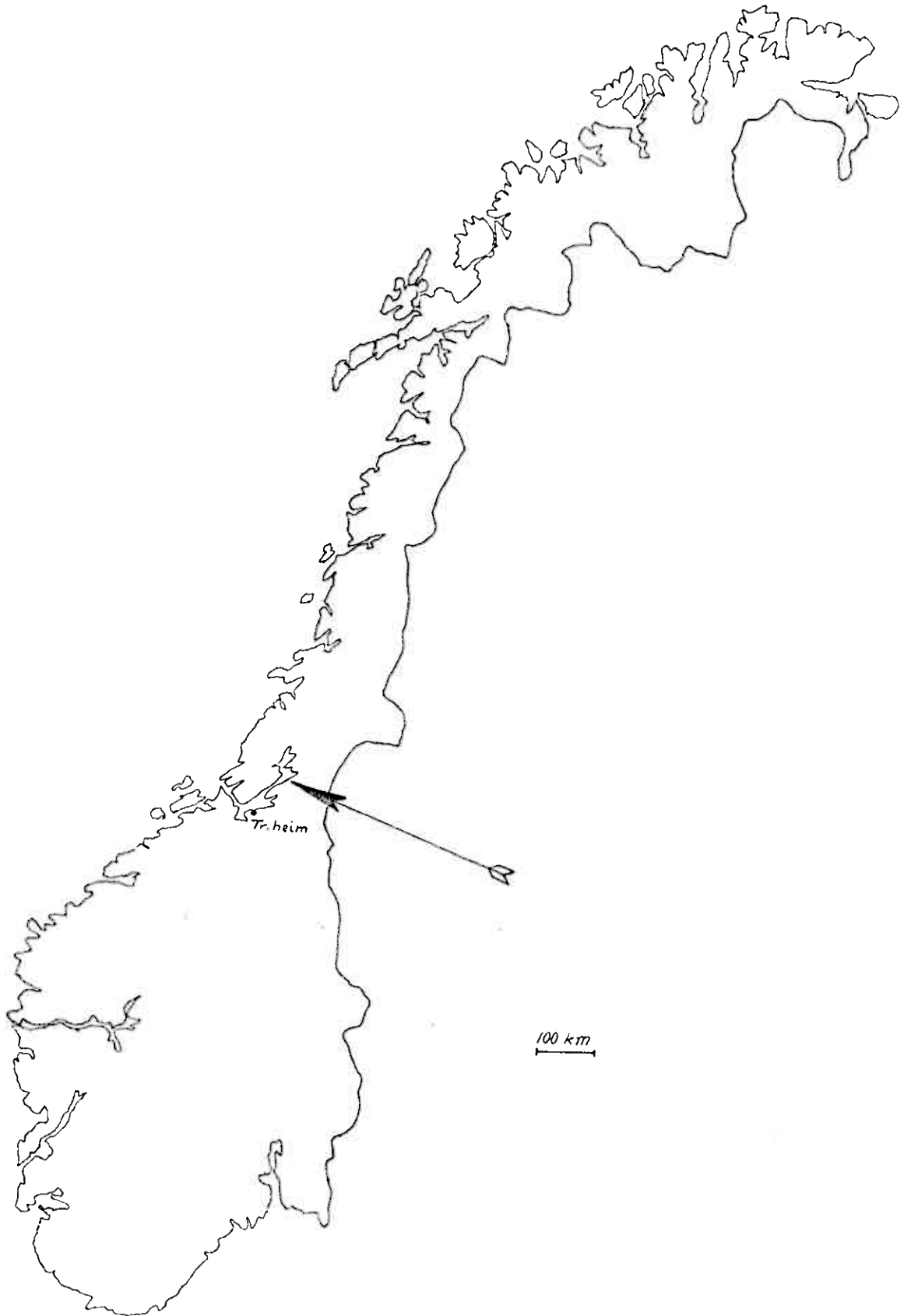


Fig. 1.

Feltets beliggenhet på norgeskartet.



Fig. 2.

Feltets beliggenhet på kartblad 1722-III Levanger
(1:50 000).

KARTGRUNNLAG/FLYFOTO.

Området dekkes av topografisk kart i målestokk 1:50 000 (kartblad 1722-III Levanger) og 1:5 000 (Økonomisk kartverk, kartsblad CS 133/2 Langåsdammen og kartblad CT 133/1 Munkeby. Dessuten finnes flyfoto i målestokk ca. 1:12 500.

Under feltarbeidet ble det økonomiske kartverket benyttet. Topografien er her rimelig godt gjengitt, men påfallende mange detaljer (lyslinjer, gjerder, hus) som er langt eldre enn fotografiene som danner grunnlaget for karttegningen, mangler. Det finnes dessuten bekker som mangler på det økonomiske kartverket, men som er inntegnet på 1:50 000-kartet. Dette er delvis rettet på ved å overføre detaljer fra flyfoto til kartet.

Flybildene ble ellers forsøkt brukt til en rask fotogeologisk tolking av feltet før utarbeidet tok til. Vegetasjonen (for en stor del tett granskog) som ikke endres på bergartsgrensene, og overdekkeforholdene førte imidlertid til at utbyttet ble heller magert.

NGU har under bekkesedimentinnsamlingen brukt topografiske kart i målestokk 1:50 000.

TIDLIGERE ARBEID I FELTET.

Foruten landsomfattende aerogeofysiske målinger utført av Geofysisk avdeling, NGU, er to arbeider av interesse utført i feltet:

- 1) En befaring i Tingstad Gruve og måling av selvpotensial i et område på ca. 200 x 300 m rundt gruva. Dette ble utført av Johan Gust og Roar Hovland, NGU i 1967. Rapporten fra befaringen omfatter ekvipotensialkart, kart (ikke geologisk) over den delen av gruva som ikke er fylt med vann, samt en meget kort beskrivelse av de geologiske forhold med et sterkt forenklet geologisk profil, er å finne i Bergarkivet og har tittelen "Tingstad Gruve".
- 2) Innsamling og analyse av bekkersedimenter i et område på ca. 25 x 40 km innen kartblad 1622 II og 1722 III, utført i 1969 av Kjemisk avdeling, NGU, for Folldal Verk A/S. Prosjektnavnet er Skogn VII. Resultatet er presentert som anomalikart i målestokk 1:50 000, og viser fordelingen av:
 1. Lettløselig kobber (fig. 3).
 2. Syreløselig kobber (fig. 4).
 3. Syreløselig sink (fig. 5).
 4. Syreløselig bly (fig. 6).
 5. Syreløselig nikkel (fig. 7).

langs de prøvetatte bekkene. Noen skriftlig rapport i forbindelse med prosjektet foreligger ikke.

Anomalikartet viser mange steder høge gehalter av både Cu, Zn, Pb og Ni. Ett eneste av de anomale områdene skiller seg imidlertid klart ut fra de andre: Innen et areal på ca. 6 km², ca. 5 km i luftlinje SØ for Levanger by, har en påvist høgt innhold av lettløselig og syreløselig kobber og syreløselig sink, uten at spesielt høge verdier av bly, nikkel eller kobolt er til stede. Det er i dette området den foreliggende oppgaven er utført. Fig.3-7 viser utsnitt av de geokjemiske anomalikartene med de aktuelle 6 km² inntegnet.

Fig. 3
Løstløselig kobber

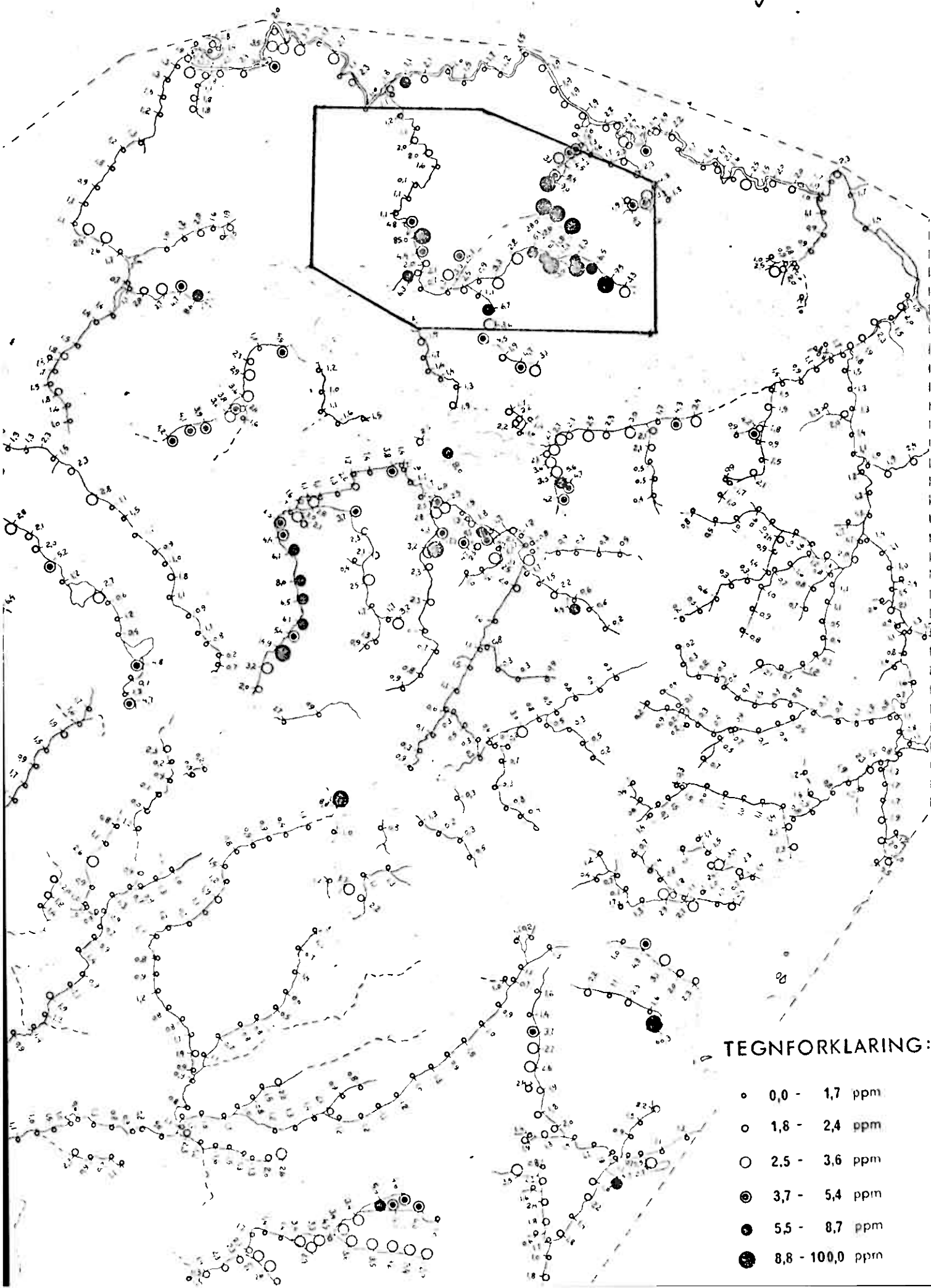


Fig. 4
Syreløselig kobber

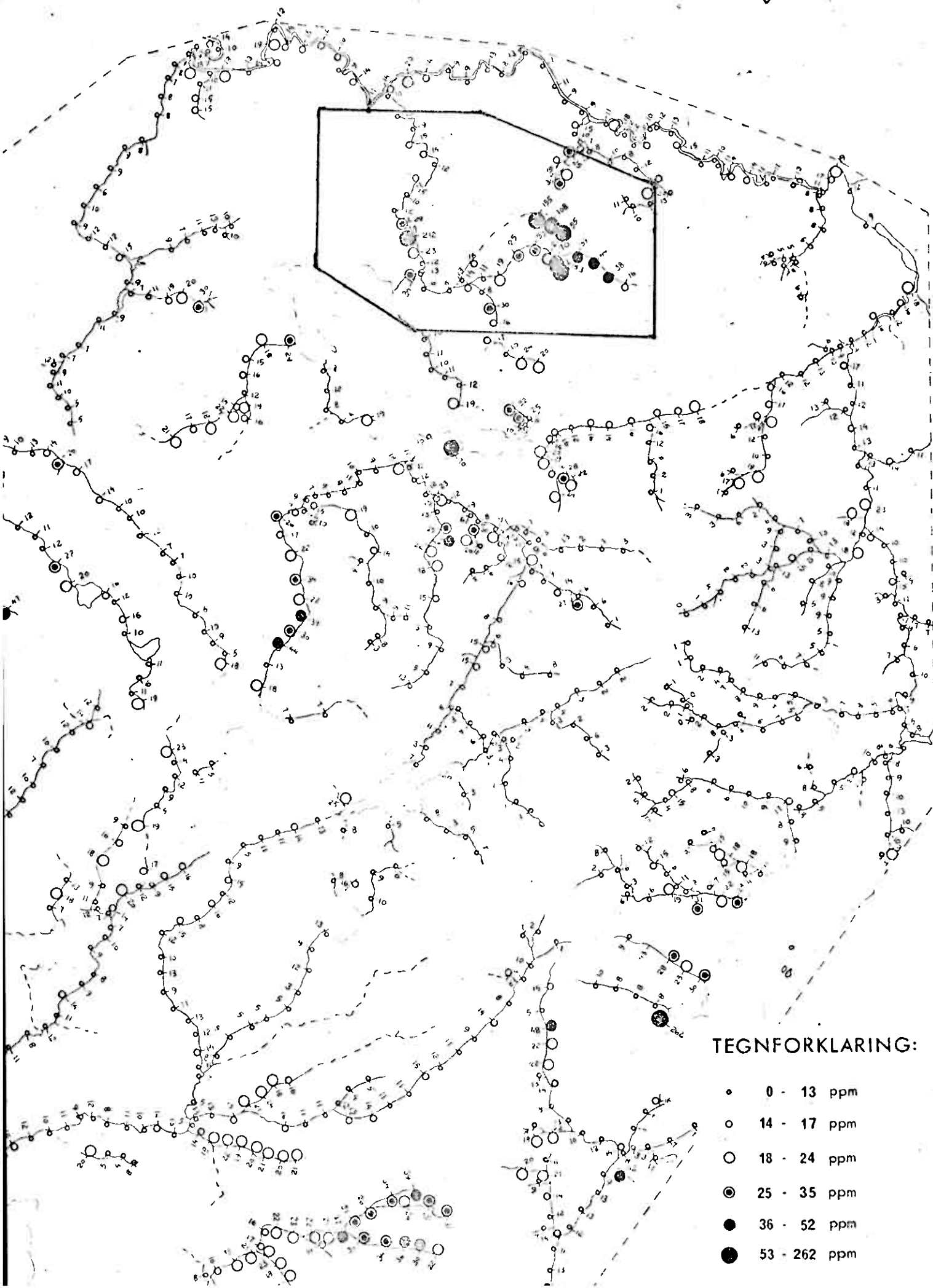


Fig. 5
Synløselig sink

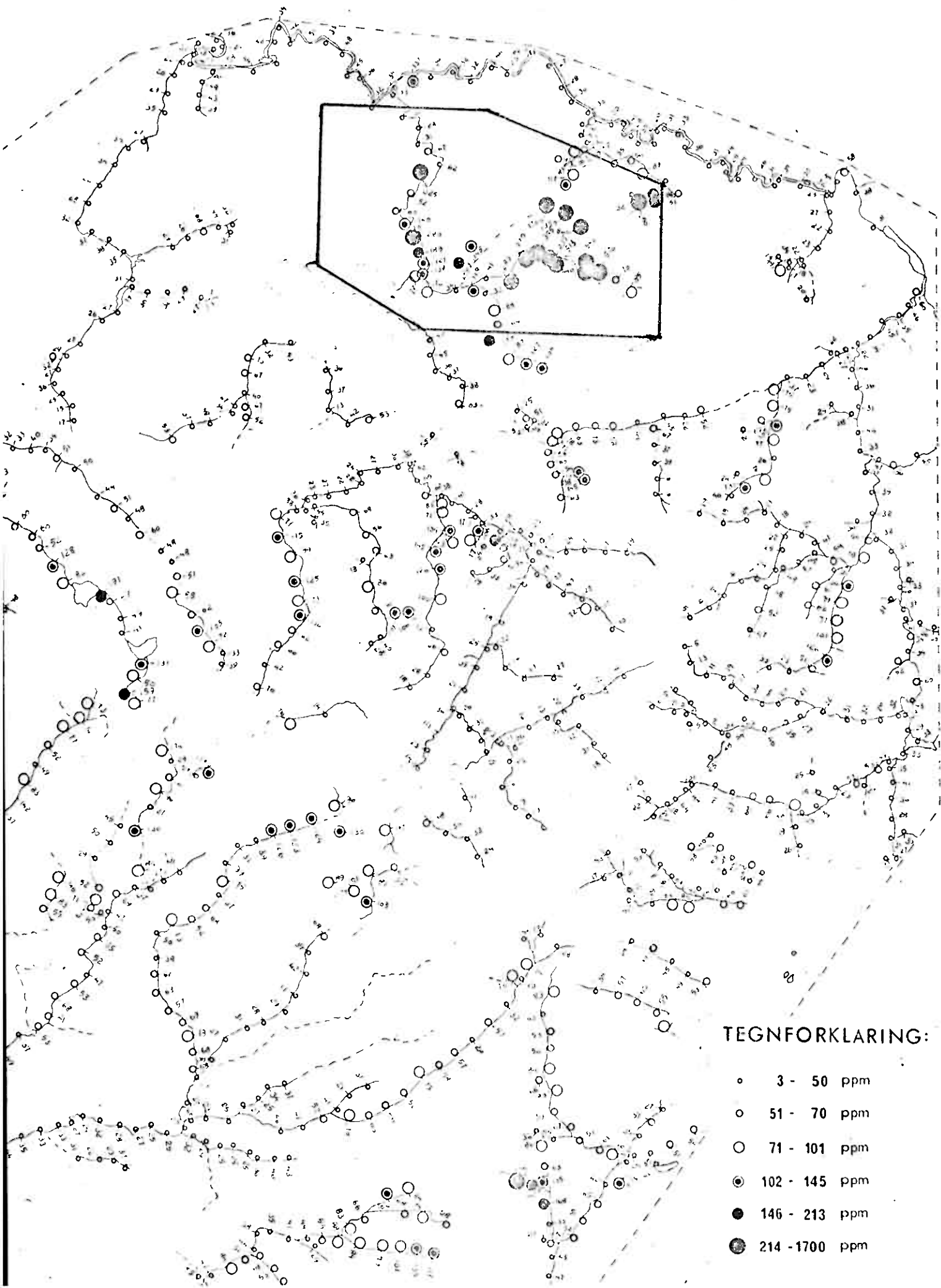
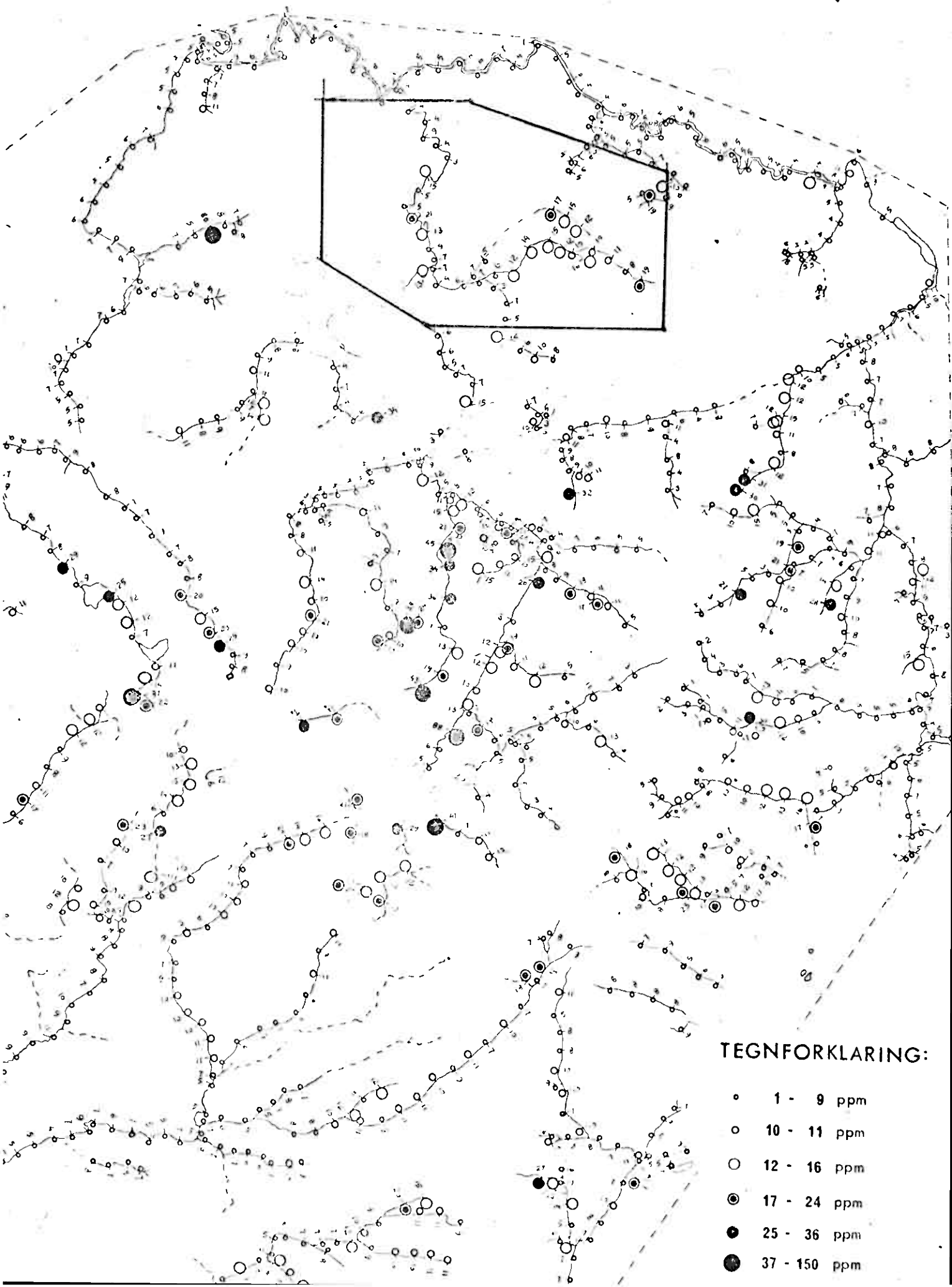


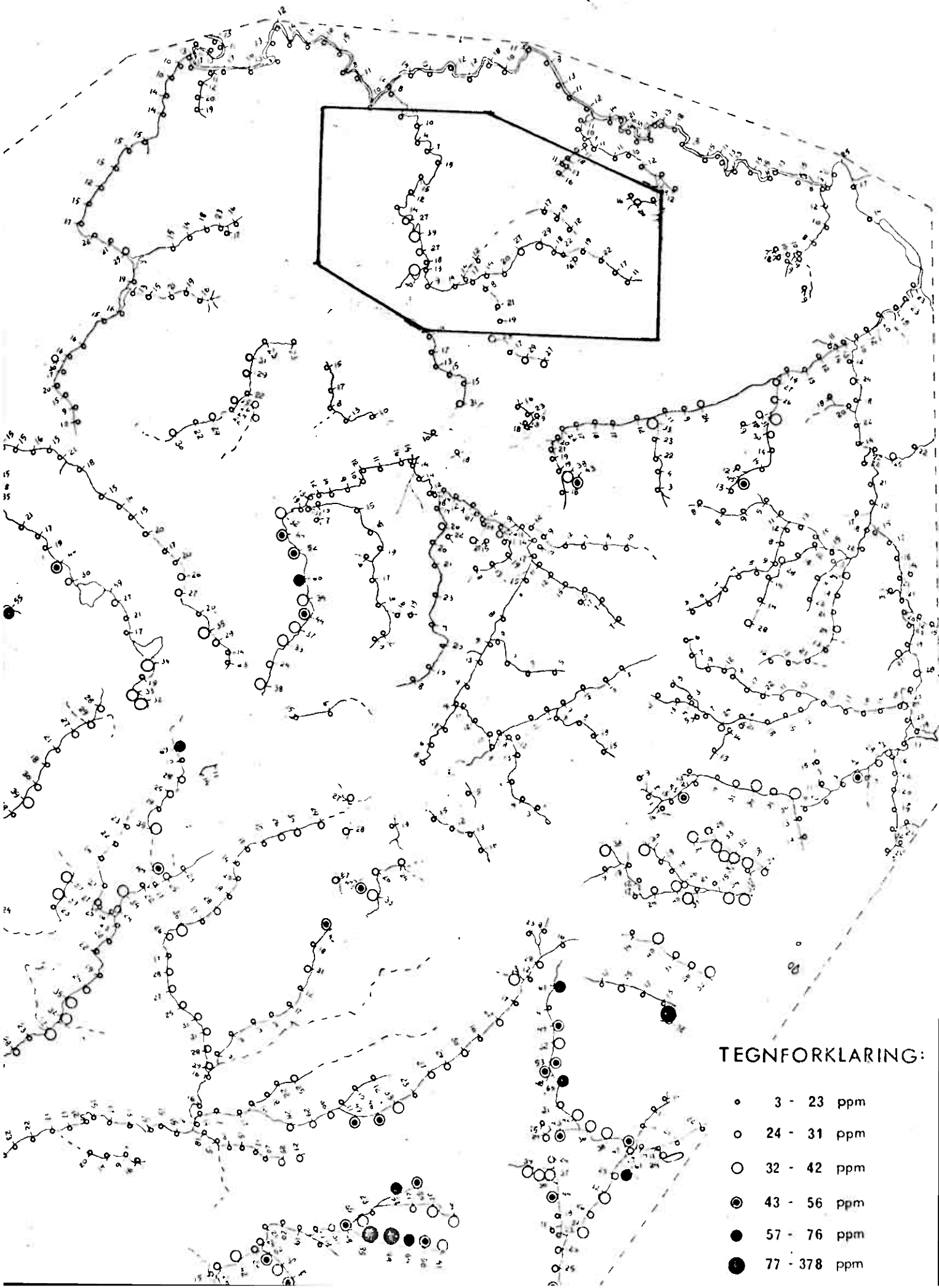
Fig. 6
Synløselig bly



TEGNFORKLARING:

- 1 - 9 ppm
- 10 - 11 ppm
- 12 - 16 ppm
- ⊙ 17 - 24 ppm
- 25 - 36 ppm
- 37 - 150 ppm

Fig. 7
Syreløselig nikkel



DISKUSJON AV BEKKESEDIMENTANOMALIER PÅVIST AV NGU.

(1) Bekkesedimenter med ikke-geologisk forklaring.

- (i) Cu-Zn(-Pb)-anomali i Litlelva 100 m NØ for nedlagt kraftstasjon.

Fra Litlelvas utløp fra Langåsdammen er det over en strekning på noen hundre meter mot N et fall på ca. 80 m. Dette ble en gang utnyttet til bygging av en liten kraftstasjon ved Litlelva ca. 650 m N for utløpet fra Langåsdammen. Vannet gikk fra Langåsdammen i jernrør og gjennom kraftstasjonens turbiner som dels var bygd av bronse, en legering av kobber og tinn. Videre går vannet gjennom en 100 m lang grøft og ut i Litlelva. Ved utløpsstedet i Litlelva er det påvist en kraftig Cu-Zn-anomali.

Forklaringen ligger sannsynligvis i at tungmetaller er blitt tilført vannet fra rørledning og turbiner og deretter utfelt/avsatt i det forholdsvis stille vannet rundt utslipsstedet.

Pb-anomalien på dette stedet er langt svakere enn Cu- og Zn-anomaliene. Det er nærliggende å anta at dette skyldes blyforbindelsenes lavere løselighet (blyets mindre mobilitet) enn tilsvarende for sink og kobber. Dermed vil forholdsvis langt mere bly felles mens vannet renner gjennom en lang grøft før det kommer dit hvor prøven er tatt.

- (ii) Ved Fossen gard ca. 600 m NØ for Litlelvas utløp fra Langåsdammen.

Her viser bekkesedimentanalysene høgt innhold av sink uten at kobber, bly og nikkel samtidig er til stede i store konsentrasjoner. Dette kan forklares som forurensning fra Fossen gard. En skråning ned mot elva nyttet som avfallsplass, og galvanisert jernmateriale som hønsenetting, gamle bøtter osv. kan trolig gi en slik anomali. Galvanisering er som kjent en Zn-"film" på overflaten av jernet, gjerne påført ved elektrolyse.

Også ovenfor dette prøve-punktet finnes sinkanomalier. Disse er noe svakere, og kan skyldes forurensning fra innmarka som går helt ut til elvekanten og dessuten heller ut mot elva. Også her er jern-avfall observert.

- (iii) Ca. 250 m NNØ for den nevnte kraftstasjonen (altså litt nedenfor (1)).

Her er en høy Zn-verdi påvist i bekkesedimentet. På begge sider av elva er det dyrka mark helt ut til elvakanten, dessuten går ei kraftlinje helt ute ved elva på dette stedet. En Zn-forurensning fra "sivilisasjonen" syner dermed å være en rimelig forklaring, uten at undertegnede regner dette som bevist.

(2) Bekkesedimentanomalier med antatt geologisk forklaring

De øvrige høye Cu- og Zn-konsentrasjonene i bekkesedimentene, som altså er påvist i Flatåsbekken og andre mindre bekker i området rundt Slåtsveet-Nyberg kan tenkes å ha oppstått på en av de to følgende måter, eller de kan ha fått bidrag fra begge:

- (i) Cu-Zn-anomaliene kan skrive seg fra Cu-Zn-mineralisering(er) som det knytter seg prospekteringsinteresse til.
- (ii) De aktuelle bekkene kommer alle fra myrer. I følge geokjemiker Bjørn Bølvikens forelesninger i forbindelse med faget "Malmgeologi Særkurs" kan en da regne med at følgende mekanisme virker:

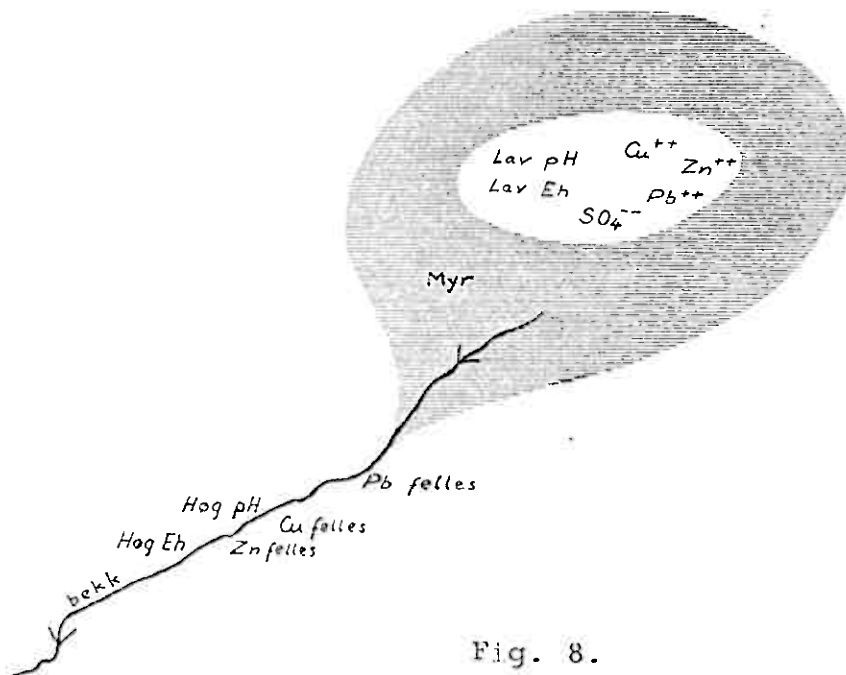


Fig. 8.

Overflatevann vil alltid inneholde mindre mengder tungmetallioner som stammer fra innholdet av slike elementer i bergartene. Da overflatevannet vanligvis ikke har særlig stor surhetsgrad, og betydelig mengder fritt oksygen gjerne er til stede, er det normalt ikke snakk om store konsentrasjoner.

I ei myr derimot, er det gjerne snakk om lavere pH-verdier, samtidig som en har sterkt reduserende miljø. Under slike forhold vil langt større konsentrasjoner av tungmetallioner kunne finnes i vannet. En får m.a.o. en sterk opphoping av metaller som godt kan stamme fra lave bakgrunnsverdier i bergartene.

Når denne myra dreneres av en bekk, vil tungmetall-kationene sammen med anionene som de i myrvannet finnes i likevekt med, bli med ut i bekken. Her er pH-verdien igjen høyere enn i myra, og en har oksyderende forhold. Dermed vil ikke de høye ione-konsentrasjonene lenger være i likevekt, en stor del av tungmetallene må felles.

Det er rimelig å vente at et tungtløselig (og lite mobilt) element som bly vil felles tidlig, mens mer lettløselige (og dermed mer mobile) metaller som kobber og sink kan føres til dels langt nedover bekken før de felles.

Systemet Fokkmyra - Flatåsbekken passer godt inn i en slik modell. Da også de andre "anomali-bekkene" kommer fra myrlendt terreng og renner gjennom små myrer, så inn-til annet er bevist, må en regne med at myrene kan ha hatt innflytelse på det dispersjonsmønsteret som NGU har påvist.

I GEOLOGI.

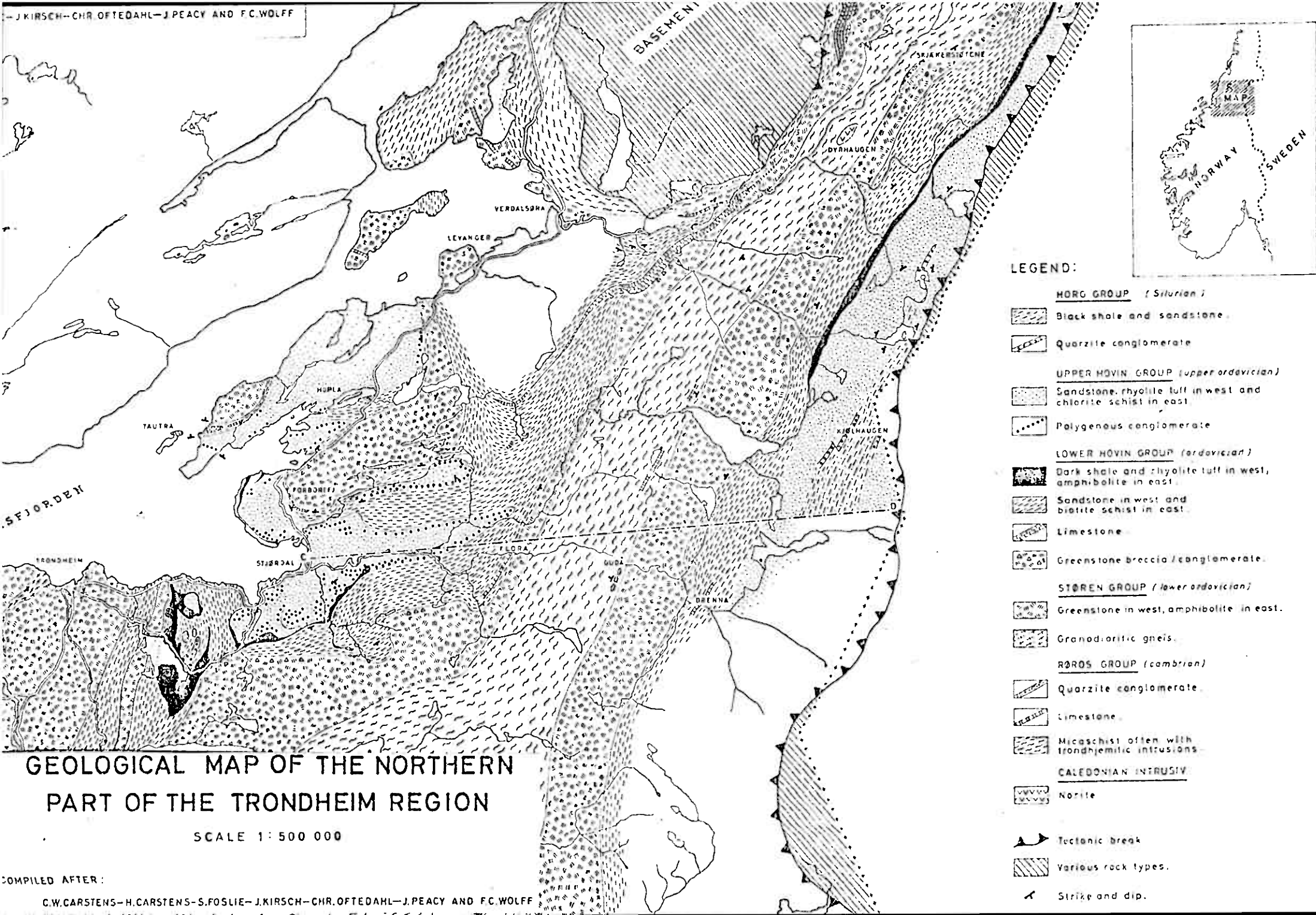
(1) Innledning.

Området ligger i den nordvestlige del av Trondheimsfeltet, ca. 15 km SV for Tømmeråstantiklinalens grunnfjellsvindu. Det 6-7 km² store feltet faller innenfor et område på ca. 300 km² som er kvitt på sammenstillingskartet over den nordlige del av Trondheimsfeltet (Wolff 1964), se fig. 9. Andre publiserte kart eller annen litteratur som dekker feltet finnes ikke.

Gjennom samtale med statsgeolog F.C. Wolff, NGU, har jeg imidlertid fått opplyst at J.S. Peacy har en del regional geologisk kartlegging i denne delen av Trondheimsfeltet. Dette har blant annet resultert i at en NØ-SV gående skyvegrense gjennom området er blitt foreslått. Det nordøstlige dekket, Skjøttingen-dekket, som ligger under, består i det aktuelle området av garbenskifer, mens det sydvestlige, overliggende dekket, Innherredsdekket, er preget av bl.a. amfibolitter og keratofyrer (Wolff, muntlig meddelelse 1974). Mine observasjoner tyder imidlertid på at også hele den sydvestlige del av feltet er dominert av garbenskifer, samtidig som foliasjonsmålingen ikke tyder på noen viktig tektonisk grense gjennom feltet. Jeg har derfor tillatt meg å "flytte" skyvegrensen mot SV, slik at hele feltet faller innenfor Skjøttingendekket. En vet ikke hvilken av Trondheimsfeltets grupper områdets bergarter faller inn under.

Garbenskiferen utgjør ca. 85 % av berggrunnen i feltet. I disse metasedimentene er to tynne, konkordante amfibolitter observert. I tilknytning til den ene av disse finnes en Cu-Zn-mineralisering som har vært gjenstand for gruvedrift. De geologiske forhold rundt denne mineraliseringen er blitt forholdsvis nøye undersøkt, og blir omtalt i eget avsnitt. I feltets østlige del utgjøres en vesentlig del av berggrunnen av en metamorf dioritt.

Bilag nr. 1 viser geologisk kart over feltet. Tabell 1 gjengir 10 modalanalyser av feltets typiske bergarter. 1000 punkt ble tellet i hvert slip.



GEOLOGICAL MAP OF THE NORTHERN PART OF THE TRONDHEIM REGION

SCALE 1:500 000

COMPILED AFTER:

C.W. CARSTENS—H. CARSTENS—S. FOSLIE—J. KIRSCH—CHR. OFTEDAHL—J. PEACY AND F. C. WOLFF

2. Bergartene.

(a) Garbenskifer.

Det som på det geologiske kartet er plottet som garbenskifer, er for det meste en lys grå til mellomgrå opprinnelig sedimentær bergart med opptil 1 cm lange ufullstendige planorienterte amfibolnåler. Disse ligger i en grunnmasse av rekrySTALLISERT kvarts og feltspat med vekslende mengder kloritt, epidot, muskovitt og kalkspat. Granat er vanlig i feltets østlige del.

Inn mot metadioritten blir garbenskiferen ofte mer fin-kornig, samtidig som amfibolnålene får en ufullstendig parallellorientering.

Horisonter med noe mindre amfibol enn den typiske garbenskiferen forekommer ofte, men disse er meget tynne (neppe over et par meter) og lar seg ikke skille ut på kartet.

Fig. 10 viser typisk tekstur i garbenskiferen.

(b) Amfibolitt.

To tynne amfibolitt-horisonter ligger konkordant i meta-sedimentene. Den ene er en utholdende horisont like NØ for Langåsdammen. I SV er den bare ca. $\frac{1}{2}$ m tykk, mens den i NØ har en mektighet som minst må være noen meter. Det skal imidlertid nevnes at amfibolitten ikke er fulgt hele vegen fra SV mot NØ, så muligheten for at det kan være to forskjellige amfibolitter er tilstede. Den andre amfibolitten er på grunn av overdekkeforholdene bare observert i Tingstad Gruve, der den danner mineraliseringens liggbergart.

Begge amfibolittene fører lett synlige mengder magnetkis, rutil/anatas og litt ilmenitt. Spor av kobberkis er observert. Den førstnevnte amfibolitten er blottet i en vegskjæring S for Langåsdammen. Der røpes bergartens sulfidinnhold av en gul utfelling av jarositt ($\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$). Dette dobbelsulfatet dannes når ustabile sulfid-mineraler løses ved overflateforhold - altså et sekundært mineral (Mason and Berry, 1967 s. 373).

Tynnsnip viser at de to amfibolittene har samme tekstur

Figur 10.
Tekstur i garbenskiifer. (x forstørr.)

Figur 11.
Tekstur i amfibolitt. (x forstørr.)

Figur 12.

Amfibolittblotning Ø for Langåsdammen.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kvarts	18,0	35,5	26,0	40,0	10,8	11,1	2,1	8,6	15,0	30,5
Feltsp.	11,4	19,3	16,7	24,4	11,2	9,1	13,7	8,9	6,7	25,5
Amfibol	36,0	22,2	35,5	19,6	62,2	58,2	61,1	50,2	54,4	-
Epidot	9,7	1,5	6,1	6,5	9,9	12,9	2,0	23,5	9,6	2,3
Kloritt	11,3	0,4	0,3	1,0	0,3	1,4	12,2	0,7	1,2	19,1
Kalkspat	7,6	5,1	6,3	2,0	1,5	2,3	0,2	-	-	3,3
Muskov.	4,4	14,2	4,2	4,5	-	-	6,0	5,0	1,0	18,5
Biotitt	-	1,7	-	1,7	-	0,3	-	0,5	-	0,1
Granat	-	-	4,2	-	-	-	-	0,2	6,9	-
Titanitt	0,8	0,1	0,7	-	1,9	1,1	2,5	0,9	3,4	0,3
Erts	1,0	0,1	-	0,3	2,2	3,0	0,2	1,2	0,8	0,4
	100,2	100,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,1	100,0	100,0

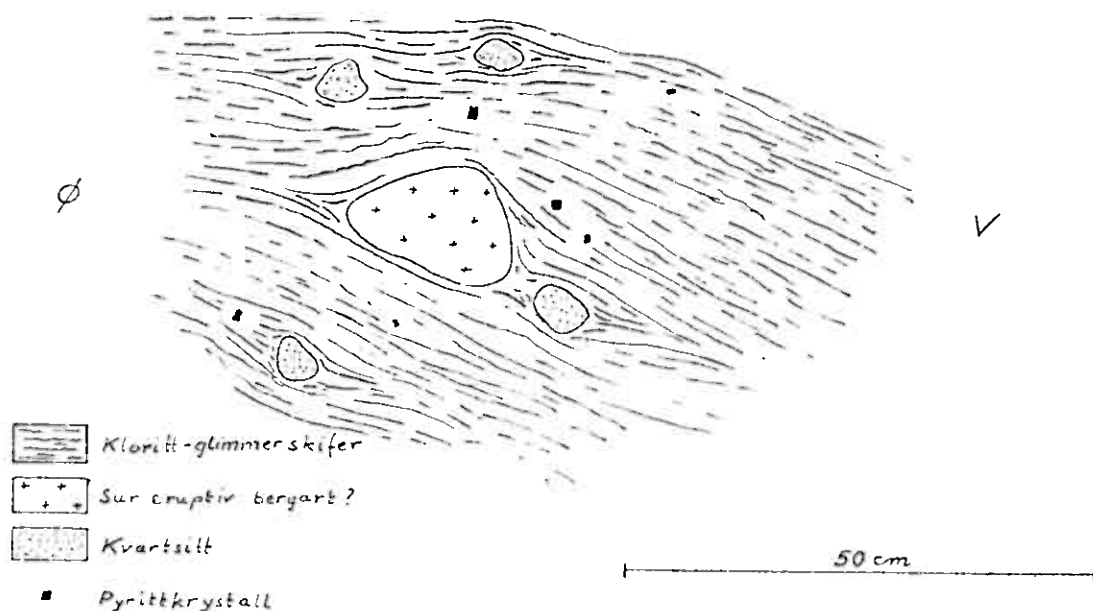
Tabell 1 1, 2, 3, 4: Garbenskiifer 5,6: Amfibolitt
 Modalanalyser 7: Fra metadiorittens kontaktsone.
 8,9: Hornblende - metadioritt.
 10: Muskovitt - klorittskiifer over malmen i Tingstad Gruve.

og mineralogi. De vanligste mineraler utenom amfibol er feltspat, kvarts og epidot. Også ertsmineralene er de samme i begge amfibolittene.

Fig. 12 viser en amfibolittblotning Ø for Langåsdammen.
Fig. 11 viser teksturen.

(c) Oligomikt konglomerat.

Innen det kartlagte området er det funnet en konglomeratblotning. Konglomeratet har dårlig rundet bollemateriale men kan neppe kalles en breksje. Bollematerialet er for det meste kvartsitt, men enkelte boller består av et materiale som kan være en ^{sur eller} intermediær eruptiv bergart. Maksimal observert bollestørrelse er ca. 15 cm. Matrix er en kloritt-glimmer skifer med noe amfibol, altså en opprinnelig leirrik grunnmasse. Den inneholder en del til dels idiomorfe pyrittkrystaller med maksimal størrelse ca. 1 cm. Dessverre var en middels geologhammer for lett redskap til at en prøve av brukbar størrelse kunne bli tatt. Blotningen ligger ved Littlelva like S for Fossen gard. Fig. 13 viser en skisse av konglomeratet. En har ikke greid å parallellisere dette konglomeratet med noe kjent konglomerat fra Trondheimsfeltet.



Figur 13.

Oligomikt konglomerat.

(d) (d) Hornblende - metadioritt.

I den østlige delen av feltet utgjør denne intrusive bergarten en vesentlig del av berggrunnen. Der hvor grensen mot garbenskiferen er blottet, er den skarp og konkordant - med ett lite forbehold: Øverst i en 10-15 m høy vertikal bergvegg (400 m S for Munkhaug) er den underliggende garbenskiferen intenst foldet og oppknust, og grenseforholdet ikke lett å få oversikt over. Fig.14 er et bilde av denne lokaliteten, mens fig.15 viser en klart konkordant grense mellom de to bergartene.

Den vanlige teksturen i metadioritten kan karakteriseres som en typisk dyperuptiv-tekstur med middels kornstørrelse. Ut mot garbenskiferen finnes som regel en tynn kontakt-sone hvor metadioritten er meget finkornig. I garbenskiferen har en ikke funnet noen tegn til kontaktmeta-morfe, men disse kan være visket bort av en senere regional metamorfose.

Den opprinnelige pyroksen i bergarten er fullstendig omvandlet til hornblende, et mineral som utgjør ca. 50 % av bergarten. Foruten spor av kobberkis, er magnetkis eneste observerte sulfidmineral.

(3) (3) Strukturgeologi.

Det må vel anses som generelt akseptert at sulfidmobilisering gjennom en eller flere foldefaser i mange (kanskje alle?) kaledonske kisforekomster har vært et avgjørende trinn i dannelsen av forekomsten slik vi ser den i dag. Ett av de spørsmål undertegnede stilte seg da feltarbeidet tok til, var derfor: Er områdets bergarter tektonisk deformert på en slik måte at en betydelig sulfidmobilisering på grunn av deformasjonsfasens trykkvariasjoner kan ha funnet sted?

Tingstad Gruve viser at interessante mengder sulfidisk kobber og sink finnes i området. Et positivt svar på

Figur 14.

Tektonisert grense mellom garbenskifer og overliggende hornblende - metadioritt.

Figur 15.

Konkordant grense mellom garbenskifer og hornblende - metadioritt.

ovenstående spørsmål vil derfor bety at området ut fra geologisk kriterier synes å være interessant i prospekteringssammenheng.

Bergartenes strøkretning varierer mellom NV-SØ og N-S. Fallretningen er for det meste vestlig. Lagene faller ca. 40° på det steileste, men gjennomgående er fallet moderat til flatt. Et par steder er et østlig fall registrert.

To steder kan en se at bergartene er isoklinalfoldet med tilnærmet horisontalt akseplan ("recumbent folding"). Det gjelder for det første Tingstad Gruve, hvor slike strukturelle elementer er observert og målt nede i gruva - mer om dette under avsnittet om Tingstad Gruve. Den andre lokaliteten er i sydveggen av toppen 187,5 m.o.h. ca. 400 m S for Munkhaug - se fig. 14. Enkelte andre steder er en enkelt isoklinal ombøyning blottet.

Alt dette er trolig eksempel på folding fra en og samme fase (F_1) med foldeakser som dels stuper mot N-NV, dels ligger de flatt og dels stuper de mot S-SV. Maksimal målt aksestupning er ca. 15° både mot N-NV og mot S-SV. Denne foldefasen har trolig nær sammenheng med overskyvningen fra NV (event. underskyvningen fra SØ) som ble nevnt i innledningen for kapitlet "GEOLOGI".

Foldene i denne fasen har en rundbuett til spissbuett form (Berthelsen, 1973 s. 56), vanlig amplitude ser ut til å være av størrelsesorden 10-20 m og bølgelengde 2-5 m.

Den nevnte variasjonen i isoklinalfoldenes aksestupning er trolig oppstått gjennom en senere foldefase F_2 med akseretning nær normalt på F_1 's akseretning. Gjennom F_2 , som må ha vært en fase med mild foldestil og bølgelengde minst hundre, eller helst noen hundre meter, har F_1 's foldeakser fått milde buktninger bestemt av F_2 's foldestil.

Et par observasjoner som kanskje indikerer at en foldefase utenom F_1 har funnet sted før den som her er omtalt som F_2 , vil bli beskrevet under avsnittet om geologien rundt gruva.

Figur 17.

Polerslip av impregnasjonsmalm fra Tingstad Gruve
(x Forstørr.)

Figur 18.

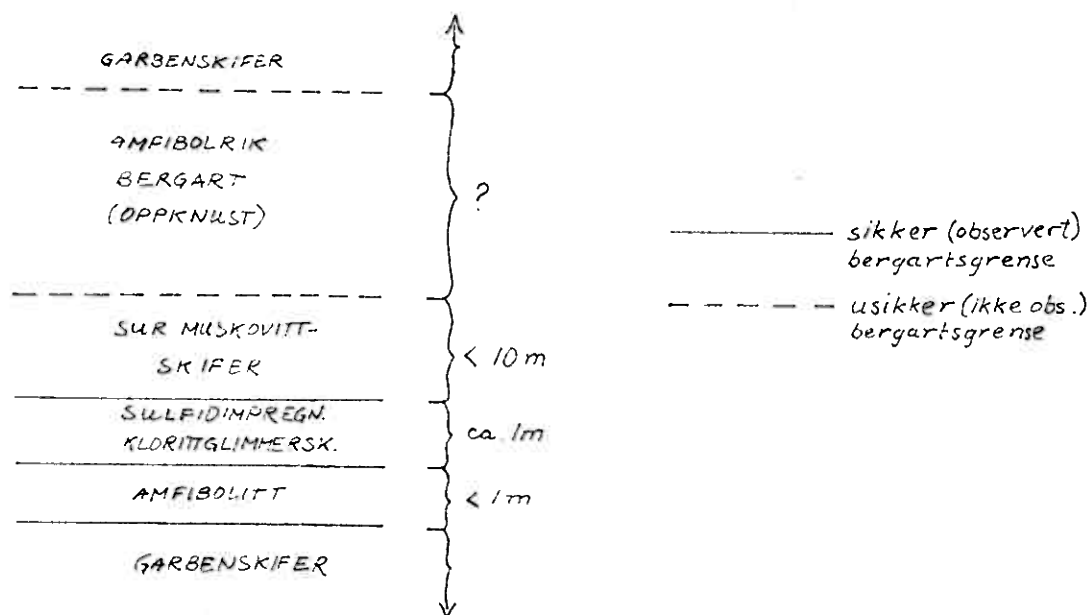
Tynnslip av den sulfidimpregnerte kloritt-biotittskiferen
fra Tingstad Gruve (x Forstørr.)

(4) Geologiske forhold omkring mineraliseringen ved Tingstad Gruve.

(a) Bergartene rundt mineraliseringen.

Da berggrunnen rundt Tingstad Gruve er så å si fullstendig dekt av løsmasser, er det stort sett bare nede i gruva og i dagåpningen at det har vært mulig å gjøre observasjoner av malmgeologisk interesse.

Fig. 16 viser de lithologiske forhold rundt mineraliseringen.



Figur 16.

Malmen, som det var drift på i denne gruva rundt århundreskiftet, er en impregnasjon av sinkblende, kopperkis, magnetkis, markasitt, rutil, anatas og ilmenitt i en biotitt-klorittskiifer. Kloritten har ofte biotittens kornform, og en del korn består dels av kloritt, dels av biotitt. Dette tyder på at kloritten delvis er dannet ved pseudomorfose av biotitt. Omvandling til kloritt er en vanlig metasomatose-prosess rundt malmer (Barth, 1962 s. 249) Fig. 17 (polerslip) og fig. 18 (tynnslip) illustrerer impregnasjonens tekstur. AAS-analyse av to

prøver viser 1,12% Cu/1,97% Zn og 2,61% Cu/1,13% Zn.

Liggbergarten, som er en tynn, finkornig amfibolitt, er beskrevet tidligere. Den synes å være av samme type som amfibolitten NØ for Langåsdammen. Det er nærliggende å anta at mineraliseringen har en genetisk tilknytning til amfibolitten, da denne kan betraktes som en primær sulfidførende horisont. Liknende forhold er beskrevet fra Kvikne. Mineraliseringene ligger der i Gula-gruppens bergarter (Nilsen & Mukherjee, 1972 s. 151-216). Under amfibolitten, som ved Tingstad Gruve er mindre enn en meter tykk, har vi ordinær garbenskifer.

Malmens hengbergart er en forholdsvis sur muskovittførende skifer som er nesten sulfidfri. Nøyaktig mektighet er ikke kjent, men feltobservasjonene viser at den ikke kan være over 5-10 m.

Over muskovittskiferen ligger en basisk bergart som bare er funnet blottet på ett sted. Tynnslipet fra denne lokaliteten viser en oppknust bergart (mylonitt) med fullstendig oppsprukne amfibolkorn (se fig.20). Det synes rimelig at denne oppknusingen i likhet med F_1 - foldingen har nær sammenheng med overskyvningen fra SV.

(b) Mineraliseringens forhold til foldestrukturene.

Den intense F_1 - og den roligere F_2 - fasen er beskrevet under "strukturgeologi". Som et forsøk på å få et inntrykk av mineraliseringens forhold til den bergartsdeformasjon disse representerer, ble en del gruvekartlegging utført. Hovedvekten ble her lagt på å måle orienteringen av foliasjonsplan og foldeakser, å beskrive foldestilen og å se mineraliseringen i forhold til strukturelle elementer.

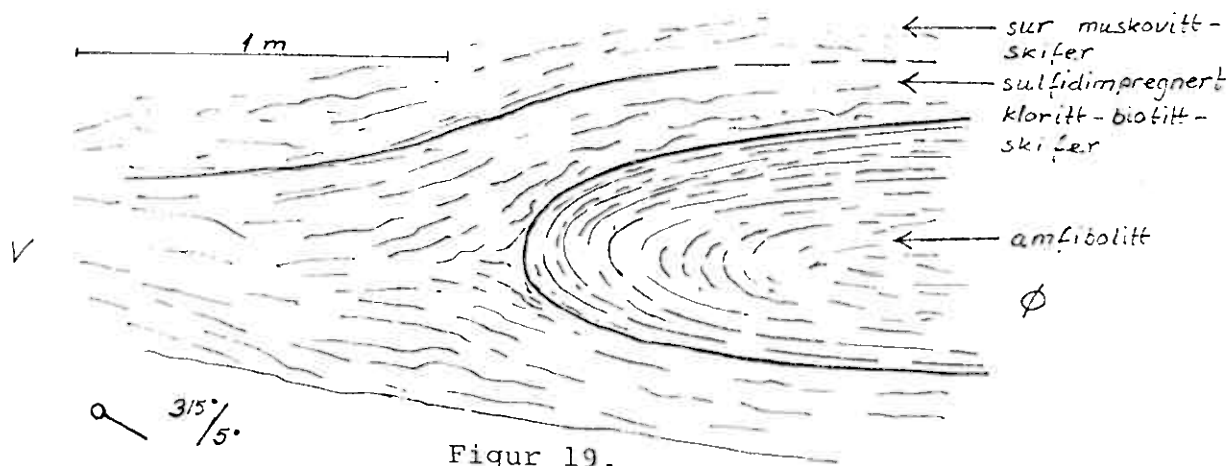
Det skal for ordens skyld nevnes at veggene i den gamle gruva mange steder var skitne, og lyset fra lommelykta svakt, så observasjonene var ikke direkte lettkjøpte. Under tegnede hadde også livet litt for kjært til å ville bevege seg innover på de mest tvilsomme stedene, selv om verdifulle opplysninger nok kunne blitt hentet. Målingene av foldeaksens orientering er ikke alltid like nøyaktige, da det ofte

var vanskelig å få et sikkert tredimensjonalt bilde av folden. Hensikten med turene ned i gruva var da heller ikke å foreta en nitid kartlegging, bare å skaffe nok opplysninger til å kunne beskrive de viktigste geologiske trekk.

Sulfidmineraler har langt større mobilitet under trykk-temperaturpåkjenning enn silikatmineraler, et prinsipp som er tillagt stor betydning som konsentrasjonsmekanisme for sulfider (Vokes 1971 s.126) Også for den forekomsten som omtales her ser slik mobilisering ut til å ha spilt en vesentlig rolle.

Når den pre-tektoniske sulfidførende horisonten er blitt foldet sammen med de andre bergartene, er sulfidmineralene blitt transportert mot foldenes ombøyninger (lavtrykksoner) fra flankene. Spesielt synes den intense F_1 -foldingen å ha hatt stor betydning. Malmen har gjennom denne fasen fått sin karakteristiske morfologi med linjalformede fortykninger langs F_1 -ombøyningene, og tynn plateform på flankene. Det faktum at en nederst ("på stoffen") i flere av de moderat hellende gruvegangene kan se en fin F_1 -ombøyning i snitt normalt på foldeaksen, viser at gangene er blitt drevet langs F_1 -aksene. Teori og praksis ser m.a.o. ut til å stemme rimelig bra.

Fig.19 viser en slik ombøyning. Legg spesielt merke til foliasjonen i impregnasjonsmalmen. Opprinnelig hadde den trolig en foliasjon som var parallell med amfibolittens planstruktur, men etter F_1 -fasen har den fått en ny foliasjon. Denne er definert av kloritt- og biotittkorn som tilsynelatende er parallelle med F_1 's akseplan.

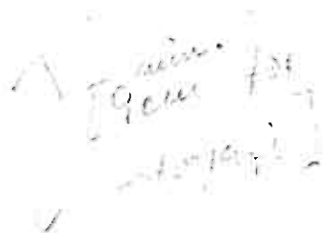


Figur 19.

Ut fra måling av F_1 -aksens orientering er et geologisk profil (fig.26) antydnet. F_1 -foldene er her projisert inn på et plan som ligger omtrent normalt på foldeaksene. Profilet er selvfølgelig unøyaktig, og er bare ment som en illustrasjon av foldestilen og mineraliseringens forhold til F_1 .

Den foldefasen som er blitt betegnet F_2 har som nevnt en mild folding med akseretning nær normalt på F_1 -aksene. I gruveområdet har dette gitt F_1 -aksene en variasjon i stupning på mellom 0 og 30° mot (ca.) NNW. Dette blir da også orienteringen av de tilsvarende malmfortykningene.

Det skal til slutt nevnes at to observasjoner i gruva tyder på at det som er beskrevet som F_1 , kan være to foldefaser med liten forskjell i akseretning. Under-tegnede mener å ha sett spor etter to dobbelfolder som er forsøkt illustrert i fig.21. Foldeaksene går inn i papirplanet. Den event. eldste foldeaksen er merket med F_1' , den yngste med F_1'' .



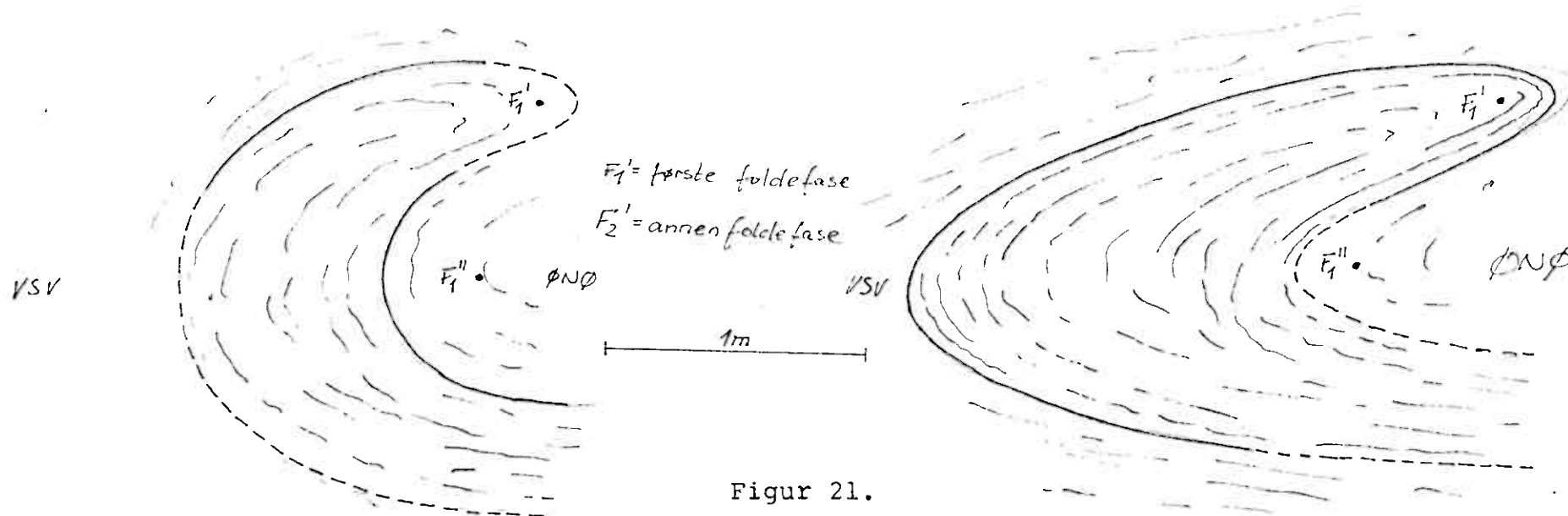
Figur 20.

Oppknust amfibolkrystall. Dersom denne oppknusingen har sammenheng med overskyvningen fra SV, må overskyvningen ha funnet sted senere enn metamorfosetoppen.

a) Geologisk profil fra Tingstad Gruve



b) To observasjoner som tyder på at det som her er beskrevet som en fase (F_1) kan være to foldefaser.



Figur 21.

- Sur musk. skifer
- Impregn. malm
- Amphibolitt

II GEOFYSIKK.

(1) Innledning.

De typer metalliske forekomster av økonomisk interesse som en kan håpe å finne i områdets metasedimenter, er først og fremst metallsulfid-forekomster. Den fysiske egenskap ved slike mineraliseringer som er enklest å nytte seg i geofysikk prospektering, er den forholdsvis gode elektriske ledningsevnen. Med unntak av sinkblende (Keller and Frischknecht, 1966 s.5) har alle de vanligste sulfidmineralene så liten spesifikk elektrisk motstand at en mer eller mindre kompleks sulfidmineralisering normalt vil lede elektrisk strøm langt bedre enn sidebergartene. Dette vil utvilsomt gjelde mineraliseringen som det en gang i tida var drift på i Tingstad Gruve, selv om dette er en sulfidimpregnasjon og ikke en forekomst av kompakt kis.

I den eruptive bergarten i området kan en tenke seg økonomiske interessante mengder av mineraler i sulfid- og oksydfase. Av de vanlige oksydene er det bare magnetitt (Keller and Frischknecht, 1966 s. 6) som har god elektrisk ledningsevne. Viktig er det imidlertid at to oksydiske malmineraler -magnetitt og ilmenitt (Aalstad & Åm, 1972 s. 40) har så høy susceptibilitet at det har praktisk betydning i malmleting. Aeromagnetiske målinger som er tatt opp 100-150 meter over bakken viser dessverre et fullstendig "flatt" magnetisk totalfelt på mellom 50 300 og 50 400 gamma i det aktuelle området (NGU: Aeromagnetisk kart, kartblad Levanger - 1722 III). Dette skulle være tilstrekkelig til å utslette alle håp om å finne en magnetisk jernmalm innen feltet.

Eventuelle malmer skulle det m.a.o. være godt håp om å kunne påvise ved hjelp av geofysiske metoder som gir indikasjoner over forholdsvis godt ledende bergartsmateriale - det vil si med elektriske og elektronmagnetiske metoder. Det er dessuten ønskelig at målingene er hurtige og enkle å utføre. I første omgang ble derfor den nye, men allerede populære VLF-metoden samt selvpotensialmåling valgt. Senere ble også tilsynelatende spesifikk motstand målt over et par spesielt utvalgte profiler.

Bilag nr.2 viser økonomiske kartverk over området med alle profiler inntegnet.

(2) VLF.

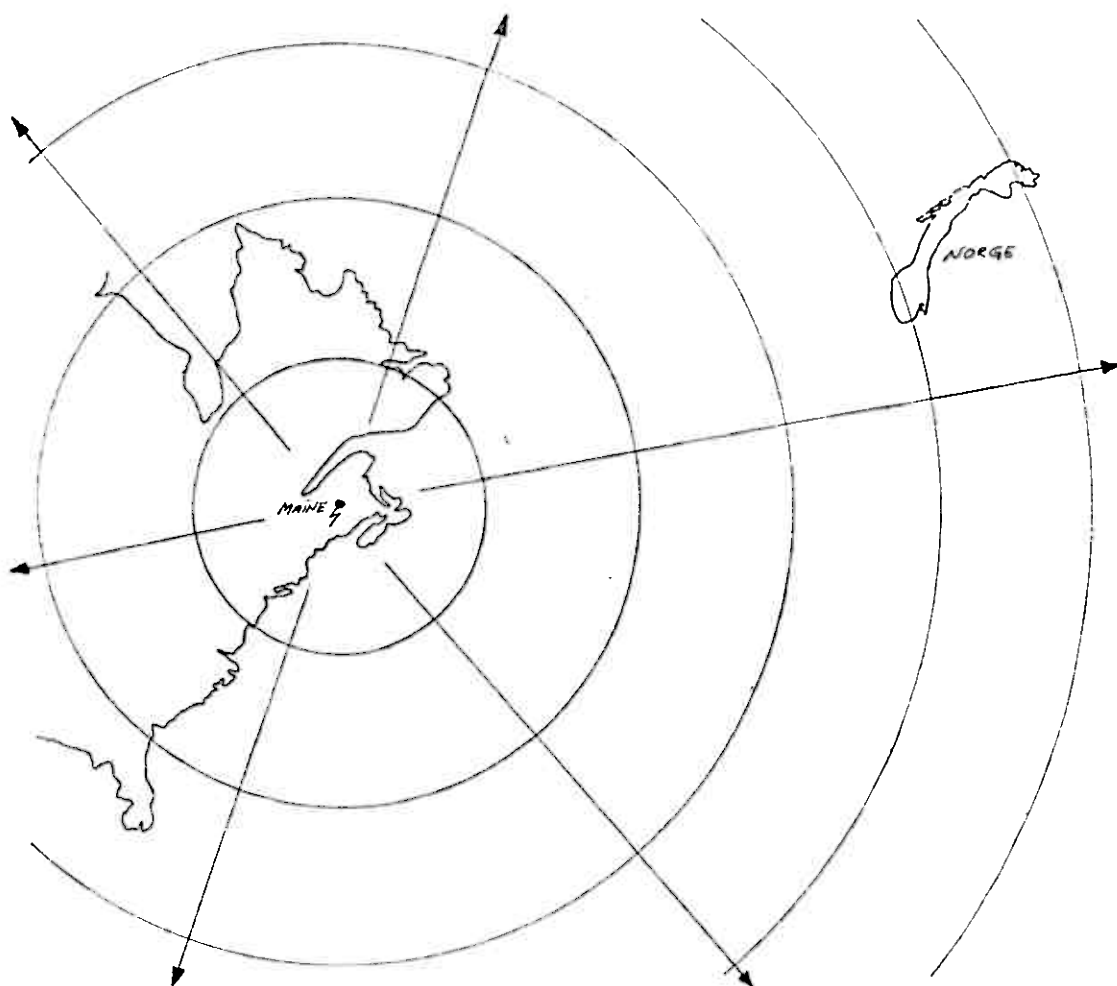
Denne nye malmletingsmetoden hører i prinsippet inn under de elektromagnetiske metodene, men innen denne gruppen skiller den seg ut på flere måter som jeg skal forsøke å nevne i de etterfølgende linjer.

Felles for alle de elektromagnetiske metodene, er at en elektrisk leder, f.eks. en malmkropp, kan registreres på grunn av det induserte (sekundære) elektromagnetiske feltet som vil omgi lederen når denne befinner seg inne i et primært eller induserende elektromagnetisk felt (ett unntak finnes; ved turam-målinger kan energiseringskabelen jordes i begge ender slik at en sender strøm gjennom bakken og dermed får en konduktiv energisering i tillegg til den induktive). Slik induksjon er et så velkjent fysisk fenomen, at en inngående forklaring neppe hører hjemme her. Bare det som er særmerkt for VLF vil bli gjennomgått, inklusive den teori som er nødvendig for å kunne forklare hvilke størrelser som måles med den mottakeren som ble brukt. Det siste er nødvendig både for å kunne underbygge tolkingen av påviste anomalier, og fordi de ulike typer av VLF-mottakere måler forskjellige størrelser.

(a) Det primære VLF-feltet.

VLF står for "Very Low Frequency" og er en radioteknisk betegnelse som omfatter frekvensområdet 10-25 kHz. Energiseringskildene er radiosendere som sender signaler med slik frekvens. Disse stasjonene er egentlig beregnet på ubåtnavigasjon, men blir altså dessuten benyttet ved geofysisk prospektering.

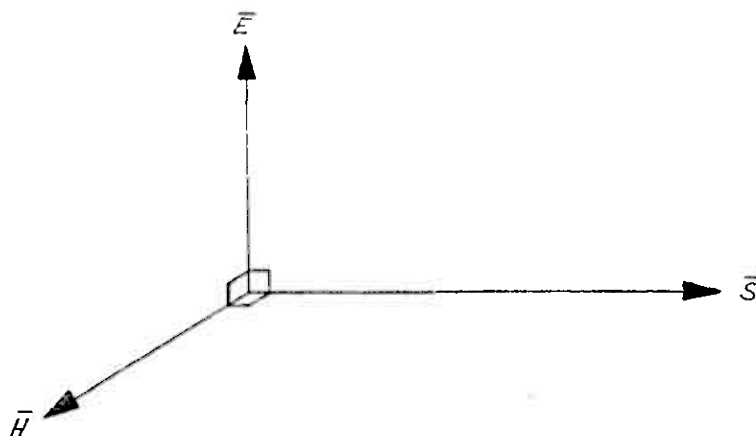
Det primære VLF-feltet vil, noe forenklet framstilt, bre seg radielt ut fra sender antennen. Dette er illustrert i fig. 22.



Figur 22.

VLF-bølgenes utbredelse på jordoverflaten.

Et elektromagnetisk felt kan deles opp i to "komponenter" det elektriske feltet (E) og det magnetiske feltet (H). Det er H vi registrerer under målingene. Den såkalte Poyntings vektor ($\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$) angir blant annet bølgens utbredelsesretning. Disse tre vektorene er i ethvert punkt orientert normalt på hverandre (Borowitz and Beiser 1966 s. 466), og kan følgelig tegnes inn langs de tre aksene i et kartesisk koordinatsystem (fig. 23.)



Figur 23.

$\vec{E}$ = elektrisk feltstyrkevektor.

$\vec{H}$ = magnetisk feltstyrkevektor (som vi bruker i VLF-målingene).

$\vec{S}$ = Poyntings vektor (angir bl.a. utbredelsesretningen).

Den relative eller innbyrdes orienteringen av $\vec{E}$, $\vec{H}$ og $\vec{S}$ er altså upåvirkelig av ytre faktorer. Den totale orienteringen av dette systemet (det er fortsatt bare snakk om primærfeltet) påvirkes imidlertid av følgende faktorer:

- 1) Avstanden fra senderantennen til det punktet hvor primærfeltet betraktes.
- 2) Atmosfærens elektriske ledningsevne.
- 3) Bakkens (grunnens) elektriske ledningsevne.
- 4) Topografi.

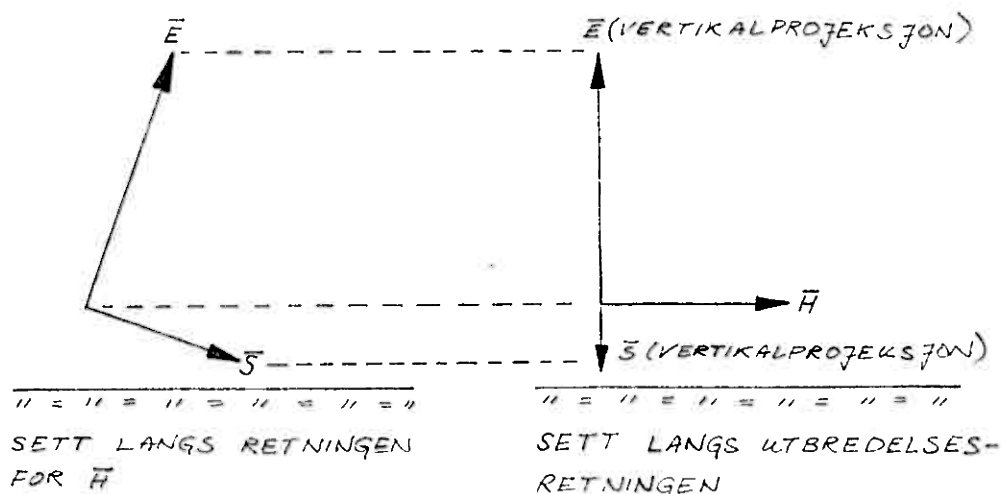
Dersom vi befinner oss langt nok fra senderantennen - i praksis minst 10 bølgelengder for den aktuelle frekvensen (Breien, muntlig meddelelse 1974), og har med "ideell jord" (jord med uendelig god ledningsevne og horisontal overflate) og "ideell atmosfære" (=atmosfære med uendelig stor elektrisk motstand) å gjøre, gjelder følgende:

$\vec{E}$ er vertikal og $\vec{H}$ er horisontal. Dermed må også utbredelsesretningen være horisontal. (National Bureau of Standards. Circular 573).

Vanligvis vil vi befinne oss tilstrekkelig langt borte fra senderen, men da det nå finnes aktuelle stasjoner i Norge, må denne faktoren sies å ha en viss interesse.

Atmosfærens elektriske ledningsevne er så lav at vi kan neglisjere den uten å gjøre feil av betydning (Breien, muntlig meddelelse 1974).

Det faktum at grunnen har en viss elektrisk motstand, medfører at den elektriske feltstyrkevektoren $\vec{E}$ ikke er vertikal, men heller framover i energiforplantningens retning. Den vil altså få en horisontal komponent. Utbredelsesretningen, som alltid er rettet normalt på $\vec{E}$, blir dermed ikke horisontal, men rettes på skrå nedover (Gløersen 1974 s. 35). Den magnetiske feltstyrkevektoren, $\vec{H}$, som er den viktigste for oss, vil imidlertid forbli horisontal:



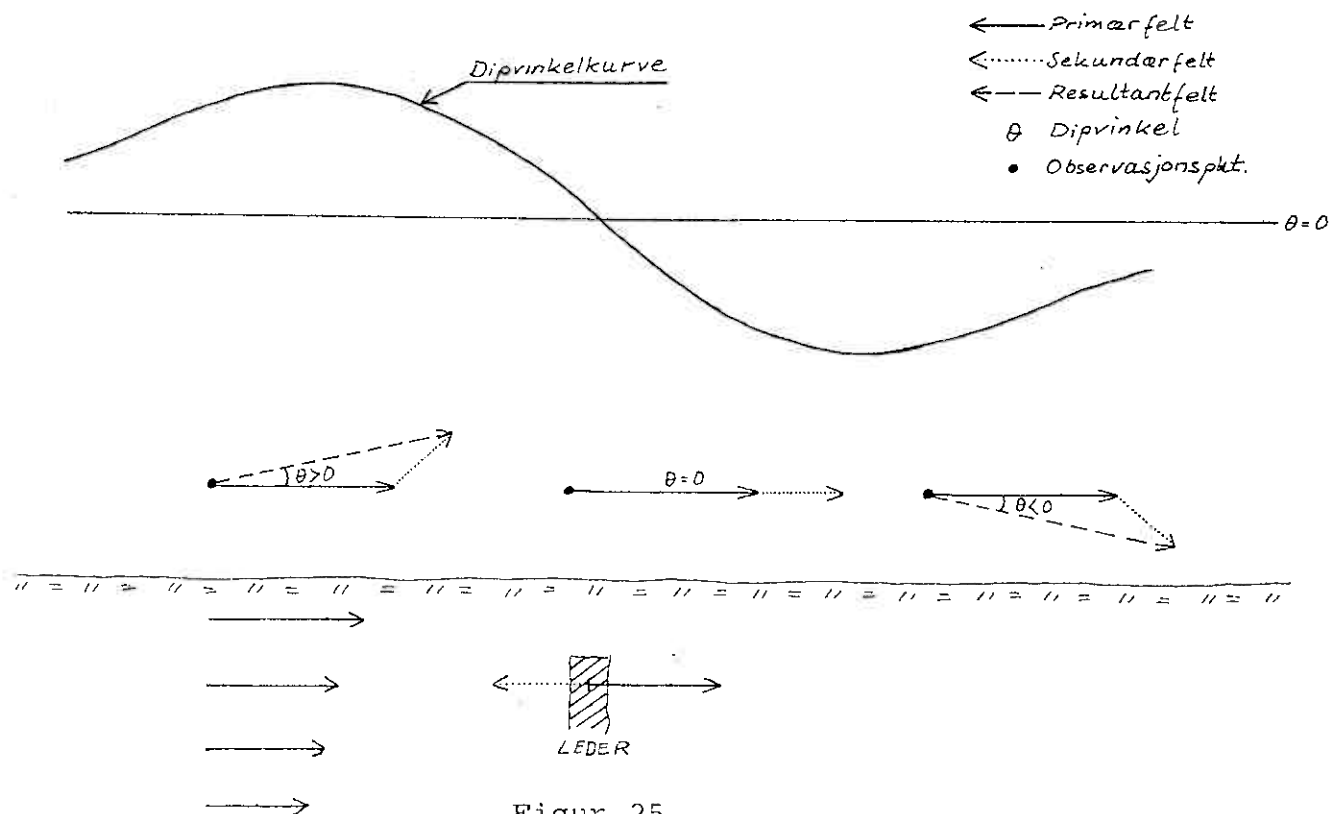
Figur 24.

Effekten av begrenset ledningsevne i bakken

Hittil er det forutsatt at vi har med en plan, horisontal terrengoverflate å gjøre. Når overflaten ikke er horisontal, vil både $\vec{E}$ og $\vec{H}$ til en viss grad innrette seg langs denne (Breien, muntlig meddelelse 1974). Dermed vil $\vec{E}$ danne en vinkel med horisontalplanet. Denne effekten er i bratt terreng så stor at den bør bli tatt i betraktning når måleresultater skal tolkes. Et illustrativt eksempel på slik terrengeffekt er gitt i brosjyremateriell for "Crone Radem" VLF-mottaker (Crone Geophysics Limited 1973).

(b) Det sekundære VLF-feltet.

De primære VLF-bølgene brør seg horisontalt både gjennom luft og gjennom grunnen. Når en elektrisk leder, f.eks. en sulfidmineralisering, befinner seg i dette feltet, vil det ifølge vanlig elektromagnetisk teori bli indusert en elektrisk strøm i denne lederen. Denne strømmen blir en vekselstrøm med samme frekvens som primærfeltet. Strømmen vil igjen gi et elektromagnetisk felt, et indusert (sekundært) felt som også får samme frekvens som primærfeltet. Det vil si at sekundærfeltet, som overlager primærfeltet etter superposisjonsprinsippet, også kommer inn på mottakeren som er "tunet" for den aktuelle frekvensen.



Figur 25.

Dipvinkel-anomali over en leder.

Fig. 25 viser skjematisk primærfeltet, sekundærfeltet og dipvinkelen θ over en leder. Dipvinkelkurven har største gradient rett over lederen.

(c) Størrelsene som måles med Paulsens VLF-mottaker.

De to størrelser som måles med dette instrument er den nevnte dipvinkelen θ og en såkalt imaginærkomponent I_m .

For å kunne redegjøre for den sistnevnte, er det nødvendig å se litt nærmere på resultantfeltet av primærfeltet og ett eller flere sekundære felt. Frekvensen er den samme for alle disse feltene, men de er ikke i fase.

Instrumentet er utstyrt med to spoler som står normalt på hverandre. Når en leser θ og I_m holdes instrumentet vertikalt, slik at de to spolene ligger i ett og samme vertikalplan. På denne måten kan en måle seg fram til et todimensjonalt bilde av magnetfeltet. Det enkleste er da å dekomponere både det primære feltet $\bar{H}$ og det sekundære feltet $\Delta\bar{H}$ i en horisontal komponent (H_x og ΔH_x) og en vertikal komponent (H_y og ΔH_y).

For primærfeltet kan vi da sette opp Geonics Limited 1973):

$$|\bar{H}| = H \cdot \cos \omega t$$

der ω = vinkelfrekvensen og t = tid. Vi betrakter primærfeltets fase som referansefase. Sekundærfeltets faseforskyvning i forhold til referansefasen er ϕ . Da gjelder følgende

$$|\Delta\bar{H}| = \Delta H \cdot \cos (\omega t + \phi)$$

Vi dekomponerer i horisontal -(x-) og vertikal-(y-) retning (primærfeltets retning er horisontal):

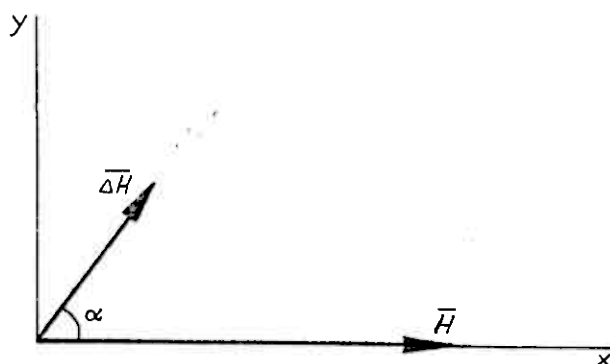
$$H_x = H \cos \omega t$$

$$H_y = 0$$

$$\Delta H_x = \Delta H \cos (\omega t + \phi) \cos \alpha$$

$$\Delta H_y = \Delta H \cos (\omega t + \phi) \sin \alpha$$

der α er vinkelen mellom sekundærfeltets retning og horisontalplanet. Dette kan illustreres slik:



Figur 26.

For å finne et uttrykk for det totale feltet som funksjon av vinkelfrekvens, tid og faseforskyvning, må vi summere $\bar{H}$ og $\Delta\bar{H}$. Dette gjøres lettest ved å summere h.h.v. horisontalkomponentene og vertikalkomponentene;

$$\begin{aligned} T_x(t) &= H \cos \omega t + \Delta H \cos(\omega t + \phi) \cos \alpha \\ &= H \cos(\omega t + \phi') \end{aligned}$$

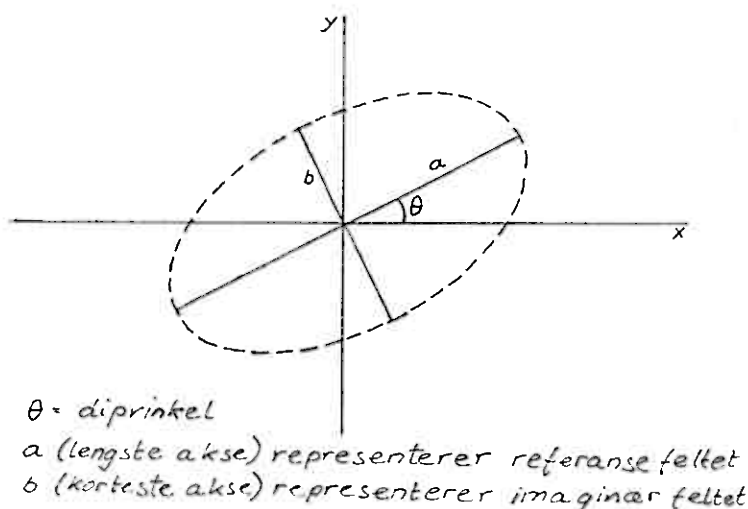
$$\begin{aligned} T_y(t) &= H \cos(\omega t + \phi) \\ &= Y \cos(\omega t + \phi) \end{aligned}$$

$$\text{der } \phi' = \cotg \frac{\Delta H \cos \alpha \sin \phi}{H + \Delta H \cos \alpha \cos \phi}$$

Når vi eliminerer t , får vi:

$$\left(\frac{T_x}{X}\right)^2 + \left(\frac{T_y}{Y}\right)^2 - \frac{2T_x \cdot T_y}{XY} \cdot \cos(\phi' - \phi) = \sin^2(\phi' - \phi)$$

Denne ligningen, som geometrisk sett representerer en ellipse, beskriver det totale magnetfeltet $= \bar{H} + \Delta\bar{H}$. Den praktiske betydningen av dette er at den totale feltstyrkevektoren i løpet av en periode roterer en gang (vinkelen 2π) i rommet, samtidig som feltstyrken (illustrert ved vektorens lengde) varierer slik at vektoren i løpet av perioden beskriver en ellipse.



Figur 27 Polarisasjonsellipsen.

Dipvinkelen θ , som er vinkelen mellom polarisasjonsellipsens lengste akse og horisontalplanet, angis som positiv eller negativ etter som hvilken retning aksene heller mot.

Ved konvensjonell elektromagnetisk måling angis imaginærkomponenten i forhold til et fast referansefelt. Ved VLF måles imaginærfeltet, representert ved polarisasjonsellipsens korteste akse, i forhold til det feltet som er representert av polarisasjonsellipsens lengste akse.

Det vil si at referansefeltet her er sammensatt av primærfeltet og eventuelle sekundære felt. Disse har som kjent ikke samme fase. Referansefasen vil m.a.o. være forskjellig fra målepunkt til målepunkt. Dette, sammen med at den høye frekvensen gjør at overdekkets ledningsevne får stor innflytelse på imaginærverdiene, medfører at imaginærkurven ikke alltid gir sikre opplysninger om anomaliårsakens ledningsevne (Paterson and Ronka, 1969 s. 12). Dersom en har med et tynt, dårlig ledende overdekk å gjøre, kan imidlertid imaginærkurvens forløp fortelle følgende: En anomali med positiv imaginær-respons (imaginærkurvens og dipvinkelkurvens gradient har samme fortegn) indikerer en anomaliårsak med lav konduktivitet. En anomali med negativ imaginær-respons (imaginærkurvens gradient har motsatt fortegn i forhold til

dipvinkelkurvens gradient) tyder på at anomaliårsaken er godt ledende. Størrelsen av og dybden ned til anomaliårsaken vil også ha stor innvirkning, i det små, overflate-nære ledere oftest vil gi positiv imaginær-respons, mens større dypttrekkende anomaliårsaker gjerne gir negativ imaginærrespons (Geonics Limited, 1973 s. 4).

Det som her er sagt, er hentet fra materiell beregnet for Geonics Limiteds VLF-instrument "EM 16". Dette skulle være fullt ut forsvarlig, da den VLF-mottakeren som undertegnede brukte er bygd etter samme prinsipp og koplet på samme måte som den førstnevnte (Paulsen, muntlig meddelelse 1974).

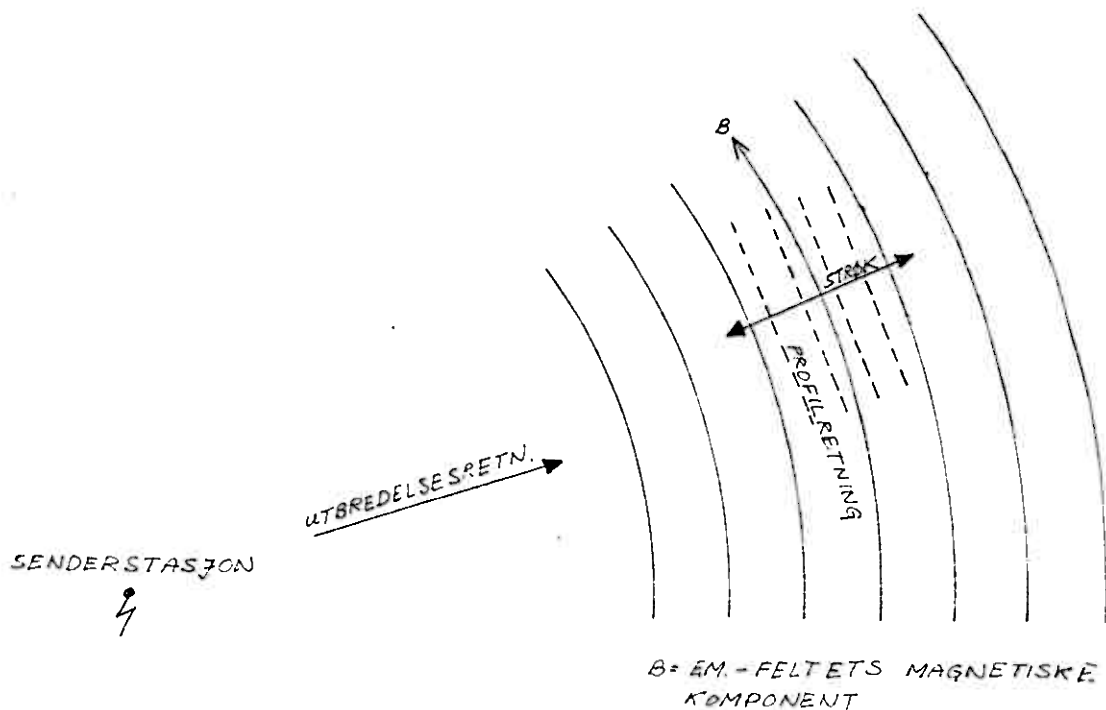
(d) Måleopplegget.

Når vi med elektronmagnetiske målinger skal avsløre en eventuell leder nede i jorda, er vi interessert i å innrette oss slik at vi får en størst mulig anomali fra denne lederens induuerte felt, samtidig som vi med en gitt profilavstand gjerne vil påvise anomalien i så mange profiler som mulig.

For VLF-målinger gjelder følgende: Størst mulig anomali får vi ved å velge en senderstasjon som gir oss et primærfelt (=primært magnetisk felt) som har retning nær vinkelrett på den geologiske strøkretningen i området. Dette gjelder under den forutsetning at en eventuell mineralisering vanligvis vil ha sin største utstrekning i strøkretning, noe som vanligvis er tilfelle i slike sedimentære bergarter som utgjør mesteparten av berggrunnen i det område det her er snakk om. Det induerte feltets intensitet blir som kjent størst når koplingen mellom mineraliseringen og primærfeltet er maksimal.

Dette kravet vil selvfølgelig ikke alltid kunne oppfylles, da en i praksis vil ha et begrenset antall (i dette tilfelle bare to) VLF-stasjoner å velge mellom. Noen ganger har en ikke full oversikt over strøkretningen, og ofte vil den variere noe innen området som skal måles. I praksis bør senderen ligge i en retning som avviker mindre enn 45° fra områdets dominerende strøkretning. Dette er

spesielt viktig når en har grunn til å anta at eventuelle ledende mineraliseringer vil ha form som tynne plater/linealer. For å få flest mulig skjæringer mellom en naturlig leder som er orientert langs strøket, og profilene, er det innlysende at disse må legges normalt på strøket.



Figur 28.

(e) Behandling av data fra VLF-målingene.

En enkel og oversiktlig måte å framstille måleresultatene på, er å plote dipvinkel- og imaginærverdiene for hvert målepunkt langs en lineær skala (ordinat) normalt på en null-linje (abscisse-akse). Positive verdier plottes over og negative verdier under null-linjen. Denne plotte-metoden er brukt i det foreliggende arbeidet. Hver null-linje markerer samtidig en profilinje. Avstanden mellom målepunktene og avstanden mellom profilene er på bilagene beregnet etter samme målestokk (1:2 500).

På grunn av sin høye frekvens og dermed en ekstremt stor følsomhet, vil VLF-metoden gi måleresultater som i forholdsvis stor grad er forstyrret av støy fra mer eller mindre ledende materialer i nærheten av målepunktene. En prosedyre (Fraser-prosedyren, Fraser-metoden) er utviklet for å kunne filtrere bort slik støy (D.C. Fraser, 1960 s. 958-967). Populært kan en si at en gjennom Fraser-prosedyren

beregner den gjennomsnittlige dipvinkel-gradienten (fraser-verdien) intervallvis over profilet. Fraser-verdiene plottes midt på det tilsvarende intervall, og en trekker kurvene (profilvis) mellom plottepunktene. På grunnlag av disse kurvene tegnes konturkart som gjenspeiler rimelig godt ledere av en viss minstestørrelse.

En skal imidlertid være oppmerksom på at denne filtreringen også kan fjerne små dipvinkel-variasjoner som skriver seg fra interessante mineraliseringer. Dette kan særlig være tilfelle dersom mineraliseringen leder forholdsvis dårlig, dersom den ligger dypt eller dersom en har overlagring av anomalier fra to eller flere ledere. En fornuftig bruk av metoden er også avhengig av at de naturlige ledere med sikkerhet kan følges over to eller flere profiler.

De reservasjoner som her er nevnt overfor en slik filtrering, førte til at undertegnede ikke fant det formålstjenlig å Fraser-konturere de foreliggende måleresultatene, selv om det er blitt svært så populært å utsette såvel dipvinkel - som imaginærverdiene for denne behandlingen. Det skal for ordens skyld nevnes at Fraser-verdier ble regnet ut og opptegning for en del av feltet gjort, uten at resultatet på noen måte lettet tolkingen.

(f) VLF-målingene ved Tingstad Gruve (bilag nr. 4).

Under avsnittet om tidligere arbeider ble SP-målingene som Gust og Hovland, NGU utførte i området rundt Tingstad Gruve omtalt. Da dette området er fullstendig overdekt, og de geologiske observasjonene i gruva viser at berggrunnen er kraftig tektonisert, ble ekvipotensialkartets drag (bilag nr. 3) lagt til grunn for valg av stasjon. SP-anomaliene er orientert VNV-ØSØ, altså ble stasjonen NNA i Maine, USA (retning VNV) valgt, og profilene lagt normalt på SP-draget.

At dette SP-anomalikartet kanskje var et mindre heldig grunnlag for valg av stasjon var undertegnede ikke klar over før feltarbeidet var avsluttet. Det er nemlig ikke usannsynlig at Gust/Hovlands ekvipotensialkart, som er tegnet opp på grunnlag av målinger gjort med 5 m mellomrom langs profiler med 50 m avstand, er feil.

Dette er grunnlagt i avsnittet "Behandling av data fra SP-målingene".

Formålet med målingene var å forsøke å skaffe forholdsvis nøyaktige opplysninger om utstrekningen av en interessant mineralisering. Avstanden mellom profilene ble derfor valgt såvidt kort som 50 m.

I forbindelse med gardsbruk i området finnes det dessverre flere kraftlinjer som har stor innvirkning på VLF-feltet og dermed vanskeliggjør tolkningen av kurvene. Dette gjelder også til en viss grad elektrisk ledende gjerder, men disse har bare meget lokal innvirkning på feltet og sjenerer derfor ikke særlig mye. På og rundt garden Bergsmo er det så mange "unaturlige ledere" (kraftledninger, elektriske gjerder, vann- og kloakkledninger osv.) at VLF-målinger bortenfor profil 150 ville vært nytteløst.

(g) Diskusjon av måleresultatene - Tingstad (bilag nr. 4).

Alle kraftledninger, elektrisk ledende gjerder osv. som har hatt innflytelse på VLF-feltet er tegnet inn sammen med VLF-kurvene på bilaget. Nærmere forklaring av de tilsvarende anomaliene skulle derfor være unødvendig.

660 X/400 Y viser en tydelig dipvinkel-"cross-over". Imaginær-kurven krysser svakt over i motsatt retning, altså en forholdsvis god leder. Forklaringen er en vannledning som kommer fra en brønn like ved og krysser profilet her.

Ved 1120 X/150 Y viser imaginær-kurven en tydelig anomali, mens dipvinkel-verdiene gir et noe mer uklart bilde. En kan imidlertid se at imaginær-verdiene avtar og øker samtidig dipvinkel-verdiene, altså en dårlig leder. Denne anomalien er å finne over ei myr, som undertegnede betrakter som anomaliårsak.

Lignende kurveforløp har en ved 1100 X/200 Y og ved 1100 X/

250 Y. Den samme myra må også ta skylda for disse anomalie.

Når en ser VLF-kurvene fra området rundt Tingstad Gruve under ett, er det et felles trekk for alle profilene (150 Y-600Y) som en ikke kan unngå å legge merke til. Vi kan f.eks. se på profil 250 Y. Ved 1000 X er både dipvinkel og imaginærverdi svakt negative. I løpet av 100 - 150 m avtar så dipvinkelen til et minimum på -20° samtidig som imaginærverdiene øker til et maksimum på + 17% . I løpet av de neste 100-150 nærmer begge kurvene seg gradvis null-nivået.

Ut fra kapitlet om det primære VLF-feltet, skulle bare terrengeffekter kunne gi et slikt primærfelt som disse kurvene gjenspeiler. En slik forklaring er imidlertid helt usannsynlig her, da en ikke har større høydeforskjeller enn ca. 20 m.

Det er med andre ord rimelig å anta at dette spesielle kurveforløpet skyldes et sekundært felt som overlager det primære. SP-målingene viser at det neppe finnes sulfidmineraliseringer som kan ha gitt sekundære felt over så store områder som det her er snakk om. Det gjenstår da to faktorer som kan ha hatt innflytelse: Overdekkeforhold (en del godt ledende marin leire) og en knusingsone som er nevnt under kapitlet om geologi.

(h) Diskusjon av måleresultatene - Slåtsveet (bilag nr.5).

Da kraftlinjene er tegnet inn på bilaget, kommenteres ikke de tilsvarende anomalier.

600N/1500-1600Ø viser områdets eneste oppløftende VLF-anomali. Kurven ser ut til å være sammensatt av to "enkle" anomalier. Det at disse to anomalier helt eller delvis overlager hverandre vanskeliggjør en nøyaktig tolkning. Dipvinkelkurvens form tyder imidlertid på to ledere med øverste begrensning i nærheten av h.h.v. 1945 Ø og 160 Ø. Den klart positive imaginær-responsen indikerer anomaliårsaker med lav konduktivitet. Det er også mulig å forklare imaginærkurvens forløp ved å anta en overflatenær anomaliårsak. Men da overdekket her er forholdsvis tynt

og tørt, og topografien ikke gjenspeiler noen knusnings-sone, synes ikke denne forklaringen å være den mest sannsynlige. En sulfidimpregnasjon i metasedimentene kan være en rimelig forklaring.

1000 N/1650-1700 Ø viser også en sammensatt anomali med dårlig ledende og/eller grunn anomaliårsak. Denne faller på grensen mellom metadioritten og garbenskiferen, og skyldes trolig bergartsgrensen og den kraftige tektonisering som berggrunnen her er blitt utsatt for.

800 N/1580 Ø viser en uregelmessighet på imaginærkurven som må tilskrives en myr. De øvrige "imaginær-anomaliene" skyldes trolig en bergartsgrense og andre mindre interessante fenomener.

ON/740 Ø viser en anomali en som neppe kan skyldes annet enn ledende overdekke, da en i dette området har en del marine sedimenter. En dårlig leder, som den positive imaginær-responsen indikerer, ville sannsynligvis ikke kunne gi en så distinkt anomali over den ledende leiren.

1200 N/1300 Ø og 1400 N/1400 Ø viser sannsynligvis topografiske effekter, da terrenget heller forholdsvis kraftig mot NV.

(3) Selvpotensialmålingene.

(a) Prinsipp.

Registrering av selvpotensial, eller naturlige potensialforskjeller mellom punkt på jordoverflaten, har lenge vært kjent som en enkel og til dels effektiv malmletingsmetode. Den hører inn under de elektriske metodene.

Erfaringsmessig vet en at forekomster av bl.a. følgende vanlige mineraler gir en SP-anomali: Pyritt, magnetkis, kopperkis og andre Cu-sulfider, grafitt, magnetitt, Mn-oksyder og Co-mineraler. Over utgående av den ledende mineraliseringen vil potensialkurven vise et potensial som er lavere enn det som er vanlig over sidebergartene. Kurvens form som funksjon av lederens fall vil bli behandlet under avsnittet om tolking.

Anomalier i forbindelse med godt ledende soner med grafitt og/eller pyritt kan bli av størrelsesorden -1V. En anomali regnes gjerne som kraftig når det dreier seg om et par hundre mV eller mer.

Årsaken(e) til disse spenningene er blitt diskutert av mange. Fenomenet er delvis blitt forklart ut fra elektrokjemiske prinsipper (Sato and Mooney, s. 226), men dette kan ikke forklare større SP-verdier enn ca. 400 mV, går en ut fra at også andre mekanioner må bidra til å gi slike spenninger.

Etter en studie av SP-variasjonene i og rundt Joma-malmen har en antatt at systemet malm/sidebergart kan betraktes som galvaniske celler, der de elektrisk ledende sulfidene fungerer som dipolelektroder og side-bergartens porevann som cellenes elektrolytt. Potensialforskjeller på opptil 800 mV med store gradienter på grensen malm/sidebergart blir forklart på denne måten (Logn and Bølviken 1974, s.11).

(b) Måleutstyr.

Et likespenningspotensiometer, følsomt nok til å måle i mV-området (bygd ved Geofysisk avdeling, NGU), to upolariserbare elektroder (Cu i mettet CuSO_4 -løsning), fast kobbersulfat og kabel ble lånt fra Follidal Verk A/S. Det viste seg imidlertid at det under måling ble ganske stor "drift" under bruken av dette utstyret. To kontrollavlesninger med en times mellomrom kunne f.eks. ha en innbyrdes forskjell på 20-25 mV.

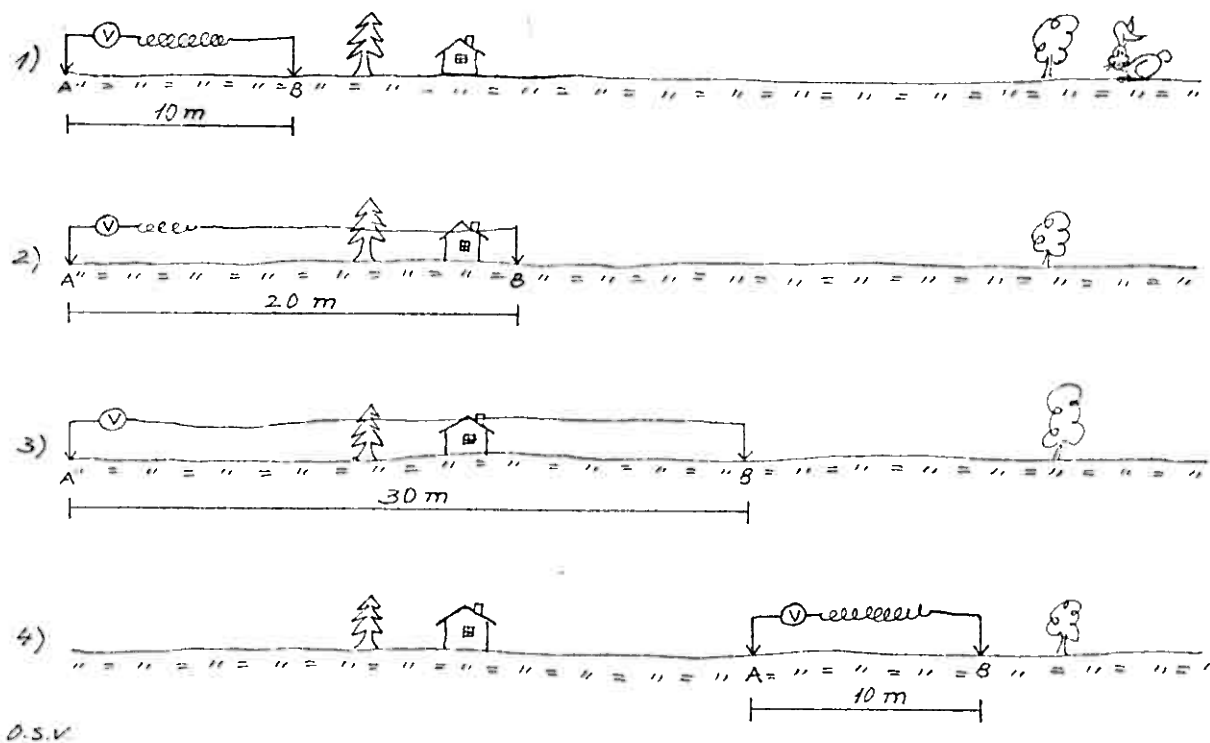
En kan tenke seg to mulige forklaringer på dette: 1) Feil med potensiometret. 2) Feil (f.eks. lekkasje av CuSO_4 -løsning) i en eller begge elektrodene. Det kan i denne forbindelse nevnes at samtlige (tilsammen 3) batterier i potensiometret ble skiftet ut like før feltarbeidet startet.

Noe egentlig forsøk på å finne feilen ble ikke gjort, men et meget følsomt voltmeter (utslagsinstrument), nylig konstruert og bygd ved Geofysisk Avdeling, NGU, ble skaffet

gjennom Ole B. Lile. De gamle treproppene i CuSO_4 -elektro-
dene ble byttet ut med to nye provisoriske, laget med kniv
av grankvist og "Araldit". På dette tidspunkt måtte dessverre
assistent Morten Skaland slutte på grunn av skolegang, og
da SP-målinger krever to mann, ble det bare målt SP en lang
dag. Til sammen ble vel 4 km profil målt med 10 m mellom
målepunktene.

(c) Feltprosedyre.

Målingene ble utført på følgende måte:



Figur 29.

Undertegnede gikk med elektrode A og voltmetret. Assisten-
ten gikk med elektrode B. For hver posisjon av elektrode A
ble tre avlesninger gjort: med elektrode B henholdsvis 10,

20 og 30 m fra A. Deretter ble A flyttet til B's siste posisjon, og det samme gjentatt langs hele profilet. Dette måleopplegget var m.a.o. en kombinasjon av "kjedemåling" og "Rereransemåling" (Larsen 1974 s. I-7).

Ved Tingstad Gruve ble det i tillegg målt SP på tvers av profilene, slik at samtlige profiler i dette området ble knyttet sammen.

(d) Behandling av data fra SP-målingene.

Det naturlige, relative elektriske potensial for hvert enkelt målepunkt ble funnet ved algebraisk summering av de målte spenningene. Også potensialforskjellene fra profil til profil ved Tingstad Gruve ble tatt med i denne utregningen, slik at data fra ett profil uten videre kan sammenlignes med data fra de andre profilene i samme området.

Resultatet ble til slutt plottet profilvis som potensialkurver. Null-nivået er tilfeldig, og for så vidt uinteressant da det er potensial-variasjonene som er grunnlaget for tolkingen.

En vanlig måte å fremstille SP-data på, er å tegne ekvipotensialkart. Et noenlunde riktig ekvipotensialkart er vanligvis greit å framstille når en har målt SP i et kvadratisk rutenett. Med det måleopplegget som her er brukt, med stor profilavstand i forhold til avstanden mellom målepunktene langs ett profil, er det en meget stor sjanse for at ekvipotensiallinjene som det synes naturlig å tegne opp, vil gjengi det egentlige potensial-fordelingsmønstret på en feilaktig måte. Dette skyldes at en langs profilet vil registrere hyppige variasjoner i potensialnivået, mens eventuelle slike variasjoner ikke vil bli registrert i retningen normalt på profilene da en har for lang avstand mellom disse. En vil på denne måten lett kunne få inntrykk av at det finnes et SP-drag normalt på profilretningen, selv om dette i realiteten ikke eksisterer (Lile, muntlig meddelelse 1974).

(e) Diskusjon av SP-kurvene - Tingstad (bilag nr. 6).

SP-kurvene på dette bilaget viser fem klare anomalier:

950 x/200Y: Dette punktet har et potensial på ca. -160 mV i forhold til 1020 x/200 Y (70 m borte). Kurven viser en klart assymetrisk form, med størst gradient mot NNØ. Ut fra den erfaring en har fra måling over ledende mineraliseringer, tyder dette på en mineralisering med fall mot (ca.) N-NØ. Den geometriske sammenhengen mellom kurveform og anomalieårsak er også vist ved tallrike modellfosøk, bl.a. i en hovedoppgave ved NTH (Nordberg, 1972). En slik fallretning er forenlig med de geologiske observasjonene fra Tingstad Gruve. Kurven har sitt minimum ved 9500 X. Dette skulle indikere at mineraliseringen har utgående her.

Området rundt gruva er imidlertid sterkt "forurenset" av gråberg med tildels stor innblanding av sulfidmineraler. Dette finnes dels som berghalder rundt de to dagåpningene, dels som fyllmateriale i vegen som går gjennom området. Ellers må vi regne med at materialet er blitt spredt rundt omkring under og etter gruvedriftperioden rundt århundreskiftet. Det ser ut til som om jordsmonnet rundt denne største anomalien har særlig stor innblanding av sulfidisk materiale, så en skal ikke se bort fra at denne faktoren kan ha hatt en viss innflytelse på potensialkurven.

1070 X/200 Y. Denne anomalien er ikke fullt så kraftig som den forrige, og den er nesten helt symmetrisk. Da den faller sammen med en dreneringsgrøft gjennom ei myr, synes det rimelig å forklare anomalien med et dreneringsrør gjennom myrområdet (Lile, muntlig meddelelse 1974).

990 X/100 Y. En har også her en symmetrisk anomali. Anomalieårsaken er trolig en vannledning på garden Bergsmo.

670 X/400 Y viser en tilsynelatende svakt assymetrisk anomali, som med meget stor sikkerhet kan settes i forbindelse med en vannledning som krysser profilet her.

440 X/500 Y. Denne symmetriske anomalien som ser ut til å være forårsaket av disseminerte sulfider i en amfibolitt som har utgående her. Potensialet over amfibolitten ligger ca. 65 mV under nivået for sidebergarten.

(f) Diskusjon av måleresultatet - Slåtsveet (bilag nr. 7).

På grunnlag av VLF-anomaliene ved 600 N/1500-1600 Ø ble profil 600 N målt med SP. Resultatet støtter opp om VLF-indikasjonen som tyder på to ledende soner.

SP-kurven har to forholdsvis kraftige minima; et på 1460 Ø og et på 1580 Ø. Disse skulle definere utgående. Potensialforskjell mellom maksimalverdi og minimalverdi er ca. 300 mV, dvs. en anomali av den størrelsesorden en kan vente seg over utgående av en kisimpregnert sone.

Den vestligste anomalien har en assymetri som tyder på et østlig fall, noe som stemmer dårlig med de geologiske observasjonene. Dette kan tenkes forklart på to ulike måter: Enten er en eventuell mineralisering diskordant i forhold til garbenskiferens foliasjon, eller det kan være mer eller mindre uregelmessig, men konkordant impregnasjon, kanskje som flere mineraliserte soner. Da en har med metamorfe sedimentære bergarter å gjøre, er den siste forklaringen utvilsomt den mest sannsynlige.

Den østlige anomalien har ingen klar asymetri, og har trolig en helt analog årsak.

(4) Måling av tilsynelatende spesifikk motstand (RP).

(a) Hensikten med målingene.

Som det har gått fram av det som er skrevet om VLF og SP, gjensto det adskillige spørsmål i forbindelse med tolking etter samtlige kurver var tegnet opp og studert. Som et forsøk på å oppklare noe av dette, ble det derfor langs to spesielt utvalgte profiler - profil 250 Y, Tingstad og profil 600 N, Slåtsveet - målt tilsynelatende spesifikk motstand.

Ved Tingstad Gruve ble metoden benyttet primært fordi en

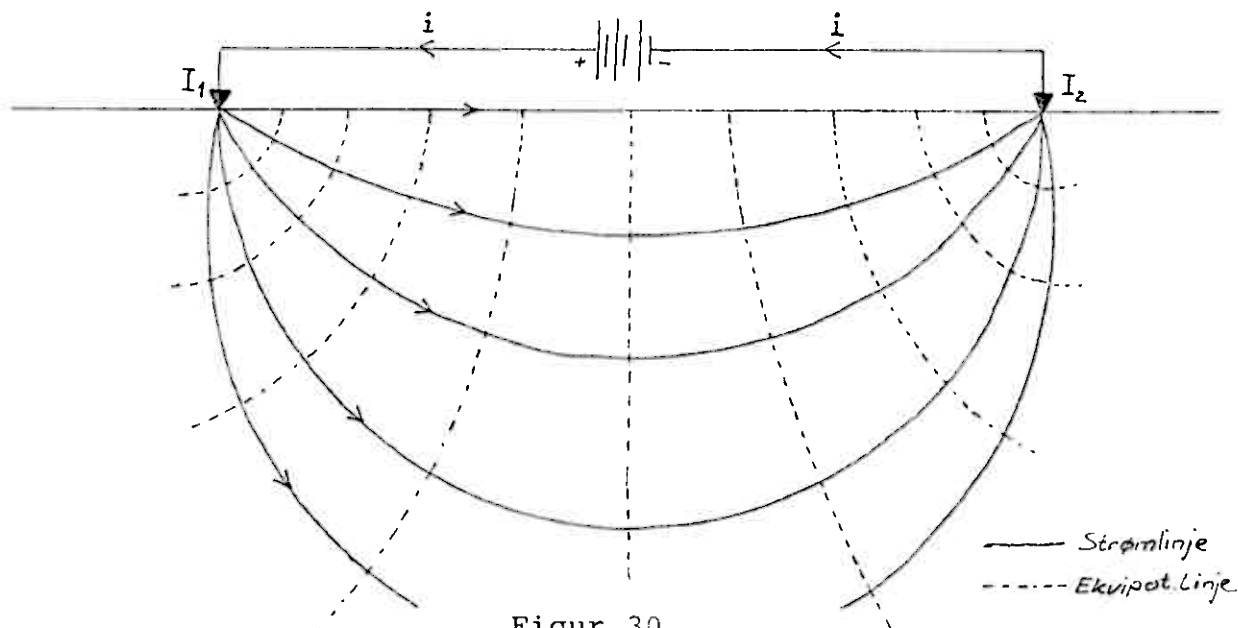
var i tvil om årsaken til den noe spesielle og meget systematiske VLF-"anomalien" i området. Dipvinkel- og imaginærkurvens forløp gjentar seg over mange profil, så det synes rimelig å anta at anomalieårsaken er den samme for alle profilene. Dersom en ved hjelp av RP-målinger kunne skaffe opplysninger om de øverste lags elektriske ledningsevne, og på denne måten forklare VLF-kurvenes forløp, burde dette kunne hjelpe til å løse problemet for hele området.

SØ for Slåtsveet indikerer både VLF- og SP-kurvene et anormalt område rundt 600 N/1500-1600 Ø. Resultatene fra disse målingene gir imidlertid ikke noe entydig bilde av anomaliårsaken. En fant det derfor fornuftig å forsøke å øke mulighetene for en riktig tolking ved å supplere med RP-måling over anomalien.

Årsaken til at bare to profiler ble målt, er at denne metoden på grunn av kabelutlegg, jording av fjernelektroder, tilkopling av spenningskilde osv. er langt mer tidkrevende enn VLF og SP. Det at RP-målingene ble gjort i måneds-skiftet oktober/november medførte at arbeidshagens lengde pga. mørket ble begrenset.

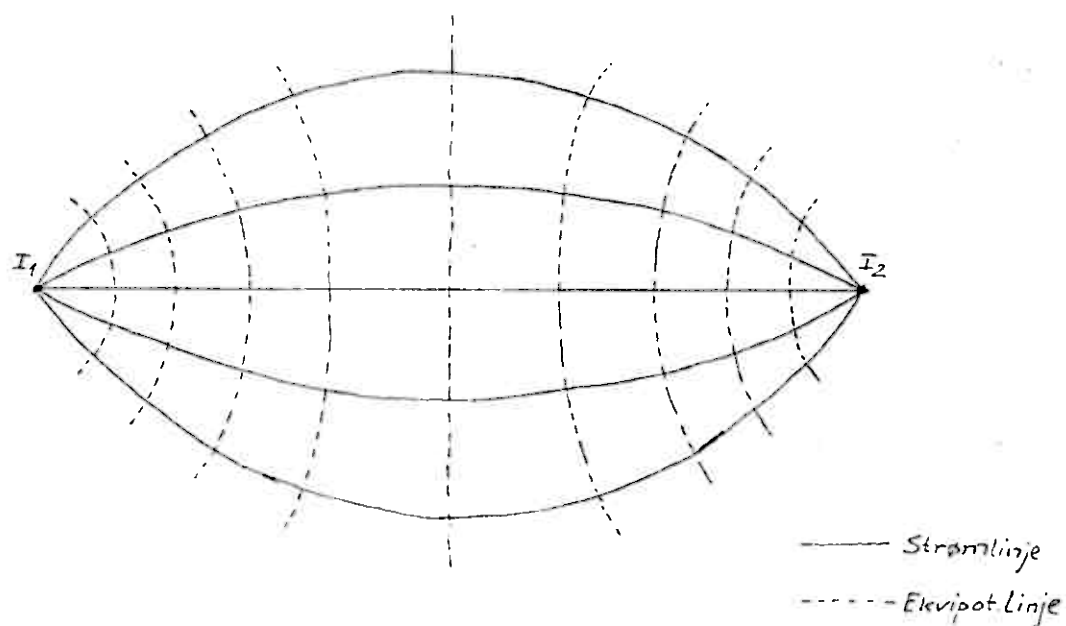
(b) Prinsipp.

Prinsippet for RP-måling er enkelt. Når en med en viss avstand stikker to elektroder ned i ledende grunn, og kopler disse via isolerte ledere til en strømkilde, f.eks. de to polene på et batteri, vil strøm gå en veg gjennom lederen og tilbake gjennom bakken. Et skjematisk framstilt horisontalsnitt til illustrasjonen:



Figur 30.

Spenningen mellom elektrodene I_1 og I_2 gir en strøm gjennom grunnen (isotrop og homogen grunn).



Figur 31.

De tilsvarende strømlinjer og ekvipotensiallinjer på overflaten (isotrop og homogen grunn).

Strømmen som går gjennom dette systemet blir registrert ved hjelp av et amperemeter som er plassert på ledningen mellom strømkilder og et av jordingspunktene.

Med to upolariserbare elektroder ("potensial-elektroder"), isolert ledning, et følsomt voltmeter eller potensiometer kan en nå, som ved SP-måling, registrere elektrisk spenning mellom forskjellige punkt på bakken. Forskjellen er at en i SP kun er interessert i naturlige spenninger, mens en i RP er ute etter spenninger som er forårsaket av strømmen gjennom kretsen.

Det en måler med strømmen slått på, er summen av SP og RP. En må også måle SP-verdien (med strømmen slått av) og subtrahere denne for å finne den spenningsverdien en skal ha.

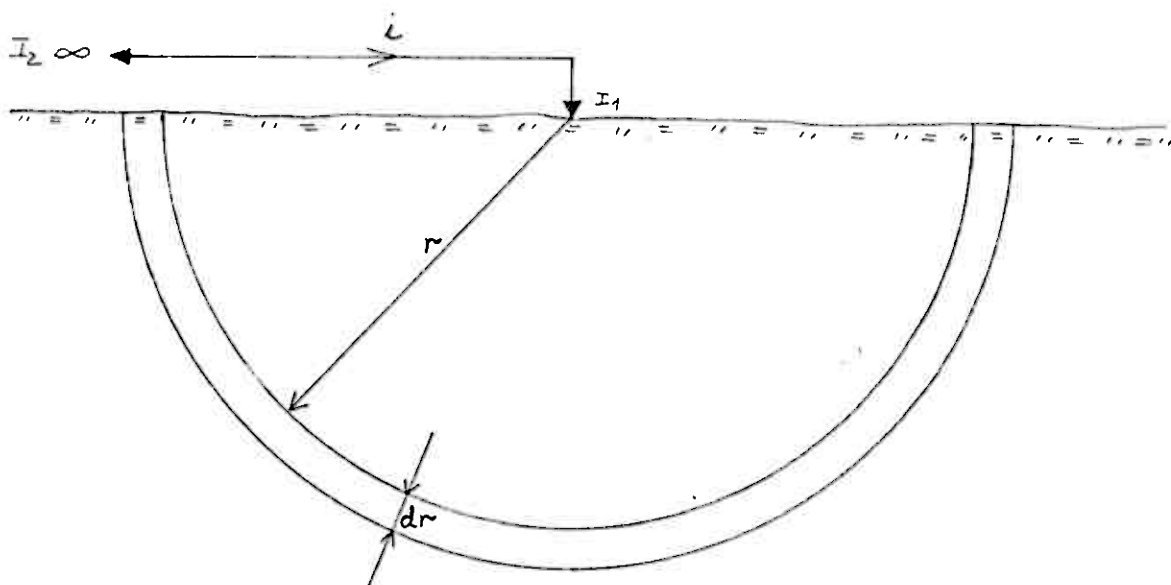
Målingene ble gjort med pol-pol konfigurasjon, i prinsippet slik:



Figur 32.

Regneformelen for tilsynelatende spesifikk motstand (ρ_a) kan utvikles slik:

Vi tenker oss som vanlig et idealisert tilfelle; en plan jordoverflate og et homogent, isotropt geologisk materiale med spesifikk motstand (resistivitet) ρ . I_1 og I_2 er de to strømelektroderne, I_2 er fjernelektroden ved pol-pol konfigurasjon.



Figur 33.

i er strømmen som går gjennom elektroden I_1 og dermed også gjennom halvkuleskallet med radius r og tykkelse dr .

Potensialfallet over halvkuleskallet blir:

$$dV = R \cdot i = \rho \cdot \frac{dr}{2\pi r} \cdot i = \frac{i \cdot \rho \cdot dr}{2\pi r^2}$$

Ved å integrere fra 0 til r får vi potensialfallet $v(r)$ over en strekning r fra I_1 ;

$$V(r) = \int \frac{i \cdot \rho \cdot dr}{2\pi r^2} = \frac{i \cdot \rho}{2\pi} \int \frac{dr}{r^2} = \frac{i \cdot \rho}{2\pi r}$$

(Parasnis 1972 s. 78)

Når vi erstatter den generelle $V(r)$ med ΔV som vi måler mellom to punkter på overflaten, blir uttrykket for den tilsynelatende spesifikke motstanden:

$$\rho_a = 2\pi \frac{\Delta V}{i \cdot G}$$

der G er en geometrisk faktor bestemt av elektrodekonfigurasjonen;

$$G = \frac{1}{I_1 P_1} - \frac{1}{I_2 P_1} - \frac{1}{I_1 P_2} + \frac{1}{I_2 P_2}$$

(Parasnis 1972 s. 79).

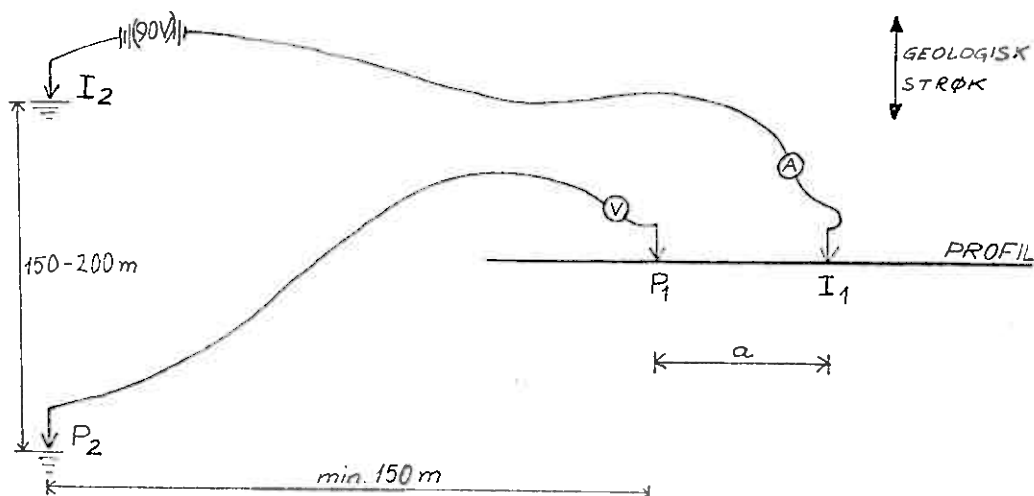
Ved pol-pol konfigurasjon er som regel avstandene $I_2 P_1$, $I_1 P_2$ og $I_2 P_2$ så store i forhold til $I_1 P_1$ at en med god grunn tillater seg å stryke de tre siste leddene i det fullstendige uttrykket for G , slik at en med god tilnærming får

$$G = \frac{1}{I_1 P_1} = \frac{1}{a}$$

Ved å variere a (=avstanden mellom elektrodene under målingen forflyttes langs profilet) kan en skaffe seg informasjon fra forskjellig dyp. Liten a gir lite dyp og omvendt. Ved dybde-sondering er det vanlig å plotte den utregnede ρ_a -verdien på dypet $\frac{a}{2}$ under midtpunktet mellom elektrodene.

(c) Måleopplegg.

I og med at målingene skulle utføres av undertegnede med en assistent, var framgangsmåten langt på veg bestemt. Fig. 34 viser den innbyrdesplasseringen av strømelektrodene I_1 og I_2 og potensialelektrodene (måleelektrodene) P_1 og P_2 . I_1 og P_1 flyttes mellom hver avlesning, mens I_2 og P_2 er stasjonære ("fjernelektroder").



Figur 34.

Begge profil ble målt med $a = 10$ m og $a = 40$ m i håp om å kunne skille mellom en overflatenær anomaliårsak og en naturlig leder som strekker seg forholdsvis dypt. Målingene med $a = 10$ m ble gjort på veg bort fra fjernelektrodene, mens den dypere registreringen ble gjort på tur tilbake samtidig som kabelen ble snellet inn. Avstanden mellom målepunktene var h.h.v. 10 m og 20 m.

(d) Behandling av data.

Da minste verdi for I_2P_1 og for I_1P_2 i dette tilfellet var 150m, som også er avstanden mellom I_2 og P_2 , blir de tre siste leddene i det nøyaktige uttrykket for den geometriske faktoren G såvidt store at den tilnærmede formelen $G = 1/a$ gir for stor feil. ^{når $a = 40$ m} Kontrollregning viser at verdien for ρ_a blir nesten 30% for liten for målepunktene som ligger nærmest fjernelektrodene. Feilens størrelse er en funksjon av avstanden til fjernelektrodene, og blir positiv på andre enden av profilet. En fant det derfor hensiktsmessig å sette inn det fullstendige uttrykket for G når en beregnet ρ_a for $a = 40$ m.

Dette ble gjort med en liten elektronisk kalkulator, men ved større datamengder ville det vært seg å lage et regneprogram for EDB.

De utregnede verdiene for tilsynelatende spesifik motstand ρ_a ble avsatt langs en lineær Ω m-skala og kurven tegnet opp langs profilet. Både ρ_a for $a = 10$ m og ρ_a for $a = 40$ m ble tegnet inn i samme diagram.

(e) Diskusjon av måleresultatene - Tingstad (bilag nr. 8).

RP-kurvene viser igjen anomali som ser ut til å være forbundet med mineraliseringen. Dette kan skyldes at meste parten av malmen nær profil 250 Y er drevet ut.

Kurven for $a = 10$ m viser at overdekkets ledningsevne mellom 800 X og 1000 X enn på andre siden av mineraliseringen.

Kurven for $a = 40$ m viser høge verdier for ρ_a mellom 1050 X og 1180 X. Dette tyder på at en her har et tynt overdekke

over en dårlig ledende bergart.

Mellom 1200 X og 1300X viser kurven for $a = 10$ m høy motstand i det øverste skikt, mens det forholdsvis lave nivå for $a = 40$ m-kurven indikerer lav motstand lenger ned. Forklaringen er trolig følgende: Området, som er dekt av myr og myraktig jord, er drenert slik at det øverste laget er tørt og leder dårlig. Dersom myra er forholdsvis dyp, kan en tenke seg at den dypere del ikke er blitt drenert, og derfor har en større ledningsevne enn det øverste laget.

RP-målingene viser høye verdier for den tilsynelatende spesifikke motstanden der hvor VLF-kurven har sine før omtalte høye imaginærverdier og lave dipvinkel-verdier. Undertegnede har imidlertid ikke kunnet forklare denne sammenhengen, til tross for atskillig hodebry.

(f) Diskusjon av måleresultatene - Slåtsveet (bilag nr. 7).

Kurven for $a = 10$ m tyder på forholdsvis god ledningsevne i de øverste lag ved 1420-1450 Ø og ved 1570 Ø. Dette er forholdsvis godt sammenfallende med SP-anomaliene, men den vestligste av disse to RP-anomaliene synes å falle noe for langt mot vest til å passe helt sammen med VLF-anomalien. Forklaringen kan imidlertid være en mindre feil med koordinatene, da en ikke hadde stikningsnett å gå etter.

Kurven for $a = 40$ m viser bare svært beskjedne variasjoner over det interessante området, og er vel hverken egnet til å styrke eller til å avfeie håpet om å finne en mineralisering.

1340 Ø viser en liten RP-anomali ($a = 40$ m). Men SP-anomalien er meget svak og VLF-anomali mangler helt på dette punktet.

(5) Konklusjon.

Den metoden som har gitt mest informasjon ved Tingstad Gruve er SP-målingen. En har en tydelig anomali ved mineraliseringen utgående som stemmer godt med de geologiske observasjonene. SP-kurvene tyder på mineraliseringen er av liten

utstrekning. VLF-målingene forstyrres delvis av kraftlinjer. De kurvene en sitter igjen med fra VLF har en ikke kunnet gi tilfredsstillende forklaring på, men mineraliseringen har ikke gitt noen anomali.

Øst for Slåtsveet har en geofysikkresultater tydet på en ledende sone ved ca. 1470-1490 Ø og en ved ca. 1580 Ø, begge registrert på profil 600 N. Andre interessante indikasjoner er ikke påvist.

III GEOKJEMI.

(1) Jordprøvetaking.

(a) Utvelging av område for jordprøvetaking.

På samme måte som for de geofysiske målingene, var det særlig området rundt Bergsmo og området Ø for Slåtsveet som det kunne være ønskelig å prøveta.

Jordprøvetaking ved Bergsmo (omkring Tingstad Gruve) ble imidlertid sløffet fordi:

- (i) Det er tidligere nevnt at området omkring gruva for en stor del er dyrket. Dette vil trolig ha drastiske konsekvenser for resultatene av en eventuell jordprøvetaking, da en i jord som gjennom lang tid har vært utsatt for maskinbruk og kunstig gjødsling må forvente en betydelig forurensning av metall og andre grunnstoff. Ved vurdering av dispersjonsmønster i slik jord vil en med andre ord vanskelig kunne gi en tilfredsstillende tolking. Det skal også nevnes at prøver fra "god matjord" har mye organisk stoff og er forholdsvis problematiske å behandle for atomabsorpsjonsanalyse (Horgmo, muntlig meddelelse 1974), selv om det siste ikke er avgjørende.
- (ii) For å få opplysninger om jordprofilen ble det tatt prøver flere steder rundt Tingstad Gruve for visuell undersøkelse. Disse prøvene viste at en under et "matjord"-lag av varierende tykkelse har marin leire, noe en måtte vente da området ligger langt under den marine grense. Mektigheten av den marine leiren er ukjent, men ut fra de topografiske forhold synes det rimelig å vente til dels store mektigheter. Et slikt jordprofil må betraktes som ugunstig, ikke minst fordi mektigheten er ukjent.
- (iii) Da det rundt århundreskiftet var drift i Tingstad Gruve, ble det sprengt ut ganske store mengder malm og sulfidførende sideberg. Berghalder finnes flere steder rundt gruva, og lokalkjente folk har fortalt at materiale fra berghaldene i lang tid er blitt brukt til grusing av en veg som går gjennom området. En må dessuten regne med at slikt materiale ved transport

osv. er blitt spredt utover.

På grunnlag av (1), (2) og (3) må en konkludere med at et geokjemisk dispersjonsmønster i jordsmonnet rundt Tingstad Gruve ville bli umulig å tolke, da en interessant mineralisering bare ville være en av mange faktorer som kunne gi innflytelse.

Syd for innmarka ble imidlertid ett profil prøvetatt, primært for å finne ut om og i tilfelle hvilken type geokjemisk anomali den tynne konkordante amfibolitten gir (profil 500 Y).

I dreneringsområdet for bekkene hvor Cu-Zn-anomaliene er påvist, er forholdene for jordprøvetaking langt gunstigere. Forurensingskildene er ikke andre enn de som knytter seg til utstrakt mekanisert jordbruk og annen ferdsel i utmark, og overdekket forholdsvis ensartet med små mektighetsvariasjoner.

(b) Opplegget for prøveinnsamlingen.

Foruten det nevnte profilet SØ for Tingstad Gruver, ble 6 av de 8 profilene som ble målt med VLF Ø for Slåtsveet, prøvetatt. VLF-kurvene fra det sydligste og det nordligste av disse profilene er nesten helt flate, så jeg fant det forsvarlig å utelate disse under den geokjemiske undersøkelsen.

Profilavstanden på 200 m er utvilsomt for lang dersom hensikten er å presentere analyseresultatene som et noenlunde nøyaktig (og riktig!) kotekart. Under-tegnede hadde imidlertid det for øyet at formålet var å innhente data som skulle danne grunnlaget for en avgjørelse om hvorvidt feltet var interessant som malmletingsområde. Prøvene ble langs profilene tatt såvidt tett som 20 m. Geometrisk ble m.a.o. opplegget fra VLF-målingene fulgt, og tankegangen som lå bak var analog; en eventuell utgående vil sannsynligvis være orientert i strøkretningen og må ha en viss minstestørrelse for å være økonomisk attraktiv - derfor kan en lang profilavstand forsvares. Da en ønsker å "fange" mineraliserte soner selv om disse

skulle være tynne, ble kravet om "oppløsningsevne" ivarettatt ved å velge prøvepunktavstand på 20 m. At prøvetakingen blir gjort langs VLF-profilene, bidrar dessuten til å lette tolkingen av resultatene.

(c) Prøvetakingen.

Det dominerende jordprofilet var podzol. Tykkelsen på de forskjellige lag i profilet varierte mye, likeså jordas komfordeling og vanninnhold. Notater i dagboka viser imidlertid at ca. 90% av prøvepunktene hadde middels til godt utviklet podzolprofil. Jernpodzol og jernhumuspodzol er vanligst, men i mer humusrike områder var et typisk humuspodzolprofil med gråsvart utfellingslag utviklet (Låg 1965 s.99).

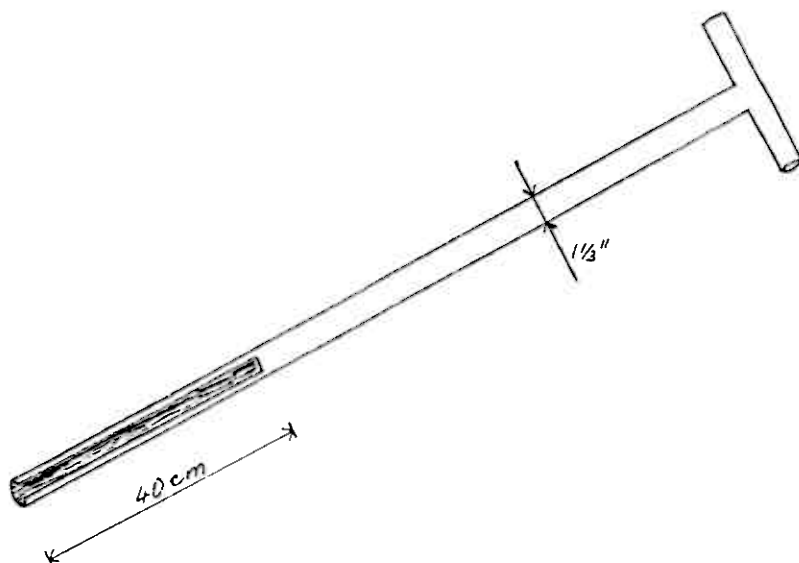
I et slikt jordprofil kan en ta prøvene på to prinsipielt ulike måter: En kan ta alle prøvene på ett bestemt dyp under overflaten, eller en kan konsekvent samle inn materiale fra en bestemt horisont.

Med de store variasjonene i tykkelse på humus- og bleikjordlag som ble påvist under en forberedende rekognosering, ville prøvetaking på konstant dyp medført at noen prøver ville blitt tatt i humuslaget, andre i bleikjordlaget osv. Eller en kunne valgt et forholdsvis stort dyp, men da ville prøvetakingsutstyret blitt i letteste laget.

Undertegnede fant det derfor gunstigst å prøveta i utfellingslaget (B_2). Foruten å være lett å prøveta, har dette laget den vesentlige fordel at materialet er lett å bearbeide og å analysere uten å gå vegen om forasking (Bølviken, muntlig meddelelse 1974).

I myrjord, som er rik på organisk materiale, vil helt andre affinitetsforhold herske enn det som er tilfelle i f.eks. utfellingslaget i podzolprofilet. De fleste metaller vil ha mer eller mindre lett for å binde seg til organisk materiale, noe som medfører at myrprøvene ikke kan tolkes på samme måte som de andre jordprøvene. Prøvetaking i myr ble derfor ikke gjort.

Redskapet som prøvene ble samlet inn med var laget av Folldal Verk A/S. Konstruksjonen er enkel og formålstjenlig;



Figur 36.

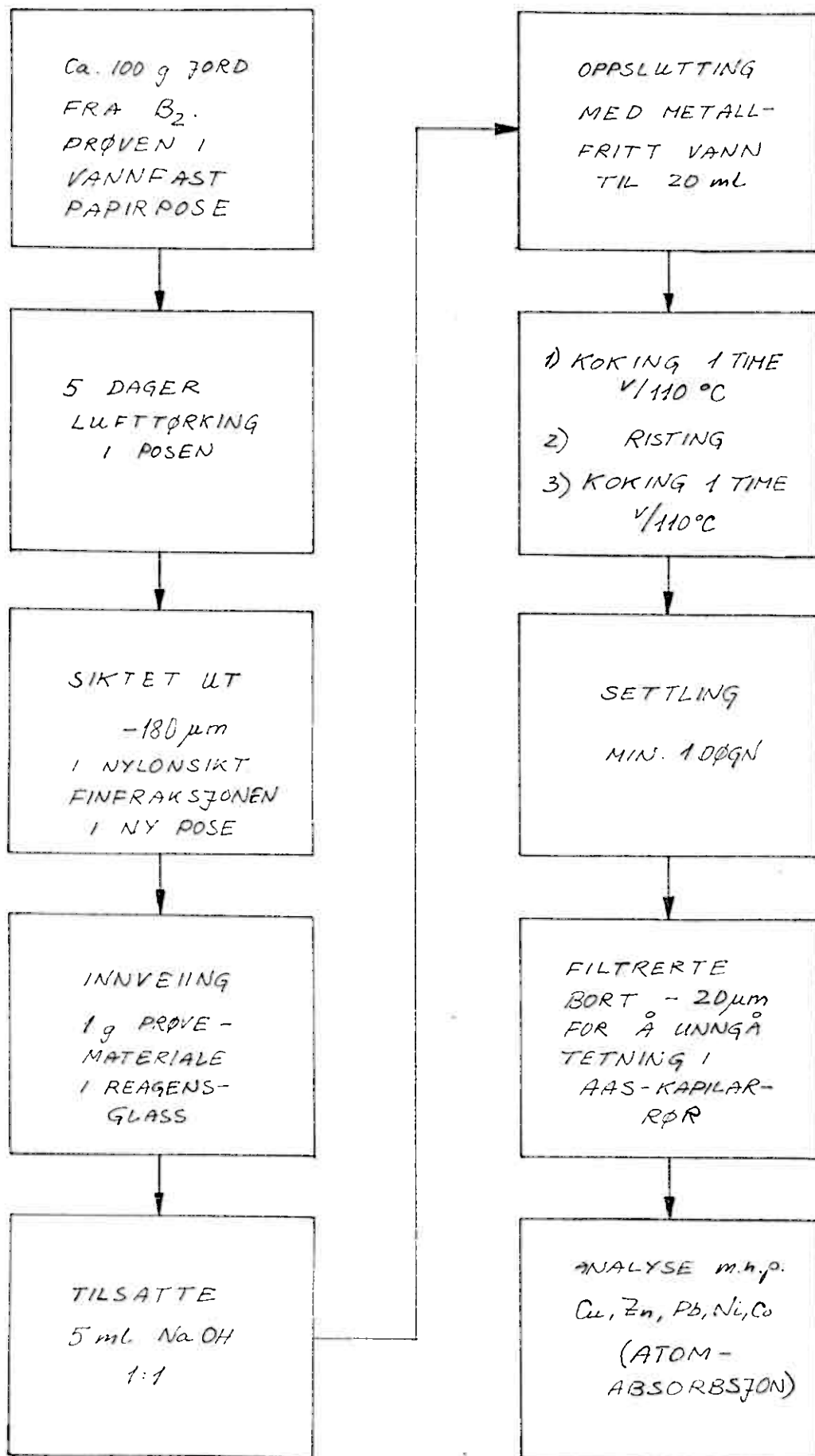
Et $1\frac{1}{2}$ " jernrør er spisset nederst ved å slipe ned ytre kant og deretter bøye den litt innover slik at prøven ikke skal gli ut når redskapet trekkes opp. En ca. 40 cm lang spalt er så saget ut - dermed blir det noenlunde lett å få ut prøven. Øverst er en tverrligger sveist fast som håndtak. I blokkfri jord går det vanligvis an å prøveta ned til 70-80 cm. Eventuell fast torv ble fjernet med spade før selve boringen. Ca. 100 gram materiale ble samlet inn fra hvert punkt. Utfellingslaget var ofte meget tynt, slik at en måtte ta opp flere prøver fra et punkt for å få nok jord fra riktig lag.

(d) Preparering og analyse av prøvene.

Prøvebehandling og analyse ble gjort av undertegnede. Forbehandling ble utført ved Kjemisk Avdeling, NGU, mens selve analysen ble gjort ved Geologisk Institutt, NTH.

Fig. 37 viser skjematisk behandlingen av prøvene.

De ca. 200 prøvene ble analysert m.h.p. 5 grunnstoff: Cu, Zn, Pb, Ni og Co. Begrunnelsen for dette valget er følgende:



Figur 37.

Behandling av jordprøvene.

Cu og Zn: Da de påviste bekkesedimentanomaliene er Cu-Zn-anomalier, var det innlysende at jordprøvene måtte analyseres m.h.p. disse to grunnstoffene.

Pb.: Det er tidligere nevnt at eventuelle andre mineraliseringer dannet på samme måte som den ved Tingstad Gruve, ikke kan ventes å inneholde blyglans. De kompliserte geologiske forhold i feltet medfører imidlertid at en ikke kan utelukke muligheten for å finne blyførende mineraliseringer. At bly ikke gir særlig imponerende bekkesedimentanomaler kan forklares ved blyets lave løselighet og dermed en meget lav mobilitet (Hawkes and Webb 1962 s. 367).

Ni og Co: De to modalanalysene fra intrusivene viser en diorittisk sammensetning, altså en bergart som en erfaringsmessig vet ikke fører økonomisk interessante mengder nikkell. Undersøkelsen av intrusivene er imidlertid altfor overfladisk til at sjansen for å finne tidligere magmatiske differensiater, med eller uten nikkelfineraler, kan avskrives. En førende intrusjon er kjent fra Dyrhaugen (Løvaas 1970).

Da Co gjerne er assosiert med Ni i slike forekomster, ble også dette metallet tatt med i analysen.

(e) Behandling av datamaterialet.

Hensikten med å samle inn jordprøver systematisk innen et begrenset område og finne innholdet av en del grunnstoff, var å skaffe seg et bilde av den geografiske fordelingen av disse grunnstoffene. I tråd med de fleste malmleteres tenkemåte kunne en si: Hvor er konsentrasjonen av et element låg til moderat, hvor er den høg og hvor er den svært høg.

Når det tidligere hverken er gjort tilsvarende prøvetaking i nærheten eller regional jordprøvetaking i området, har en ikke annet pålitelig sammenligningsmateriale enn de 200 prøvene som undertegnede samlet inn. For å kunne sammenligne disse prøvene med hverandre, må en gjennom en enkel statistisk bearbeidelse skaffe seg oversikt over fordelingen av de forskjellige gehaltene.

Den statistiske bearbeidelsen ble gjort etter de retningslinjer som er gitt av geokjemiker Bjørn Bølviken (1971).

Analyseringsresultatene ble først opptalt gruppevis og plottet som frekvensfordelingsdiagram (bilag 9 - 13). Dette viser hvor mange prosent av prøvene som ligger innen hver gehaltgruppe.

Deretter ble frekvensene kumulert nedenfra og plottet på sannsynlighetspapir (papir med ordinat inndelt etter Gauss' integral for normalfordeling). (bilag nr. 14-18). Sannsynlighetspapir med logaritmisk abscisse ble brukt. En lognormal fordeling (en fordeling hvor logaritmene til analyseresultatene er normalfordelt) ble brukt. Dersom verdiene har lognormal fordeling, vil plottepunktene bli liggende på en rett linje.

På sannsynlighetspapiret er det langs ordinaten avsatt en skala som viser medianen og beliggenheten av ett, to og tre standardavvik over og under denne. For hvert av de 5 elementene ble dette brukt til å estimere medianverdien (M), ett standardavvik over medianen ($M.S'$) og to standardavvik over medianen ($M(S^1)^2$).

Analyseresultatene kan enten grupperes etter et egnet system og framstilles som et kart med f.eks. isokonsentrasjonslinjer, eller de kan framstilles profilvis.

Selve prøvetakingsopplegget med 200 m profilavstand og 20 m punktavstand langs profilet er allerede omtalt og begrunnet. Gjennom en slik prøvetaking registrerer en hyppige variasjoner langs profilretningen, mens eventuelle hyppige variasjoner i bergartenes strøkretning ikke blir påvist. Et kart med isokonsentrasjonslinjer kan derfor ikke tegnes med rimelig sikkerhet, med mindre en vet at eventuelle geokjemiske anomalier vil være regelmessig bundet til enkelte stratigrafiske lag.

Da det ikke framgår av analyseresultatene at denne betingelsen er oppfylt, har en valgt å framstille alle data profilvis. Undertegnede anser denne løsningen som mindre god enn et riktig kotekart, men bedre enn et kotekart som er feil og dermed direkte villedende.

For å gi best mulig oversikt, er dispersjonen av hvert enkelt element langs de forskjellige profil sammenstilt med geologi/

topografi og framstilt på ett ark. M , $M.S'$ og $M(S^1)^2$ er markert med linjer som er påskrevet de tilsvarende ppm-verdier. (Bilag nr. 19-23). De konsentrasjoner som overskrider medianen med mer enn to standardavvik er påskrevet ppm-verdi. For å lette sammenligningen mellom dispersjonsmønstrene for de 5 elementene, er de i tillegg plottet sammen på ett ark med ppm-skala (bilag nr. 24).

Logaritmisk konsentrasjonskala ble valgt for å få en rimelig størrelse på de høyeste toppene og samtidig få fram variasjoner innen de lavere gehaltene. Idéen er hentet fra Mehrrens (1966).

(f) Diskusjon av den geokjemiske dispersjonen øst for Slåtsveet (Bilag nr. 19-23).

Når en har et sekundært dispersjonsmønster for et element foran seg, er det alltid vanskelig å sette en grense for hvor høy konsentrasjon en prøve må ha for å være interessant. Med et prøvemateriale på bare ca. 200 prøver fra et areal på vel 1 km^2 blir dette nærmest umulig, fordi grunnlaget for pålitelige (representative) statistiske opplysninger mangler. Såvidt vites finnes det heller ikke data fra jordprøveinnsamlinger over samme bergarter i nærliggende områder. I dette tilfellet vil en derfor i meget stor grad være henvist til å plukke ut de mest lovende områder på annet grunnlag enn resultatet fra den utførte statistiske bearbeidelsen.

I denne forbindelse kan tabell 2 og tabell 3 være nyttige:

	Cu	Zn	Pb	Ni	Co
Jord					
Gjennomsnitt	20	50	10	40	8
Område	2-100	10-300	2-200	5-500	1-40
Bergarter					
Basiske plutonske	80	130	12	160	45
Skifre	30-150	50-300	20	20-100	10-50

Tabell 2 Vanlig innhold av Cu, Zn, Pb, Ni og Co i jord og relevante bergartskategorier (ppm). Satt opp på grunnlag av data fra Hawkes and Webb (1962).

	Cu	Zn	Pb	Ni	Co
Metadioritt	200	300	-	100	25
Amfibolitt	500	300	10	100	-
Garbenskiifer	400	300	-	50	-

Tabell 3. Omtrentlig innhold av Cu, Zn, Pb, Ni og Ci i feltets viktigste bergarter (ppm). For å komme fram til verdiene har en først kjørt alle prøvene (3 fra hver bergart) på røntgenspektrograf. Deretter er to prøver analysert på AAS, og gehaltenene i de øvrige anslått på grunnlag av spektrogrammenes topper. Altså en halvkvantitativ undersøkelse.

Ut fra tabell 2 og tabell 3 samt den kumulative frekvensfordelingen og dispersjonsmønstret, gis hvert element en kort kommentar;

Cu: Områdets bergarter fører iflg. prøvene 2-3 ganger så mye Cu som gjennomsnittet, noe som gjenspeiles i jordsmonnet. Seks steder viser svært høgt Cu-innhold i B₂, med verdier høyere enn eller svært nær to standardavvik over medianen.

Zn: Bergartene har et Zn-innhold som ligger i overkant av gjennomsnittet. Jorda har jevnt over høge konsentrasjoner, og flere steder er svært høge verdier påvist. Disse er stort sett sammenfallende med de høge Cu-verdiene.

Pb: Innholdet i bergartene er normalt, noe som også kan sies om bakgrunnsverdien i jorda. Denne ligger på ca. 15 ppm. Noen av stedene som har høge Cu- og Zn-konsentrasjoner viser også anomalier på bly.

Ni og Co: Konsentrasjonen i bergartene er normal. Jordprøvene viser ingen interessante anomalier.

I den videre vurderingen kan en m.a.o. se bort fra nikkel og kobolt, og konsentrere seg om kobber, sink og bly.

Da sulfider av disse tre metallene ofte forekommer sammen, er det naturlig å forsøke å se de tilsvarende geokjemiske anomaliene i sammenheng. Det skiller seg da ut tre ulike anomalytyper;

- (i) Cu-anomalier som ikke er assosiert med spesielt høge Zn- og Pb-verdier. Disse er påvist to steder; Ved 1200N/1880 og ved 1000N/1740-17800. Førstnevnte punkt viser en Cu-verdi på ca. 1300 ppm, som er det høyeste som er påvist.
- (ii) Cu-Zn-anomali uten Pb. Den eneste anomalien av denne typen er påvist ved 600N/ca. 13500.
- (iii) Cu-Zn-Pb-anomalier. Slike har en ved 600N/16000 (hvor også geofysikk-resultatene indikerer en forholdsvis dårlig leder), ved 400N/16600 og ved 200N/2600.

Et iøynefallende trekk ved anomaliene er at Pb på grunn av sin lave mobilitet gir svært lokale anomalier, mens Zn og tildels Cu viser større utbredelse. Zn er som kjent et forholdsvis mobilt metall, mens Cu har en mobilitet som er sterkt avhengig av pH-verdien i det aktuelle mediet (Hawkes and Webb 1962 s. 364).

Alle disse kraftige anomaliene, der minst ett metall er påvist i en konsentrasjon som overskrider medianverdien med to standardavvik, er påvist over garbenskifer. Bortsett fra mobilitetsforholdene har en ikke kommet fram til noen åpenbar forklaring på hvorfor anomaliene har fått forskjellig karakter.

På grunnlag av geofysikkresultatene kan en si at gode ledere som kompakte kismalmer eller grafitthorisonter ikke finnes i området. Sjansene for forurensinger er små. Den sannsynlige årsak til de geokjemiske anomaliene synes derfor å være sulfid-, impregnasjon i området's metamorfe sedimenter.

Denne forklaringen er også forenlig med de høge metallkonsentrasjonene i jorda;

En impregnasjon av adskilte sulfidkorn vil gi en sirkulerende løsning anledning til å virke (løse opp metallfor-

bindelsene) på enkeltkornenes overflate. Dette vil ikke i samme grad være tilfelle for en kompakt kisforekomst. Det er derfor sannsynlig at en kisimpregnasjon i forhold til sitt totale sulfidinnhold vil gi en langt større epigene-tisk anomali i jordsmonnet enn det en kan vente fra en kompakt kisforekomst.

Da den høyeste påviste konsentrasjon av kobber er 1300 ppm (=0.13%) og av sink hele 2750 ppm (= 0.275%), ble det som et eksperiment laget polerslip av 6 jordprøver med mye kobber og/eller sink. En håpet på denne måten å avsløre eventuelle korn av kobberkis og sinkblende, noe som ville pekt i retning av et sterkt syngenetisk bidrag til disse anomaliene. Sulfidkorn ble ikke observert i mikroskop, men en kan godt tenke seg at disse fasene, som er ustabile i oksyderende miljø, er blitt oppløst.

(g) Diskusjon av den geokjemiske dispersjonen langs profil 500 Y vest for Tingstad Gruve (Bilag nr. 25).

Det ble prøvetatt fra 180 x til 840 x langs dette profilet. Da bergartene her stort sett er de samme som ø for Slåtsveet, ble de ikke skilt ut under den statistiske bearbeidelsen.

En Cu-Zn-anomali er påvist. Denne er å finne ved 200 x, og kommer fra en sulfidførende amfibolitt som er inntegnet på det geologiske profilet nederst på bilaget. Maksimal Cu-konsentrasjon er 90 ppm, maksimalt Zn-innhold er 510 ppm. Zn-anomalien rekker lenger nedover fra amfibolitten enn Cu-anomalien, noe som tyder på at Zn har en noe større mobilitet under de rådende forhold.

460 x viser en forholdsvis høy Pb-verdi (72 ppm). Denne blykonsentrasjonen er ikke assosiert med høgt innhold av noen av de andre metallene. Humusinnholdet i jorda er her meget stort, og det var vanskelig å skille ut noe sikkert B₂-nivå i jordprofilet. Blyets høye affinitet til organisk materiale har trolig forårsaket en viss opphopning av dette metallet her. (Hawkes and Webb 1962 s. 367).

Andre interessante anomalier er ikke påvist langs profil 500 .

ØKONOMISK VURDERING AV FELTET.

Den eneste mineralisering av betydning som en med sikkerhet kjenner til, er Cu-Zn-impregnasjonen ved Tingstad Gruve. SP-resultatene tyder på at denne forekomsten er av meget beskjeden størrelse.

De geologiske observasjonene viser at området har 1) pretektoniske sulfidhorisonter (amfibolitter) og 2) en foldestil som representerer en reell mulighet for betydelig sulfidmobilisering. Dermed skulle sjansene for å finne andre større eller mindre forekomster av Tingstad Gruve-typen i eller utenfor feltet være til stede.

En liten diskusjon av de viktigste økonomiske aspekter ved denne forekomst typen skulle derfor høre hjemme her;

I følge Vokes (1971 s. 124-126) hevder Hewett and Solomon (1964) at den relative mobilitet for sulfidmineralene pyritt-sinkblende-magnetkis-blyglans ved lave temperaturer er økende i den rekkefølge mineralene her er nevnt. Dette skal også gjelde ved høyere temperaturer (Vokes 1971 s. 124). Ved Tingstad Gruve er tre sulfider mobilisert: magnetkis, kopperkis (som i følge Waltham (1968) er mer mobilt enn magnetkis og sinkblende) og sinkblende. Det tredje sulfidmineralet som er vanlig i en del kaledonske kisforekomster, er blyglans som altså har større mobilitet enn de sulfidene som finnes i Tingstad Gruve. Dette må tolkes dit hen at sulfidisk bly ikke finnes i den type sulfidførende horisont som de mobiliserte malmmineralene stammer fra. Når en i tillegg vet at det geokjemiske dispersjonsmønsteret i bekkesedimentene stort sett bare viser kobber og sink i høge konsentrasjoner, må konklusjonen bli at disse to metallene trolig er de eneste som det knytter seg prospekteringsinteresse til i denne delen av Skjøttingendekket.

Eneste jernsulfid som er observert i Tingstad Gruve er magnetkis. Også amfibolittene er nesten fri for pyritt. Dette kan tyde på at en under dannelsen av sulfidmineralene hadde et overskudd på jern, dermed synes det rimelig å vente

en forholdsvis jernrik sinkblende. Resultater fra undersøkelse av sinkblende fra norske kisforekomster, som viser at magnetkisførende malmer har mer jern i sinkblenden enn malmer hvor pyritt er eneste jernsulfid (Ljøkjell 1974 s.6-7).

Dersom dette er riktig, vil det medføre to uheldige konsekvenser ved eventuell drift på en slik forekomst: 1) Jernet i sinkblenden inngår på sinkens plass i gitteret. Derfor fører en jernrik sinkblende mindre sink enn en som har lite jern - altså ett fattigere sinkkonsentrat. 2) Erfaringene tyder på at en jernrik sinkblende har dårligere flotasjonegenskaper enn en som er jernfattig (BVLI 1972 s. 1) noe som betyr mindre utvinningsprosent.

En har innen feltet påvist flere kraftige geokjemiske anomalier i jordsmonnet. En av disse faller sammen med geofysiske anomalier som indikerer to soner. Disse har forholdsvis dårlig elektrisk ledningsevne, og kan være sulfidimpregnasjoner.

En jernhattlignende rustutfylling i ei myr ca. 500 m ØSØ for Slåtsveet skriver seg helt eller delvis fra magnetkis i metadioritten like ovenfor myra.

Med sin jevnkornige eruptivtekstur og homogene karakter er trolig metadioritten en bergart med stor mekanisk styrke, og kan være en aktuell kilde for pukkproduksjon.

FORSLAG TIL VIDERE UNDERSØKELSER.

SP-resultatene tyder som nevnt på at mineraliseringen ved Tingstad Gruve er liten. Videre undersøkelser av denne impregnasjonsforekomsten anbefales derfor ikke.

På grunnlag av resultater fra de indirekte metodene kan en peke ut et område som synes å være det mest lovende innen feltet, og som undertegnede mener fortjener en oppfølging.

Når en på grunnlag av geofysisk (og geokjemiske) indikasjoner skal undersøke anomaliårsaken ved hjelp av diamantboring og/eller røsking, er det naturlig å begynne på det sted hvor indikasjonene er mest lovende. En viktig forutsetning er da at en med rimelig sikkerhet kan peke ut dette stedet. De foreliggende data gir ikke tilstrekkelig grunnlag for det.

Det rådes derfor til at et område rundt den påviste indikasjonen etter utsetning av stikningsnett følges opp med IP-målinger, som er den geofysiske malmletingsmetode som normalt vil gi sikrest opplysninger om en eventuell disseminert mineralisering (BVLI 1973 s. 98).

En bør i første omgang måle et mindre område rundt anomalien, som er påvist på profil 600 N, 1500-1600 Ø. Et område på 400 x 400 m foreslås, og er antydnet på kartet (bilag nr. 2). Da bergartslagene faller såvidt flatt som 10-40° mot vest, synes det fornuftig å måle noe lengre vestover enn østover fra den påviste indikasjonen, se tenkt vertikalsnitt (fig. 38).

Profilavstand 100 m foreslås, med et foreløbig område på 400 x 400 m skulle dette bli 5 profiler eller 2 profil-km. Med gradientmåling, som er det hurtigste måleopplegget og det en vanligvis starter med når en skal måle indukert polarisasjon i et felt, skulle dette være ca. en dags måling for et rutinert målelag. (Eidsvig, muntlig meddelse 1975). Eventuelle indikasjoner fra gradientmålingene følges opp med pol-pol eller pol-dipol konfigurasjon langs de samme profil.

Da resultatene fra gradientmålingene er til stor nytte når pol-(di)pol kurvene skal tolkes, kan det ikke anbefales å sløyfe gradientmålinger selv om andre indikasjoner på forhånd foreligger. Det beskjedne måleområdet må event. utvides dersom IP-resultatene tilsier at dette er fornuftig.

Diamantboring foretas på grunnlag av eventuelle positive IP-indikasjoner. Dersom IP-resultatene i dette området skulle være negative, kan en ikke tilrå videre undersøkelser i feltet.

Med henblikk på eventuell utnyttelse av metadioritten i pukk-produksjonen, kan følgende arbeid tilrådes:

- 1) Markedsforholdene undersøkes. Da pukk ikke er verdifull nok til å tåle særlig lang transport, er bare avtakere i Levangerområdet (og kanskje Verdal) aktuelle.
- 2) Ved eventuelt positivt svar på 1) bør prøver av metadioritten undersøkes m.h.p. mekaniske egenskaper.
- 3) Dersom pukk-prosjektet fortsatt er interessant, bør metadioritten detaljkartlegges og eventuelt diamantbores. Diamantboring og andre detaljundersøkelser kan bare bli aktuelt der hvor bilveg finnes i rimelig nærhet av metadioritten.

LITTERATURLISTE.

Aalstad, I. og Åm, K. 1972.

Magnetometri.

Upubl.

Barth, T.F.W. 1962.

Theoretical Petrology.

Wiley.

Berthelsen, A. 1973.

Lærebog for den lille tektoniker.

Varv.

Borowitz, S. and Beiser, A. 1967.

Essentials of Physics.

Addison-Wesley.

BVLI, 1972.

Teknisk rapport nor 22/1.

"Prosjekt sinkblendeflotasjon".

Upubl.

BVLI, 1973.

Teknisk rapport nr. 19.

"Geofysiske metoder for detaljkartlegging
av forekomster".

Upubl.

Bølviken, B. 1971.

Statistisk bearbeidelse av geokjemiske data.

NGU nr.

Crone Geophysics Limited, 1973.

Brosjyremateriell for "Crone Radem" VLF-
mottaker.

Upubl.

Fraser, D.C. 1960.

Contouring of VLF-data.

Geophysics Vol. 34 No. 6.

Geonics Limited 1973.

Brosjyremateriell for "Geonics EM-16" VLF-mottaker.

Upubl.

Gløersen, Chr. A. 1974.

Navigasjonsteknikk.

Teknologisk Forlag.

Gust, J. og Hovland, R. 1967.

Tingstad Gruve

Bergarkivet, rapport nr. 4433.

Upubl.

Hawkes, H.E. and Webb, J.S. 1962.

Geochemistry in mineral exploration.

Harper and Row.

Keller, G.V. and Frischknecht, F.C. 1966.

Electrical Methods in Geophysical Prospecting.

Pergamon Press.

Larsen, M. 1974.

Tre elektriske potensialmetoder - SP, CP og KSPK.

Kollokvium i faget. Anvendt geofysikk.

Upubl.

Ljøkjell, P. 1974.

Sinkblende som geotermometer og geobarometer - kjemisk sammensetning av en del norske sinkblender.

Kollokvium i faget Malmgeologi særkurs.

Upubl.

Logn, Ø. and Bølviken, B. 1974.

Self Potentials at the Joma Pyrite Deposit, Norway.

Geoexploration.

Løvaas, L.B. 1970.

En malmgeologisk undersøkelse av Skjækerdalens
Ni-Zu-sulfid forekomst.

Hovedoppgave i malmgeologi.

Upubl.

Låg, J. 1965.

Jordsmonnet som vi lever av.

Aschehoug.

Mason, B. and Berry, L.G. 1967.

Elements of Mineralogy.

Freeman.

Mehrtens, M.B. 1966.

Geochemical Dispersion from Base Metal
Mineralization, Central Norway.

Ph.D.thesis R.S.M. Imp. Coll. London.

Upubl.

National Bureau of Standards 1971.

Circ. 573.

Nordberg, H.E. 1972.

Modellstudier over selvpotensialer i forbindelse med malmforekomster.

Hovedoppgave avd. VII NTH.

Upubl.

Parasnis, D.S. 1972.

Principles of Applied Geophysics.

Chapman and Hall.

Paterson, N.R. and Ronka, V. 1971.

Five years of surveying with the Very Low
Frequency-electro magnetics method

Geoexploration Vol. 9 No. 1 pp. 7-26.

Nilsen, O. & Munkherjee, A.D. 1972.

Geology of the Kvikne mines with special reference to the sulfide mineralization.

NGT No. 52 pp. 151-216.

Sato, M. and Mooney, M. 1960.

The Electrochemical Mechanism of Sulphide
Self - Potentials.

Geophysics Vol. 25 No. 1 pp. 226-249.

Vokes, F.M. 1971.

Some Aspects of the Regional Metamorphic
Mobilisation of Preexisting Sulphide Deposits.
Mineral. Deposita (Berl.) 6 pp. 122-129.

Wolff, F. Chr. 1964.

Stratigraphical Position of the Gudå Konglo-
merate zone.

NGU nr. 227.