

DET STORE EKSAMENSARBEID

I

HALMGEOLOGI

FOR

STIG JARLE BERGSETH

4498

DET STORE EKSAMENSARBEIDET

i faget

M A L M G E O L O G I

for

STIG JARLE BERGSETH

Undersøkelse av de geologiske årsaker til turan EM anomalier i Grimsdalen-området, Dovre.

Ut fra eksisterende geologiske, geofysiske og geokjemiske opplysninger og ved hjelp av egne geokjemiske moreneprøver, geofysiske målinger og geologiske observasjoner over anomalier med kjent årsak, forsøk på å finne frem til en kombinasjon av metoder som vil kunne skille, i dekket terreng, mellom anomalier forårsaket respektivt av grafitt og av sulfidmalm.

2

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

Hvis det ikke er sant,
så er det ihvertfall godt funnet på.
(Platon).

I N N H O L D.

Oppgavetekst.	side 1.
Erklæring.	" 2.
Motto.	" 3.
Innhold.	" 4.
Forord.	" 6.
Takk.	" 7.
Abstract.	" 8.
<u>1. Innledning.</u>	" 9.
1.1: Generell beskriving av området.	" 9.
1.2: Arbeidsgrunnlaget.	" 11.
1.3: Geologisk oversikt.	" 12.
1.4: Kvatærgeologiske forhold.	" 16.
<u>2. Anomaliårsakene.</u>	" 18.
2.1: Svartskifer og sulfidmineralisering	" 18.
<u>3. Prospektering.</u>	" 32.
3.1: Filosofi.	" 32.
3.2: Valg av metoder.	" 33.
3.3: Konklusjon.	" 34.
<u>4. Geofysikk.</u>	" 35.
4.1: Metoder og måleopplegg.	" 35.
4.2: Beskrivelse av metodene.	" 36.
4.3: Tolking.	" 38.
4.4: Valg av stasjon.	" 44.
4.5: Kommentar til tolkingen av VLF- og SP-kurvene.	" 45.
4.6: Konklusjon.	" 49.
<u>5. Geokjemi.</u>	" 51.
5.1: Filosofi og opplegg.	" 51.
5.2: Bearbeidelse av analyseresultatene.	" 54.
5.3: Diskusjon av resultatene.	" 55.
5.4: Valg av analysemetode.	" 62.
5.5: Konklusjon.	" 64.
<u>6. Forslag til videre arbeid i feltet.</u>	" 65.

7. Sammendrag.
Litteraturliste.

side 66.
" 68.

Forord.

Arbeidet er utført i tidsrommet 27. august til 20. desember 1974. Den effektive arbeidstid beløper seg til ca. 13 uker. Differensen er tapstid av privat art og ventetid på geokjemiske analyser, begge deler dokumentert til og godkjent av prof. F. M. Vokes. Arbeidet er i alle steg forsøkt utført så selvstendig som mulig; arbeids- gangen har vært så noenlunde som følgende:

1 uke forberedelser med bestemmelse av arbeidsområde, litteratur, kart og flyfotostudium samt mindre rekognoseringsturer i felt.

5 uker feltarbeid med kontroll av det geologiske kartet, morene- prøvetaking, VLF- og SP-målinger, fastfjellsprøvetaking i felt og av kjerner samt forberedelse av ca. 380 moreneprøver til rentgen- analyse.

1½ uke mikroskopering og modalanalyser på 25 tynnslip og 24 poler- slip.

1 uke til utvikling av datamaskinprogram og behandling av geo- fysiske og geokjemiske data med disse.

½ uke geokjemisk laboratoriearbeid med forberedelse av prøver og assistanse ved analysene.

2 uker til tegning av bilag, bearbeiding av resultater og littera- turstudier.

2 uker til skriving og redigering.

7

Takk.

Jeg vil få lov til å takke alle som har bidratt med hjelp under arbeidet med oppgaven. Først og fremst Folldal Verk A/S ved herrene; Prospekteringsjef J. Heim, ing. Killi og siv.ing. Mørle som alltid var like oppofrende og velvillige.

Av personalet ved Geologisk Institutt NTH vil jeg spesielt takke Amanuensis Sveinung Bergstøl for god hjelp og støtte under feltarbeidet. Professor Vokes har bidratt med mange litteraturreferanser og takkes for det. Laborantene Rønne og Hov takkes for de kjemiske analysene og diskusjoner angående disse, preparantene Frøseth og Isachsen for alle poler- og tynnslip.

Stud.techn. Olav Håland ga mye god hjelp når datamaskinen ble for vanskelig å hantes med.

Til sist, men ikke minst, må jeg takke kona mi, Guro, for forståelse, støtte og oppofrende holdning under arbeidet.

8

Abstract:

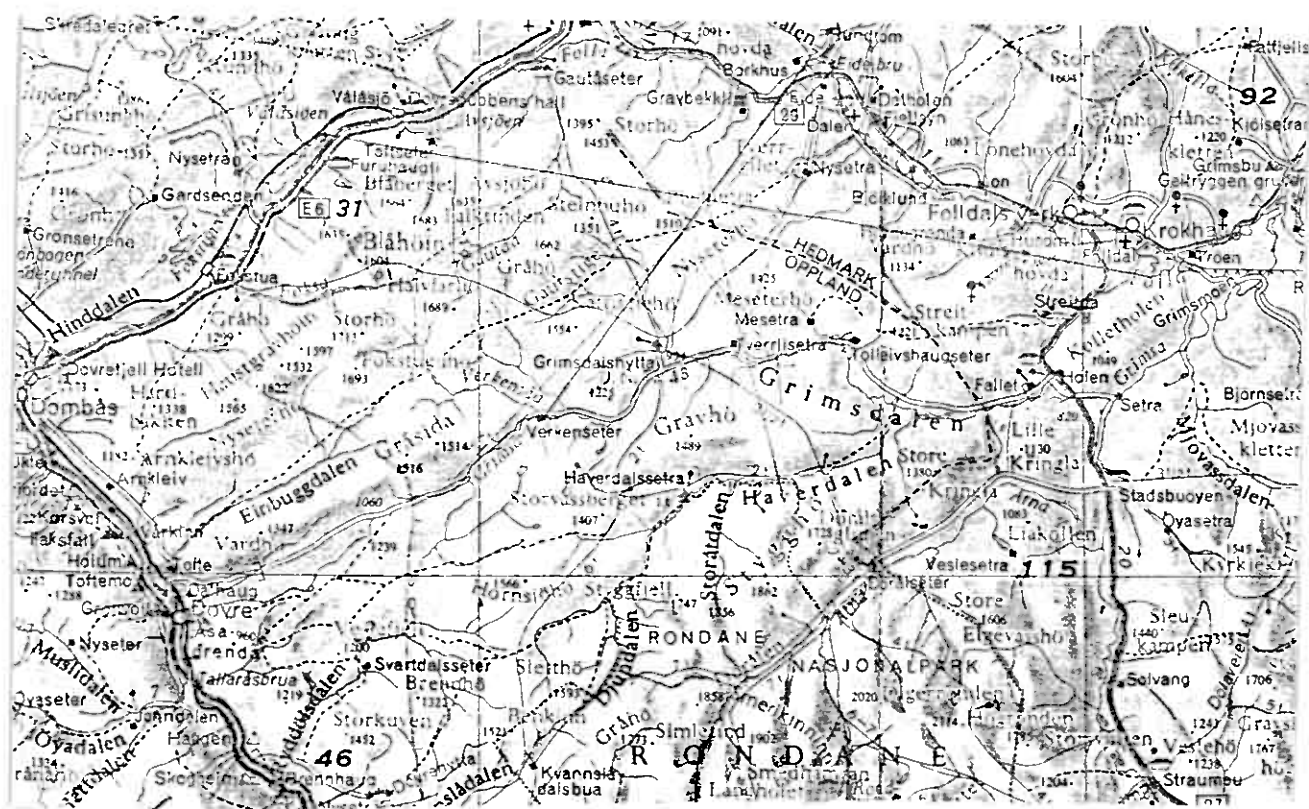
Ved prospektering etter massive sulfidforekomster i de norske Kaledonider er det alment kjent at svarte skifere gir geofysiske og geokjemiske anomalier som meget vanskelig skilles fra de forårsaket av sulfidmalm. Ved turam-EM kartlegging i Grimsdalen er det påvist en rekke strømkonsetrasjoner hvis årsak nesten aldri lar seg påvise ved overflatekartlegging på grunn av den lave blottningsgraden. Ved boring på anomaliene har man truffet både svartskifer og sulfidmalm, disse er undersøkt i tynn- og poler-slip for å bringe deres mineralogi og tekstur på det rene. Det er i begge bergarter påvist mineraler av en slik type og i slike mengder at de begge uten tvil vil gi meget like både geofysiske og geokjemiske anomalier. Med bakgrunn i deres mineralogi ble det gjort geofysiske målinger, (VLF og SP), tatt geokjemiske moreneprøver over turam-indikasjonene for om mulig å påvise karakteristiske egenskaper hos svartskiferen eller malmen.

Det er også gjort et lite forsøk på en økonomisk vurdering av den kjente sulfidmalmen og av feltet samlet.

1. Innledning.

1.1: Generell beskrivelse av området:

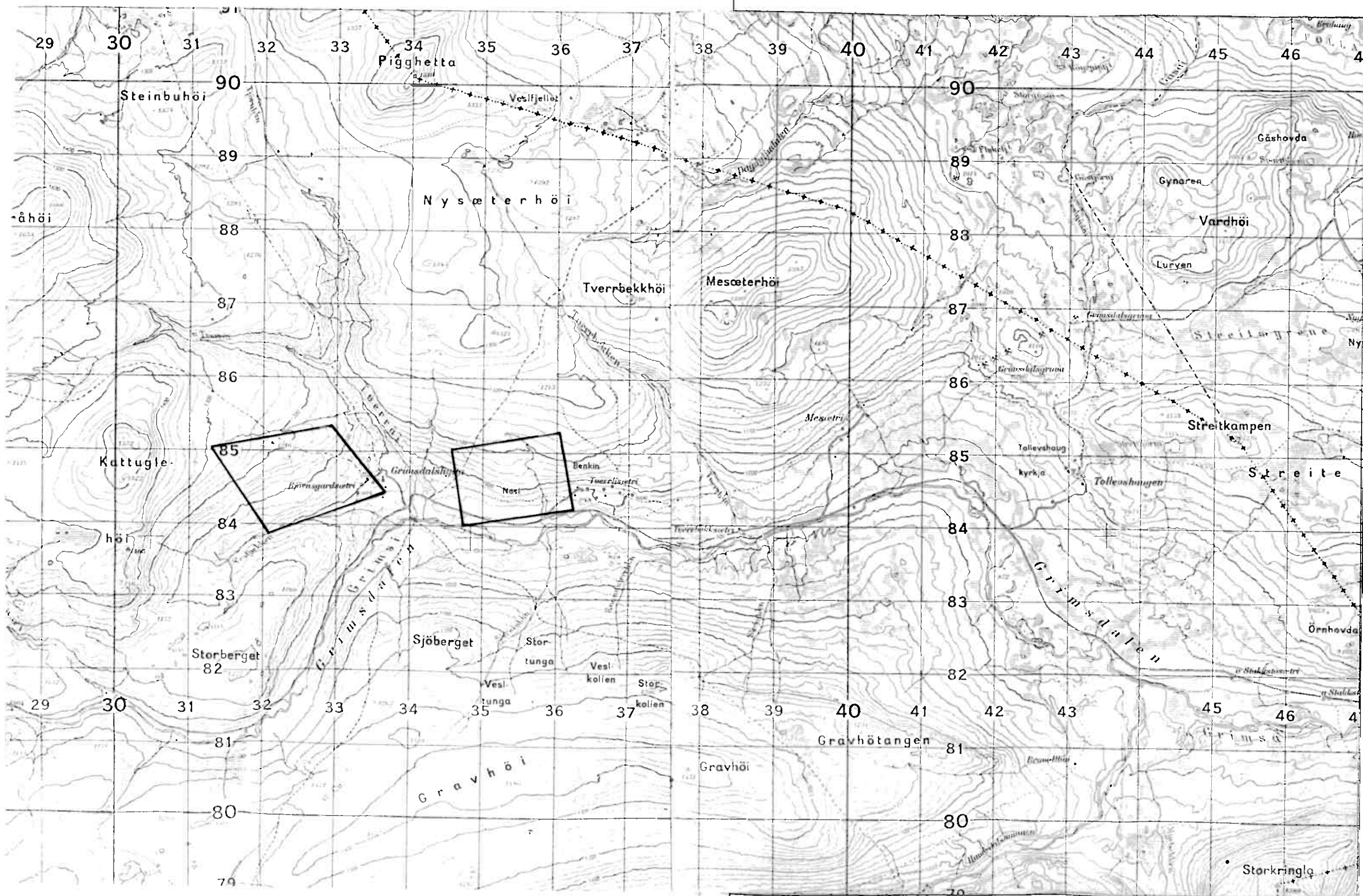
Grimsdalen ligger i Dovre kommune i Oppland fylke, 15 km nord for Rondane-massivet, Fig. 1.1a. Den faller mot øst ut i Folldalen, mens den mot vest faller ganske bratt ut i Gudbrandsdalen ved Dovre.



Figur 1.1a: Adkomstmuligheter til Grimsdalen, utsnitt av Cappelenes bilkart over Jotunheimen og Rondane, M 1:325 000.

Grimsdalen er en vid og rommelig U-dal med slake ller. Unntatt fra dette er området rundt Verken, der den er trang og omgitt av steile fjellsider. Dalbunnen ligger fra 350 - 1000 m.o.h. mens de omkringliggende fjell går opp i 1200 - 1400 m.o.h.

Dalen har lett adkomst ved gjennomgangsvei fra Dovre til Folldal. Det er rikelig med overnattingsmuligheter, enten på en av de mange setrer eller på Grimsdalshytta (DIF).



Figur 1.1b: Utenitt av kartbladene Hjerkin 1519 III og
Folldal 1519 IV, undersøkelsesområdene inn-
plettet.

1.2: Arbeidsgrunnlaget:

Grimsdalen dekkes av kartbladene Hjerkinna og Folldal, 1519 III/IV, i målestokk 1:50000. Det finnes også flybilder over området opptatt av Fjellanger-Widerøe i 1963. Målestokken på disse er 1:20000. Etter oppgavens krav er målestokkene på de tilgjengelige kart og flybilder for liten og arbeidet ble derfor utført i stikningsnett. Profilene i dette er utsatt med hundre meters mellomrom og markert med trestikke for hver femogtyvende meter. Det samme nett er også brukt til tidligere arbeider med geofysikk og geologi.

Plansje 1 viser en sammenstilling av anomalikart og geologisk kart fra endel av Grimsdalen. Anomaliene er etter NGU-målinger i 1968, turam-EM-metoden. Materialet er tatt fra kartene med områdetittel Tverliseter-Dovre og Verkenseter-Dovre. Geologien er i det alt vesentlige etter NTH-studentenes kartlegging sommeren 1974. Noen tilføyelser og små endringer er gjort av kandidaten.

Folldal Verk A/S har foretatt mange diamanthboringer i de østlige deler av Grimsdalen, noen av hullene er merket på plansje 1. Fra disse finnes kjernebeskrivelser og de fleste kjerner. Særlig kjernene har vært av stor nytte da de var eneste måte å få friske prøver av grafittskiferen på.

NGU utførte i 1967 en bekkesediment undersøkelse i Grimsdalen etter oppdrag fra Folldal Verk A/S. Opplysningene har vært til stor nytte for forståelsen av det geokjemiske dispesjonsmønster.

Av tilgjengelig materiale betraktet kandidaten borkjernene og anomalikartet som mest verdifulle. Kartet viser et uttall anomalier hvor de fleste har ukjent årsak. I den østlige del er det to dominerende anomalier, som strekker seg over flere km lengde. Fra boringer er den sydligste av disse kjent som sulfidmineralisering mens den nordligste er en

mektig svartskifersone, plansje 1. Anomalibildet utover de to nevnte er usammenhengende og "uryddig" og årsakene usikre eller ukjente. Detaljkartleggingen av geologien gir det samme usystematiske bilde som anomalikartet. Få eller ingen horisonter er særlig utholdende langs streket.

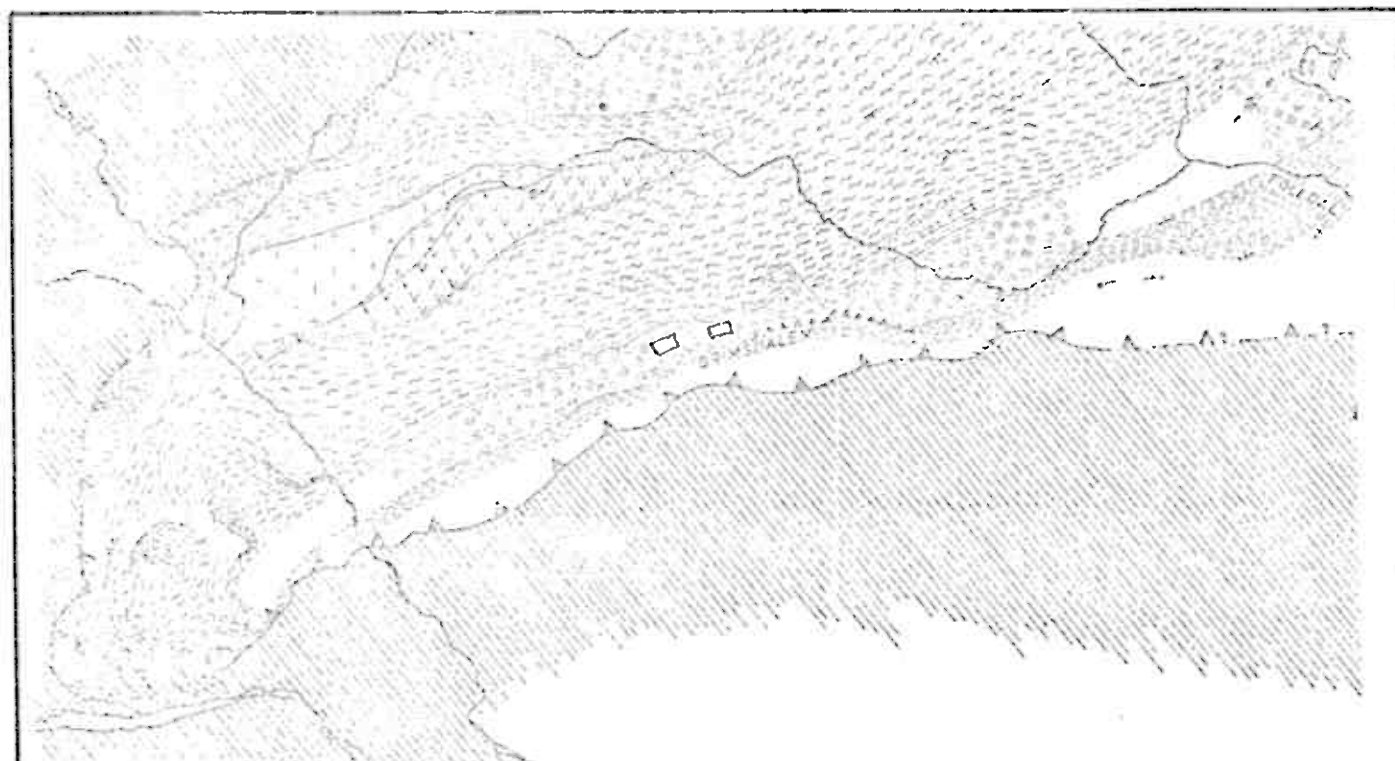
Utvelgelse av et begrenset arbeidsområde ble gjort på grunnlag av de forannevnte opplysninger. Kandidaten valgte to adskilte felter for undersøkelsene. Det ene i området rundt Tverliseter hvor de fleste boringer er gjort og det andre vest for Grimsdalshytta, fig. 1.1b. Innen hver av disse begrensede felter ble det valgt ut 3 profilpar med fem hundre meter mellom parene. Geofysiske og geokjemiske arbeider ble lagt til profilene, mens geologiske arbeider ble gjort i hele feltet.

1.3: Geologisk oversikt:

Grimsdalen ligger innen den østlige flanke av Trondheimsdekkets sentrale antiklinorium, Wollf (1967). Grensen mot de underliggende sparagmitter følger omtrent dalens sydlige begrenning, fig. 1.2.

Marlow (1955) og Strand (1964) har behandlet områdene henholdsvis øst og vest for Grimsdalen, mens det ikke er publisert noen avhandlinger om selve Grimsdalenområdet. Jæmført Wollf (1967) ligger undersøkelsesområdene innen Støren-Fundsjøgruppen, figur 1.2.

Bergartene i denne gruppen består hovedsakelig av grønnstener og kvartskeratofyrer. Under feltarbeidet ble alle bergartsvariantene prøvetatt så nøye som mulig. Feltet var detaljkartlagt tidligere med rommelige betegnelser, de er meget anvendelige i felt da alle overganger synes å finnes og en "god" grensefastsettelse er vanskelig å gjøre. Mikroskoperingen



LEGEND TEGNFORKLARING

- BERGGRUPP NORD-ØST-GRUPPA
BERGGRUPPA NORD-ØST-GRUPPA**
- CONGLOMERATE AND SHALE
KONGLOMERAT OG SKIFER
- SLÅN-GRUPPA - NORD-ØST-GRUPPA
BERGGRUPPA NORD-ØST-GRUPPA**
- DARK SHALE AND SANDSTONE
MØRK SKIFER OG SANDSTEIN
- ZILHAUGEN-GRUPPA - NORD-ØST-GRUPPA
BERGGRUPPA NORD-ØST-GRUPPA**
- PHYLLITE, MICACEOUS SHALE, ETC.
FYLIT, MICACEOUS SHALE, ETC.
- POLYMORPHIC CONGLOMERATE
POLYMORF KONGLOMERAT
- SULAND-GRUPPA - NORD-ØST-GRUPPA
BERGGRUPPA NORD-ØST-GRUPPA**
- DARK SHALE AND BRYOLITE TUFF IN WEST, GREENSTONE IN EAST
MØRK SKIFER OG BRYOLIT TUFF I VEST, GRØNSTEIN I ØST
- GREY CALCAREOUS SANDSTONE AND GREY TO DARK PHYLLITE
GRÅ KALKHOLDIG SANDSTEIN OG GRÅ TIL MØRK FYLLIT
- DOLOMITE, IRONSTONE, ETC.
DOLOMIT, JERNMALM, ETC.
- YENNA, STORNVÅLA, ETC.
YENNA, STORNVÅLA, ETC.
- BERGGRUPPA NORD-ØST-GRUPPA
BERGGRUPPA NORD-ØST-GRUPPA**
- GNEISS AND AMPHIBOLITE
GNÆISS OG KVARTSIT
- GNEISS AND AMPHIBOLITE
GNÆISS OG KVARTSIT
- BERGGRUPPA NORD-ØST-GRUPPA
BERGGRUPPA NORD-ØST-GRUPPA**
- MICA SCHISTS
GLIMMERSKIFER
- CONGLOMERATES
KONGLOMERATER
- LIMESTONE
KALKSTEIN



LEGEND TEGNFORKLARING

- LARGER BODIES OF IRONSTONE
STØRRE LØSNER AV JERNMALM
- LARGER BODIES OF GNEISS
STØRRE LØSNER AV GNÆISS
- NORTH-NORTH-EAST
NORD-NORD-ØST
- SERPENTINITES
SERPENTINER
- DIFFERENTIATED ROCKS BELOW THE TERTIARY NAPPE
DIFFERENSIERTE BERGARTER UNDER TERTIÆRSDÆKKET
- STRIKE AND DIP
STRIK OG FALL
- TERTIARY NAPPE THRUST PLANE
TERTIÆRSDÆKKETS SKIVEPLAN
- NORTH-NORTH-EAST THRUST PLANES
NORD-NORD-ØST SKIVEPLAN
- SOUTH-SOUTH-EAST THRUST PLANE
SØR-SØR-ØST SKIVEPLAN

Fig. 1.2: Undersøkellesom-
rådet i relasjon til regional
geologi, etter Wolff 1967.

antyder at at andre og mer detaljerte betegnelser burde vært brukt, men da det ikke er oppgavens hensikt å foreta en petrografisk klassifikasjon av bergartene er de samme betegnelser brukt i omtalen av dem. De mineralogiske forskjeller skulle i alle tilfelle gå fram av modalanalysene i bilag 13.

Grønnskifer: Disse er finkornete bergarter, < 0,01 mm, med grønn til grønnsvart farge. De er generellt rike på amfibol selv om Kloritt i enkelte partier kan dominere. Klorittinnholdet er ikke alltid lett å bestemme i felt så grønnskifer er et vel egnet "feltnavn" på bergartsgruppen. Skiffrigheten er alltid vel utviklet og defineres av amfibolnålene og/eller klorittflakene. De lyse mineralene forekommer alltid som striper parallellt skiffrigheten og den vesentlige del av disse er feltspat.

Amfibolen forekommer som orienterte nåler sjelden mer enn 0,01 mm lange, den har grønn til blågrønn pleokroisme, gule til rødbrune interferensfarger og ca. 15° utslukningsvinkel. Matrix i grønnskiferen består vesentlig av feltspat og kloritt, endel av feltspatkornene har albitt-tvillinger og utslukningsvinkelen er liten, ca. 10°. Kloritten er svakt pleokroitisk (grønnlig) og har brune, delvis fiolette, interferensfarger. Epidoten forekommer som små euhedrale^{korn} med høyt relieff og høye interferensfarger

Den klorittrike grønnskifer har sterkt varierende kvarts/(feltspat)-innhold, (prøvene 6 og 11) og kan i partier bli meget karbonatrik, (prøvene 7, 8 og 10). Karbonatmineralet er meget likt kalkspat, men enkelte aksebilder tyder på at det kan være aragonitt. Kornene er imidlertid så "grumsete" at de optiske egenskapene er vanskelig å bestemme nøyaktig, (som regel umulig). Kloritten i de karbonatrike partiene er ~~er~~ ganske markert pleokroitisk (grønnlig), men interferensfargene er meget lave.

Granatinnholdet variere fra lokalitet til lokalitet, sjelden er de større enn 0,5 mm. Makroskopisk er de rød av farge, i mikroskopet er de alltid oppknuste og poikilittiske. Innholdet

av opake mineraler er også varierende, men slipene er alltid mer eller mindre jevnt pepret med svarte flekker. Enkelte steder er impregnasjonen ganske sterk, (prøvene 12 og 13), disse skal beskrives nærmere i neste kapittel på grunnlag av polerslip.

Kvartskeratofyr: Bergarten er grå til gråhvit av farge og har som oftest rusten overflate på grunn av sulfidinnholdet. Skifricheten kan på enkelte lokaliteter være velutviklet ved at amfibol, kloritt og glimmer-innholdet er stort. Keratofyrene består vesentlig av kvarts/feltspat-korn som sjelden blir større enn 0,05 mm. Iblant finnes porfyroblaster av granat og amfibol, 1 - 5 mm store, disse er alltid oppknuste og poikilitiske. Amfibolen har de samme optiske egenskaper som er beskrevet under grønnskiferavsnittet, granaten er også rød av farge makroskopisk. Blant feltspatkornene observeres meget sjelden albitt-tvillinger. Kloritten har svak pleokroisme og lave interferensfarger, ofte har den innesluttet små muskovittlister. Noen steder kan innholdet av euhedrale svovelkiskrystaller bli ganske stort, (prøve 17), muligens kan det gi geofysiske utslag.

Glimmerskifer: Denne bergart er sjelden blottet i feltet på grunn av liten forvittringsbestandighet, den er heller ikke så veldig utbredt. Fargen varierer fra lys til mørk grønnlig og hovedbestanddelen er kvarts/feltspat, muskovitt eller biotitt og kloritt. Skifricheten er ikke alltid så godt utviklet makroskopisk, men defineres tydelig av glimmer- og kloritt-bladenes orientering når den betraktes i tynnslip. Kornstørrelsen går sjelden over 0,1 mm.

Glimmer og kloritt forekommer som lister eller plater i kvarts/feltspat-grunnmassen, ofte finner en muskovitt- eller biotittlister innesluttet i kloritt. Kloritten er svakt pleokroitisk og har lave interferensfarger, muskovitt er fargeløs og høye interferensfarger mens biotitten alltid er sterkt brun, pleokroitisk og har høye interferensfarger. Granatinholdet i glimmerskiferene er alltid ubetydelig.

Svartskifer og sulfidmalm: Den første av disse er meget utbredt i feltet, desverre ikke den andre, begge vil imidlertid bli beskrevet nærmere i neste kapittel.

1.4: Tektonikk. Hele feltet er intenst tektonisert i makro-, meso- og mikro-målestokk. I de fleste tynnslipene kan en se isoklinale til sinus-formede folder med 0,5 - 1 cm amplitude. Mikro-"forkastninger" er heller ikke uvanlig, forskyvninger på 1 - 5 mm.

I større målestokk er hele feltet foldet i minst to faser, F_1 -fasens akser finnes idag med akser stupende 40° - 60° nordlig, mens F_2 har tilnærmet horisontale øst-vest-gående akser. De to fasene er tydelig utviklet i området opp for Grimsdalshytta, og begge synes å være tette til isoklinale.

1.4: Kvartergeologiske forhold.

Dalbunnen er dekket av tykke kvartære formasjoner, morener og bresjesediment. I liene finnes terrasser etter flere bresjestrinn, særlig i området opp for Tverrliseter, det er vanskelig å si om sjøene har omfattet hele dalen eller bare vært begrenset til sidene av breen, det siste er dog mest sannsynlig da de fleste terrassene er ganske jevnt dekket med store løsblokker. Et godt eksempel på dette siste er en terrasse rett opp for Tverrliseter på ca. 1000 meter over havet. Noen fortsettelse av dette trinn på dalens sydside er heller ikke observert, (ved hjelp av kikkert). Et lavere og meget markert trinn finnes i terrassene ned for Tverrlisetra og ved Tverråi's utløp i Grimsdalen, dette ligger ca. 940 meter over havet. Denne sjøen har antagelig omfattet hele dalføret.

I liene utenom terrassene og i høyereliggende strøk er løsmassene

tynne og består vesentlig av ablasjonsmorene oppblandet med endel forvittringsmateriale. I de mindre bekkedalene og små myrdragene som finnes må en forvente at løsmassetykkelsen kan bli betraktelig og materialet delvis langtransportert.

Grimsdalen ligger like nord for storiens hovedskille og bevegelsesretningen i området har vært nord-vordvestlig, (NGU 208). Materialet som finnes i løsmassene er ikke langtransportert og isens betydning for flytting av geokjemiske anomalier må anses som ubetydelig.

2. Anomaliårsakene.

2.1: svartskifer og sulfidmineralisering.

Ved boring på Turam-anomaliene i Grimsdalen har man truffet to bergartstyper som må forvente å gi anomali. Den ene er en sterkt magnetkrisimpregnert svartskifer som er antatt å være grafittholdig; den andre en kompakt sulfidmalm.

Svartskifer: Bergarten er svart, meget finkornet, $< 0,005$ mm, og består vesentlig av kvarts/(feltspat) og glimmer ved siden av de opake mineralene, (modalanalyser i bilagene 13 og 14). Den er svart av utseende med enkelte lyse striper eller flekker av varierende størrelse, i håndstykket virker den massiv, men den har utpreget skiffrighet og spalter meget lett når den utsettes for stress. Forvittringsbestandigheten er meget liten og friske prøver i dagen er særdeles vanskelig å få, selv med hjelp av graveredskap og dynamitt. Skiferen er imidlertid gjennomboet flere steder så friske prøver fra kjernene er tilgjengelig. Uforvitrede prøver har svart strek og ellers grafittskiferens typiske kjennetegn, som regel er den tett besatt av magnetkis-"klyser".

I tynnslip defineres skiffrigheten av glimmerbladenes orientering, ofte kan de være isoklinalt til sinusformet foldet i mm - cm - størrelse. Deres optiske egenskaper er med få unntak vanskelig bestemme, både på grunn av kornstørrelsen og av opakt materiale mellom kornene som gir dem et grumset utseende. Interferensfargene er imidlertid høye og utslokningen tilnærmet rett. Spredt finnes noen større fargeløse muskovittblad og sterkt brune pleokroittiske biotittblad. Kvartsen forekommer i rundete korn og synes å være klastisk. Kloritt er ikke så veldig utbredt, den er alltid svakt pleokroittisk og med lave interferensfarger. Epidot- og rutil-innholdet kan bli stort, særlig rutil er vanskelig å skille ut i tynnslip, i polerslipet synes den godt som små ovale flekker i glimmeren. En må anta at skifrene har et visst titanitt-innhold men det lar seg nesten ikke skille ut blant de opake mineralene. I dagprøvene, (4 og 5), ser en alltid en rød-

brun "halo" rundt endel av de større opake flekkene, det er limonitt fra omvandlet magnetkis.

Modalanalysene i bilagene 13 og 14 synes være selvmotsigende, men dette skyldes måten de opake mineralene forekommer på. I tynnslipet reduseres glimmerens mengde på grunn av det finfordelte opake materiale, i polerslipet omvendt. Magnetkisen er det mineral som i polerslipene finnes i noen mengder og som med letthet lar seg bestemme. Den forekommer som flekkete granulære masser, sjeldent som enkeltkorn. I dagprevene er den tydelig forvitret og er omgitt av limonitt. Kopperkis er ganske utbredt og finnes alltid i nær sammenheng med magnetkisen, enten på korn grensen magnetkis/bergart eller magnetkis/magnetkis. Svovelkis er ikke observert, derimot finnes noen korn med høy reflektivitet sentralt i enkelte magnetkiskorn, dette må være markasitt. Krystallint C i form av grafitt er sjelden å se. Når den finnes har den et flekket utseende, svak pleokroisme, men er tydelig anisotrop. Det opake mineral som "impregnerer" glimmeren er umulig å skille ut i polerslipet. Glimmeren har litt høyere relieff enn ~~de~~ de andre bergartsmineralene, men det kan ikke påvises noen korn blant dem^{som} har optiske egenskaper lik grafitt eller shungitt slik den er beskrevet av Marmo, (Marmo 1953).

Noen svartskiferprøver ble løst i syre for bestemmelse av endel elementer på atomabsorpsjon. Under løsningen ble det avsatt et svart stoff på bunnen av beeglassene, dette ble filtrert, tørket og betraktet under binokularlupe. Ved siden av kvartskorn bestod stoffet av et mineral med svart farge. Disse kornene spaltet lett i tynne flak når de ble pirket i med en nål. Det viste seg å være et sjuktmineral som ble gråsvart til fargeløst når det spaltet i tynne flak. Stokke, (Stokke 1968), referer de samme forhold fra en undersøkelse av svartskifer ved Lundamo. Stokke konkluderer med at de svarte skifrene har et fritt innhold av C som ikke forekommer som grafitt eller shungitt, men i forbindelse med et sjukt-

mineral (chamositt). Ut fra de likhetpunkter som observert må det være lov å anta at svartskiferene i Grimsdalen inneholder C i samme form som de ved Lundamo.

Den mest markerte forskjell på svartskiferene og de andre bergartene i området ligger i innholdet av C, og magnetkis. Når det gjelder elementinnhold er dette ikke så forskjellig, tabellene 1.1 og 1.2, en bør likevel vente at svartskiferen på grunn av sin lave forvittringsbestandighet vil gi geokjemiske anomalier som lett skilles fra den generelle bakgrunn. De samme forhold ble observert av Stokke under Lundamo-undersøkelsen.

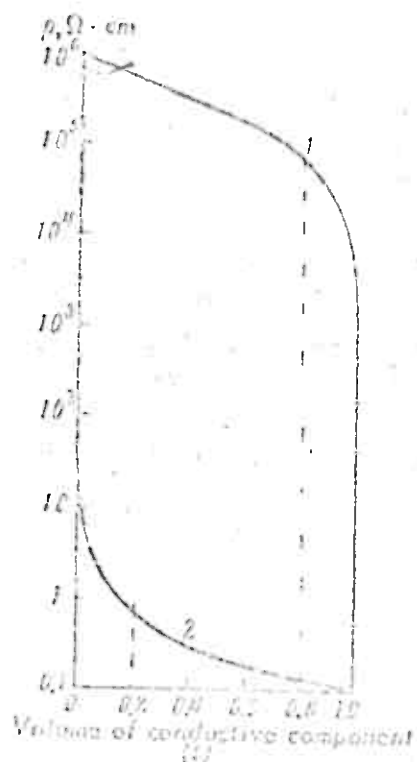
Koordinat.	Cu	Zn	Pb	Ni	Co
	%	ppm	ppm	ppm	ppm
(2) Bh. 180/20,10	0,12	331	248	58	21
(3) Bh. 180/40,90	0,13	387	535	70	25
(4) 2600V - 600N	0,08	429	311	104	6

Tabell 1.1: Elementinnhold i svartskifer, analysert v/I. Rønne, Geol. Inst. NTH, (tallene i parentes referer til prøvenr. i bilag 14).

Betingelsen for at en bergart skal ha elektrisk ledningsevne er at den inneholder en viss mengde ledende mineraler eller er porøs og porene fylt med en elektrolytt. Porositeten i Kaledonske fjellkjedebergarter er som kjent ubetydelig og ledningsevne i disse må følgelig skyldes innhold av ledende mineraler. Figur 1.3 viser motstand i et materiale sammensatt av kuleformet ledende komponent og en ikkeledende komponent. Ut fra figuren må innholdet av ledende materiale bli

Koordinat.	Cu %	Zn ppm	Pb ppm	Ni ppm	Co ppm
(3) 2100V-505N	0,06	301	249	<1	14
(6) 2600V-775N	0,05	367	229	148	25
(11) 2100V-700N	0,07	323	231	<1	16
(15) Bh.180/166,80	0,07	435	204	6	61
(17) 2600X-175Y	0,05	384	204	29	4
(20) Bh.180/240,70	0,06	339	228	41	<1

Tabell 1.2: Elementinnhold i bergarter, analysert v/I. R  mme Geol. Inst. NTH, tallene i parantes referer til modalanalyser i bilag 13.



Figur 1.3: Gjennomsnittlig spesifikk motstand i materiale som inneholder en ledende komponent med kuleform. Kurve 1 gjelder ledende kuler i uledende matrix. Kurve 2 gjelder uledende kuler i ledende matrix. Forholdet mellom spesifikk motstand i uledende og ledende materiale er 10^6 - 10^7 ohmm.

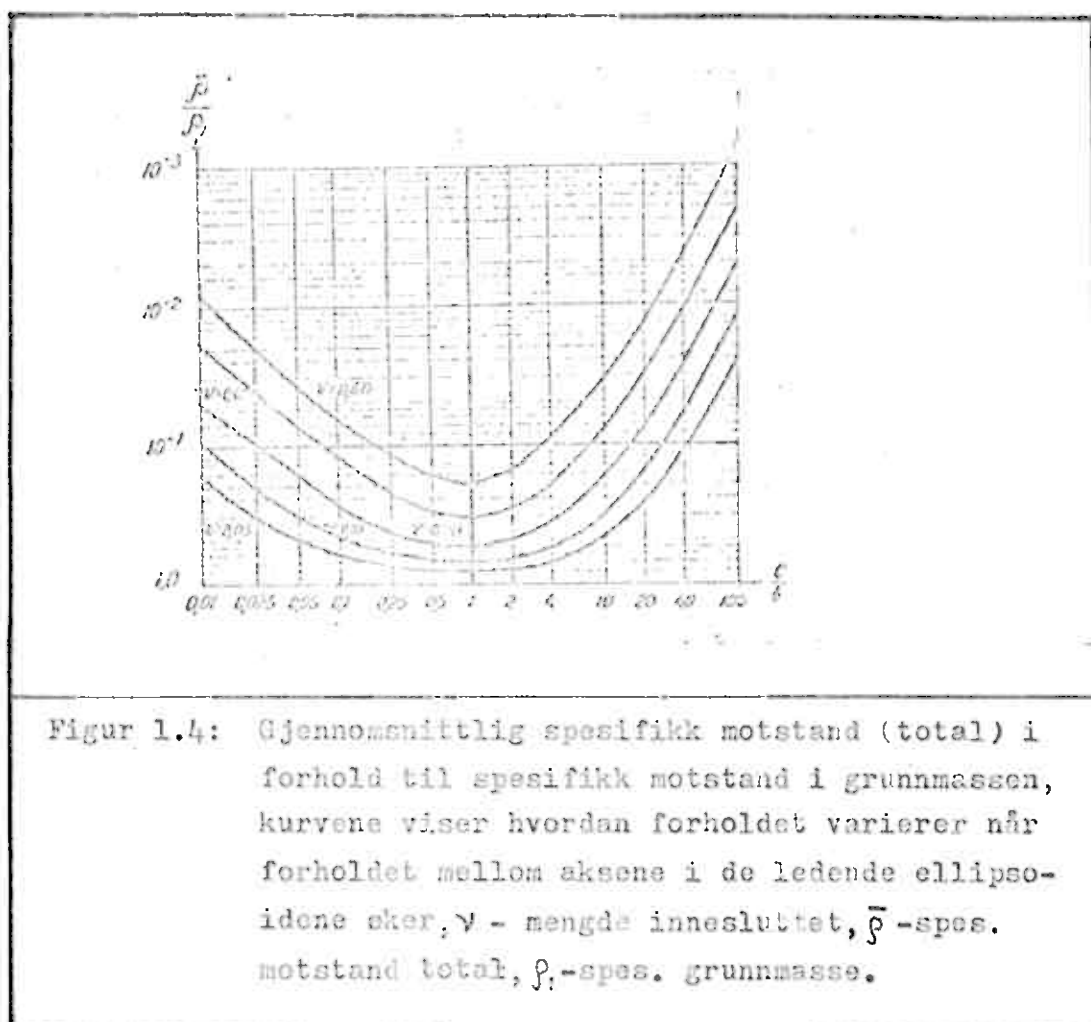
meget stort, 80 %, før det virker vesentlig inn på den totale ledningsevne. Formen på de ledende innesluttninger er imidlertid av stor betydning, dette er vist i figur 1.4, blir det ledende materiale elipsoformet eller forekommer i langstrakte masser øker ledningsevnen markert.

Svartskiferen i Grimsdalen inneholder store mengder av både magnetkis og C (delvis i form av grafitt), dette er noen av de best elektrisk ledende mineraler naturen kjenner, tabell 1.4. Deres habitus i form av granulære, langstrakte og sammenhengende masser, fibrige eller finfordelte korn gjør antallet kontaktflater stort og er med å øke ledningsevnen i skiferen.

Etter denne diskusjonen kan en konkludere med at svartskiferene i Grimsdalen har et så stort innhold av ledende materiale med hensiktsmessig form at deres ledningsevne er stor nok til å gi meget kraftige elektromagnetiske anomalier ved geofysisk kartlegging over dem.

Grafitt, C.	36 - 100 x 10 ⁻⁸ ohm m.
Kopperkis, CuFeS ₂ .	1,5 - 90 x 10 ⁻⁴ " "
Galena, PbS.	6,8x10 ⁻⁶ - 9,0x 10 ⁻² " "
Markasitt, FeS ₂ .	1 - 150 x 10 ⁻³ " "
Svovelkis, FeS ₂ .	1,2 - 600 x 10 ⁻³ " "
Magnetkis, Fe _{1-x} S.	2 - 160 x 10 ⁻⁶ " "
Sinkblende, ZnS.	2,7x10 ⁻³ - 1,2x 10 ⁻⁴ " "
Magnetitt, Fe ₃ O ₄ .	52 x 10 ⁻⁶ " "

Tabell 1.3: Motstand i forskjellige elektrisk ledende mineraler, (Tall fra Kellor og Frischknecht 1966, Parkomenko 1967 og Parasnis 1966).



Sulfidmineralisering i form av mer eller mindre sterk impregnasjon er ofte blottet i feltet. Som regel finnes den i klorittisk grønnskifer, ofte assosiert med karbonatmineraler, men stedvis kan den også være utbredt innen enkelte kvartsskeratolitter. (modalanalyser i bilagene 13 og 14). Impregnasjonen består vesentlig i små svovelkis krystaller med 0,1 - 0,2 mm størrelse, sjelden 1-2 mm. Deres utseende kan variere fra ren^{og}svovelkrystallisert, via poikilittiske til sterkt kataklastiakt korn. Magnetkis er det andre sulfid som finnes i noen mengde i impregnasjonen. Den forekommer i mindre granulære masser, ofte med "birds eye" strukturer velutviklet. Kopperkis og sinkblende opptrer på sprekke i de kataklastiske svovelkiskrystallene. Flere av impregnasjonene har uten tvil et innhold av C, men noen krystallin grafitt er meget sjelden å se. Granatene som i tynnslip er poikilittiske viser seg i polerslipet å ha inneslutninger av både magnetkis og svovelkis.

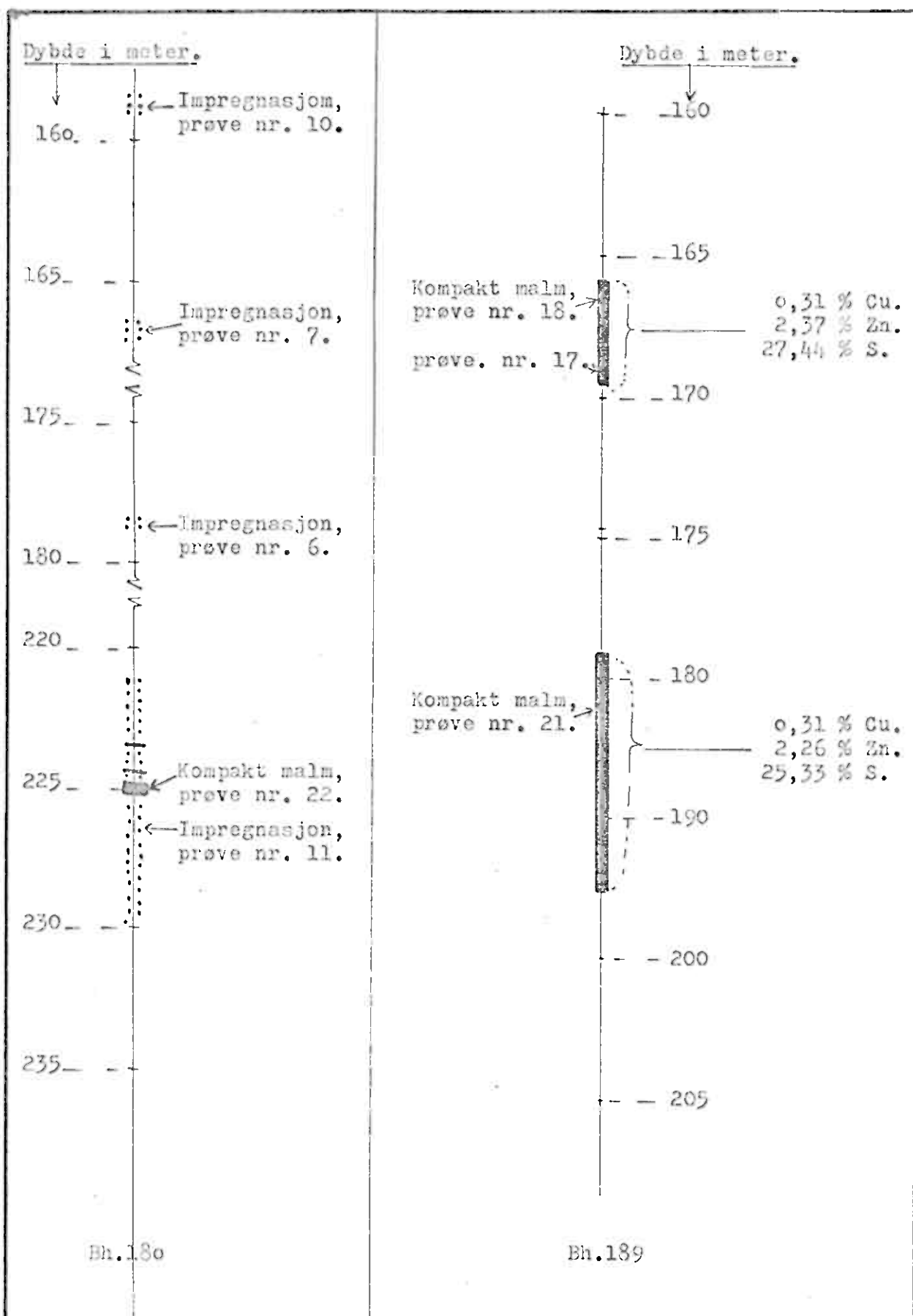
Om innholdet av elektrisk ledende mineraler i impregnasjonene er så stort at det kan gi geofysisk eller geokjemisk anomali er tvilsomt, men de skal likevel diskuteres litt nærmere, (særlig gjelder det prøve 14, bilag 14). Som vist figur 1.5 så er impregnasjon svært vanlig i forbindelse med kompaktmalmen, prøvene 13 og 12 (bilag 14) er impregnasjon av denne type, men prøve 14 er tatt i "jomfruelig" terreng hvor ingen større mineralisering er kjent. Som det vil bli diskutert senere så er det en svak geofysisk anomali i det område prøven er tatt, sammenligner en imidlertid modalanalysen og figurene 1.3 og 1.4 så må innholdet av ledende mineraler være for lite til å gi målbar anomali. Det må tas forbehold for "skjult" C-innhold, men det er ingen ting i slippet som tyder på at dette kan være betydelig. Impregnasjonen har ellers samme mineralogi og tekstur som de en kjenner fra kompaktmalmens umiddelbare nærhet, det leder tanken hen på mulige konsentrasjoner på dypt og gjør området rundt impregnasjonen interessant.

En annen impregnasjon det knytter seg interesse til er den ved 2600X/175Y, (bilag 13, prøve 17). Denne er bare mikroskopert i

tynnslip hvor de opake mineralene alltid opptrer som små euhedrale korn. Betraktes stoffen med lupe eller binokular får en samme inntrykk, små euhedrale svovelkiskrystaller i kvartskeratofyr. I forbindelse med denne impregnasjon er det også geofysisk anomalier av en slik karakter at den ikke ^{bare kan} skyldes den svake impregnasjonen en finner blottet i dagen. Den impregnerte kvartskeratofyr er på den annen side meget lik den en har funnet på kompaktmalms liggside ved borer, en mulig konsentrasjon som ikke er blottet eller på dypet ligger da nær å anta. Til sammenligning så har heller ikke "borhullsimpregnasjonene" gitt noen geofysiske anomalier. Det eventuelle lille bidraget de gir til totalfeltet ved elektromagnetiske målinger vil da også "drukne" i den gode lederens (malms) bidrag.

Kompakt sulfidmalm er blottet to steder i feltet, en rask ved 2100V/325N og i et bekeleie ved 1900V/395N, utover det er den godt kjent fra borhull. To eksempler på hvordan den forekommer i borhullene er vist i figur 1.5, (også lokalisering av endel prøver). Som regel opptrer malmen i to tilsynelatende atskilte plater med steilt nordlig fall, bergartene på hangesiden er vesentlig skifer av forskjellige slag, mens kvartskeratofyren dominerer på liggside. Malms grense mot sidebergartene er ikke blottet over lengre distanser men alt tyder på at den er konkordant lagningen i disse.

Malmen er av svovelkis-rik type, Vokes (1962), (figur 1.6 og bilag 14). Texturelt preges den av sub- til euhedrale svovelkiskrystaller allotriomorft sammenvokset med andre fin-kornete sulfider og silikatmineraler. Spredt kan den inneholde større eller mindre filler av sterkt klorittisk skifer. Inneslutningene ligger parallelt lagningen i sidebergartene,



Figur 1.5: Lokalisering av endel kjerneprøver som ^{er} mikroskopert og gjort madalanalyse på, prøvenummerene referer til bilag 14.

men utover dette har malmen ingen form for bånding eller lagning.

Svovelkis er det dominerende sulfid i malmen og den forekommer i alle størrelsesvarianter fra 1 mm og nedover. De sub- til euhedrale krystallene ligger i en matrix av kopperkis, sinkblende, magnetkis og silikatmineraler. Korngrensen mot matrix-sulfidene kan stedvis være uregelmessige og bære preg av "oppspising". Dyeuhedrale krystallene er ofte poikilittiske med kopperkis, magnetkis eller silikat som innesluttning. Dette må være mineralrester som ble innesluttet under krystallveksten, Ramdohr (1969), Page (1963) referer også liknende forhold fra malmen i Nordre Gjetryggen Gruve og trekker samme sluttning. Mange steder er svovelkiskrystallene sterkt kataklastiske og en nesten kontinuerlig overgang fra helt oppknust materiale til perfekte krystaller finnes. Sprekkene er som oftest fylt med kopperkis, men også blyglans, sinkblende og magnetkis finnes i dem.

Sinkblende forekommer alltid blant matrixsulfidene og mengden varierer veldig fra slip til slip. Page (1963) påpeker at det synes å være en sammenheng mellom lite sinkblende og mye magnetitt eller omvendt, slike forhold er ikke observert i de slipene som er mikroskopert her. Vanligst finnes sinkblendens som masser og aggregater rundt svovelkiskrystallene; spredte enkeltkorn er sjeldne, disse finnes som regel i den poikilittiske svovelkisen. Nesten alltid har den innesluttninger av andre sulfider, hovedsakelig kopperkis, sjelden finnes den langs orienterte plan i form av exsolution texture, vanligst er den som vilkårlig plasserte flekker, emulsion texture, (Ramdohr 1969). Sinkblendens jerninnhold er vanskelig å bestemme i polerslip; ifølge Ramdohr (1969) blir reflektiviteten høyere ved økende jerninnhold. Forekommer sinkblende og magnetitt ved siden av hverandre er det en meget forskjell i reflektivitet, dette indikerer at det muligens er en jernfattig sinkblende.

Kopperkisen finnes som regel på sprekkeene i de kataklastiske

svovelkiskrystallene, men også på korn grensene til til sinkblende-agregatene eller som inneslutninger i disse. Kombinasjonen koppermis-sinkblende m/koppermis-inneslutninger tyder på at det har vært en viss segregasjon mellom disse to mineraler og at de har krystallisert på samme tid. Noen spredte sinkblende-inneslutninger i koppermisen tyder også på det samme.

Magnetkis forekommer i allotriomorfe aggregater, med X-nicols er kornene anhedrale og rundete. Vanligst forekommer den i selskap med svovelkisen eller koppermisen, sjelden med sinkblende.

Elyslans er ikke så veldig utbredt i malmen, den finnes nesten alltid på sprekke i de kataklastiske svovelkiskrystallene sammen med koppermis. Meget sjelden opptrer den som enkeltkorn i magnetkis.

Cubanitt forekommer meget sjelden og finnes alltid i koppermis deler hvor den ligger som lameller i koppermisen.

Noen små euhedrale korn med høy refleksivitet ble observert i noen av slipene. Det har en blå-hvit egenfarge og er isotropt, sannsynligvis er dette fahlerts.

Det eneste oksydm mineral i uforvitret malm er magnetitt. Den forekommer som små euhedrale korn i silikatgrunnmassen, sjelden som sub- til an-hedrale korn i forbindelse med sinkblende. Noen korn er sterkt kataklastiske, andre kan være poikilitiske, inneslutningene er vesentlig magnetkis (svært sjelden andre sulfider). Noen form for magnetittkorn helt omsluttet av sulfider ^{finnes} ikke, (bare delvis i forbindelse med sinkblende). Noe entydig tegn på at magnetitten skulle være yngre enn sulfidene finnes derfor ikke.

Malmens gangmineraler er hovedsakelig kvarts, mindre mengder feltspat, kloritt, glimmer og amfibol; karbonat kan stedvis være hyppig, (fastslått under binokular).

I tabell 1.4 er det gitt oversikt over malmens kjemiske sammensetning. Desverre er ikke kjernene analysert for bly da disse gir det mest representative bilde av elementinnholdet i malmen. Blyinnholdet er såpass stort at et lite sølvinnhold i dette vil kunne gi et bidrag til lønnsomheten ved brytning.

Det er naturlig å forsøke å trekke en parallell med Nordre Gjetryggen Gruve som ligger i nærheten; i figur 1.6 er endel mineral-kombinasjoner plottet mot hverandre i trekantdiagram og ytterbegrensningene for de tilsvarende kombinasjoner i Nordre-malmen, (data fra Page 1963). Diagrammene viser tydelig svovelkisdominansen i de to forekomstene, mengdeforholdet til de andre sulfider synes også å variere innen de samme grenser. Slektskap mellom

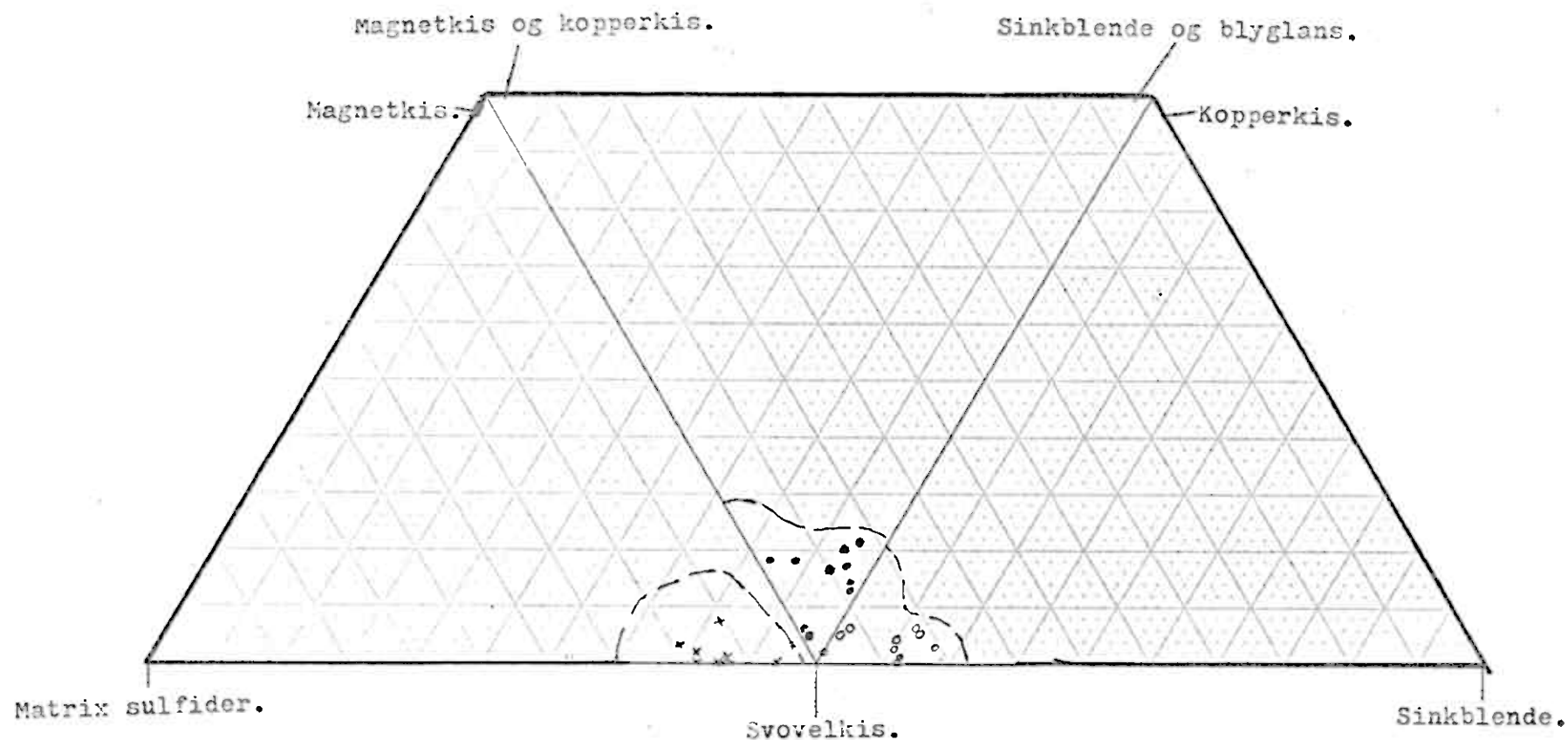
Koordinat.	Cu %	Zn %	Pb ppm	Ni ppm	Co ppm
(15) 2100V - 325N	2,48	1,16	248	50	25
(16) 1955V - 395N	0,53	0,78	165	29	173
(19) Bh.168/ 98,50	0,19	3,46	1895	54	21
(20) Bh.188/248,05	1,12	3,22	4002	41	25
(21) Bh.189/181,30	0,23	1,97	1357	54	8
(22) Bh.180/225,00	0,74	1,83	2578	33	20
m. malm kjerner.	0,30	3,75	-	-	-
m. impr. kjerner.	0,07	0,70	-	-	-

Tabell 1.4: Elementinnhold i kompakt sulfidmalm og impregnasjon, kjerne-analysene er gjennomsnittsverdier for 17 malmtverrsnitt og 19 impregnasjonstverrsnitt, tallene i parentes referer til modalanalyser i bilag 14.

Nordre-malmen og Grimsdals-malmen skulle da være påvist.

Oppredningsteknisk bør ikke malmen med sin grovkornede svovelkis-textur by på problemer. Nedmalingsgraden må være ganske stor på grunn av de finfordelte matrixsulfidene, men tre, muligens fire, rene konsentrater skulle med letthet la seg framstille. Malmen har et lite C-innhold som kan gi et misfarvet Cu-konsentrat, men noen stor betydning for gehalten i dette vil det ikke ha. Karbonat-innholdet i enkelte partier må betraktes som en fordel for flotasjonsprosessen.

Etter figur 1.3, 1.4 og tabell 1.3 er det hevet over tvil at malmen vil gi middels til sterk elektromagnetisk anomali. Innholdet av ledende mineraler er meget stort og matrixsulfidene gir svært god sammenheng mellom disse.



Figur 1.6: Mineralogisk sammensetning av kompaktmalmen, i diagrammene er plottet arealprosent etter modalanalyse i polerslip, den stiplete linje angir tilnærmet ytterbegrensning for plotting av samme størrelser i malmen i Nordre Gjetryggen Gruve.

3. Prospektering.

3.1: Filosofi.

Avhengig av prospekterings målsetting og krav til detaljene kan arbeidet deles inn i tre grupper; regional-, oppfølgings- og detaljnivå, (Fortescue 1965). Undersøkelsen denne oppgaven omfatter vil etter denne oppdeling bli plassert på oppfølgingsnivå hvor det vesentligste problem er å skille ut de interessante anomaliene, eg. de som skyldes malm, så disse kan detaljundersøkes med hensyn på mæktighet, gehalt, tonnasje, o.l..

Å gi en eksakt oppskrift på hvordan oppfølgingsarbeidet skal utføres er vanskelig for ikke å si umulig, men tilgangen på "case histories" på dette felt begynner etterhvert å bli stor og det er nyttig lesning, (IMM 1973, (de fleste geofysiske tidskrifter har jevnlig stoff om dette)).

Generellt vet en at noen geofysiske metoder er lite egnet for visse malmtyper, kjennskap til malmen gjør derfor utvalget av geofysikk mindre. For leting etter massive sulfidforekomster anbefales spesielt elektriske og elektromagnetiske metoder, (Parasnis 1966), men en skal ikke uteb videre utelukke at andre også kan være meget anvendelige. For geologiens og geokjemiens vedkommende er variasjonsmulighetene mindre og arbeidet kanskje mer målrettet. Geologiens oppgave er primært å presentere et kart i hensiktsmessig målestokk og ellers klarlegge de geologiske forhold i feltet så nøyte som mulig. De geokjemiske metodene omfatter fastfjells- og løsmasse-geokjemi. Vanligst er det vel på oppfølgingsnivået å konsentrere seg om løsmassene.

Filosofien kandidaten har lagt til grunn for undersøkelsen kan da summeres på følgende måte. Malmen som er kjent i Grimsdalen er av massiv sulfid-type, den samme type må forventes å finnes andre steder i området. Malmtypen er en god elektrisk leder som registreres godt med elektriske/elektromagnetiske geofysikk-metoder. En vet videre at svartskifer er utbredt i feltet, disse er også gode elektriske ledere og gir følgelig geofysiske

anomalier som svært vanskelig, eller ikke i det hele tatt, lar seg skille fra de forårsaket av sulfidmalm. Utskillingen av de interessante anomaliene må da forsøkes gjort ved hjelp av geologiske og geokjemiske metoder. Blottningskartleggingen vil, forutsatt at blottninger finnes, gi et vesentlig bidrag her, makroblokker i løsmassen bør også tas med i vurderingen. Er blottningsgraden liten må en sette sin lit til løsmassegeokjemien.

Strategien for undersøkelsen ble da følgende: En elektromagnetisk metode til å registrere lederne og en elektrisk til å kontrollere plasseringen av dem, (VLF-SP). Moreneprøvetaking over lederne for å fastlegge lederens kjemiske sammensetning. Geologisk undersøkelse av blottningene med hensyn på sulfidmineralisering og carbonmineraler. Til slutt her ville også generell kartlegging inngå, men faller utenom her da feltet var detaljkartlagt tidligere.

Det er vesentlig i en prospekteringskampanje å ha hensiktsmessige måter å presentere datamaterialet på. Geofysiske målestørrelser og geokjemiske analyser kan med fordel prosesseres ved hjelp av enkle datamaskinprogrammer. Kandidaten har laget to slike programmer, (bilagsheftets appendix), som var til stor nytte under arbeidet. Program av denne type er billig i drift, gir de ønskede størrelser hurtig og krever ingen avanserte programmeringskunnskaper for å lages.

3.2: Valg av metoder.

Dette problemet gjelder i grunn bare for den geofysiske del hvor utvalget er stort. Noen av kravene til en god metode kan defineres slik: 1.) Registrere alle ledere med tilstrekkelig sikkerhet og nøyaktighet. 2.) Være billig og enkel i drift. 3.) Være relativt entydig og enkel å interpretare. Angående punkt én er både Slingram, Turam og VLF vel egnet, (VLF har visse fortrinn når det gjelder dårlige ledere, men det kan som

kjentt være både en fordel og ulempe). Når det gjelder økonomi og enkelhet er VLF uten tvil overlegen både Slingram og Turam. Den er enmannsoperert, har enkel instrumentering og trenger ikke spesielle kabelanlegg. Å interpretere VLF nøyaktig kan derimot være problematisk. Generellt gjelder at "output" ikke er nøyaktigere enn "input", uten noenlunde eksakt kjennskap til primærfeltene kan kvantitative tolkninger vanskelig gjøres; både Slingram og Turam er VLF overlegen her.

Av de elektriske metodene er både selvpotensial og motstands-måling nyttig, IP kanskje noe mer tvilsom. Alle tre metodene kan måles kombinert men krever avansert utstyr. SP-metoden er derimot enkel å utføre separat med enkle hjelpemidler. Den gir dessuten mange nyttige opplysninger og bør i alle tilfeller utføres før eventuelle reskinger eller diamantboringer blir gjort.

3.3: Konklusjon.

Enhver prospekteringsundersøkelse bør ende opp i en konklusjon hvor arbeidet blir vurdert. Resultatet av dette bør være et forslag til videre arbeid i feltet, evt. en avskrivning av det som uinteressant.

4. Geofysikk.

4.1: Metoder og måleopplegg.

Ifølge oppgaven skulle de geofysiske målingene utføres i egen regi; valget fallt da ganske naturlig på VLF- og SP-metodene. Disse er enkle å utføre, raske og krever liten bemanning.

Fra borhullene er det kjent at anomaliårsakene enten er kismineralisering eller grafitt-magnetkis-holdig svart-skifer. Etter Sato og Mooney (1960), vil begge de forannevnte mineralkombinasjoner gi sterke selvpotensial. Hensikten med SP-målingene var derfor så nøyaktig som mulig å få kartlagt anomaliårsakens utgående under overdekket. Til målingene ble det brukt upolariserbare elektroder, $\text{Cu} - \text{CuSO}_4$, og 12,5 meter elektrodeavstand (gradientmåling). Potensialet ble målt med et Philips mikrovoltmeter type PM 245, mellom elektrodene ble det brukt $1,5 \text{ mm}^2$ enkel kopplerleder med plastisolasjon. Apparatoren var hensiktsmessig og gav gode måleresultater. Avhengig av topografien var målehastigheten 800 - 1200 meter pr. time.

VLF-målingene ble utført med et norskkonstruert instrument, (konstruktør og produsent ing. Paulsen, Trondheim). Instrumentet viser imaginærkomponent 1 % og dipvinkel i gamle grader. Målepunktavstanden ble satt til 25 meter. Etter Fraser, D.C. (1969), er det i sterste laget. Fraser anbefaler ca. 15 meter, men kandidaten fant dette intervall uegnet så lenge stikkeavstanden på profilene var 25 meter. Som et alternativ ble det derfor brukt 12,5 meters punktavstand når variasjonene var store. Avhengig av topografi og lytterforhold var målehastigheten 1000 - 1200 meter pr. time.

4.2. Beskrivelse av metodene:

SP- (selv-potensial) -metoden er vel den eldste av alle geofysiske metoder da den ble brukt og beskrevet så tidlig som tidlig 1330, (Fox 1330). Sato og Mooney (1960) har presentert den for tiden mest dekkende teori om potensialets opprinnelse basert på elektrokjemiske halvcellereaksjoner. De beregnet teoretisk verdier for størrelsen på potensialet forskjellige mineraler skal gi, tabel 4.1. Potensialet

Grafitt	0,78 V.
Svovelkis	0,73 V.
Covellin	0,57 V.
Kopperglans	0,50 V.
Blyglans	0,33 V.

Tabell 4.1: Mineraler som gir selvpotensial, størrelsen på potensialet beregnet fra elektrokjemiske halvcellereaksjoner, (etter Sato og Mooney 1960).

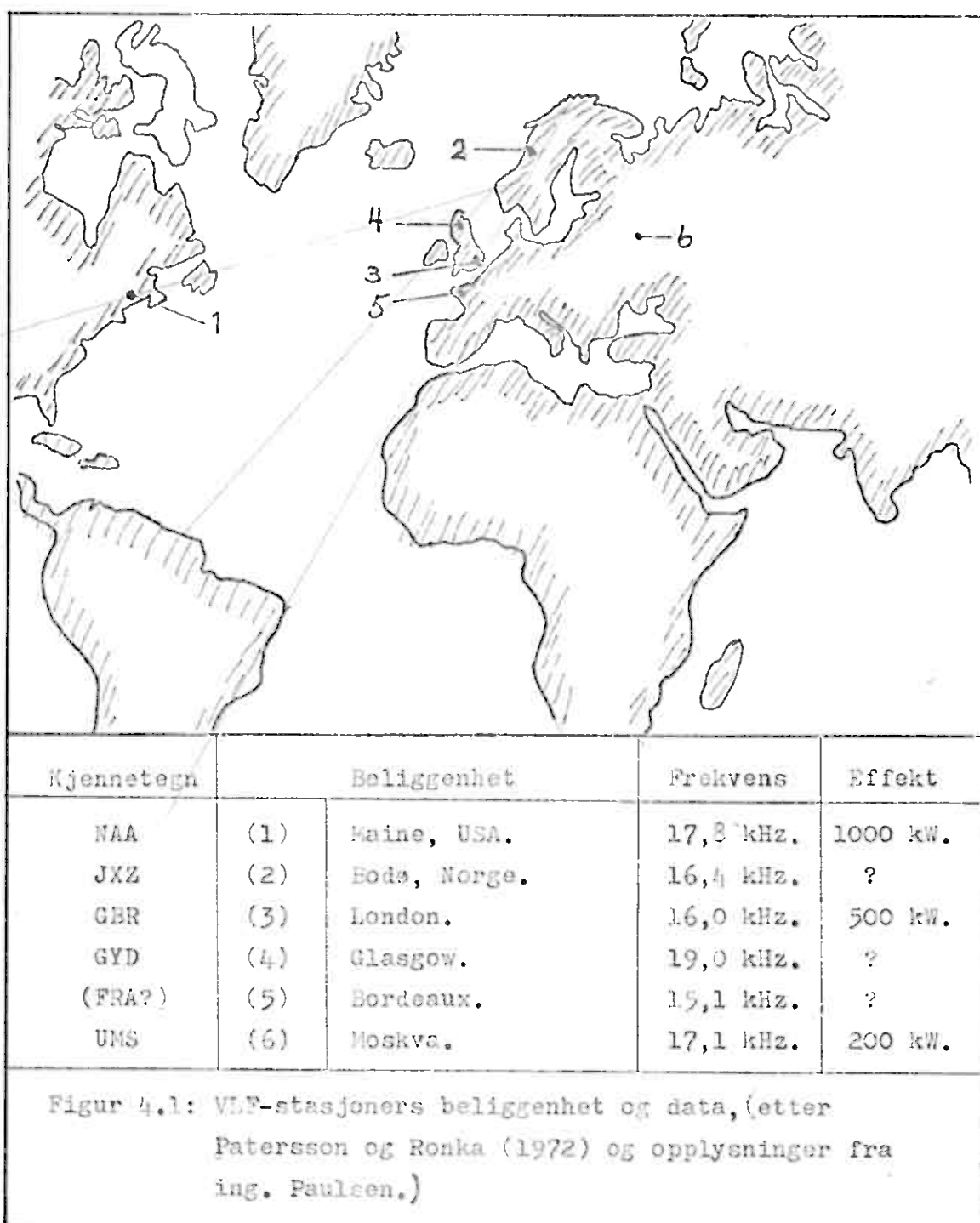
blir sjelden større enn 0,5 V. Sato og Mooney (1960) refererer potensial opptil 1,2 V og ved målinger kandidaten har utført er det påvist potensial på 0,9 V (referert til uendelig), plansje 4.

Ifølge tabel 4.1 skal grafitt-horisonter gi større potensial enn sulfidmineralisering. Praktisk er dette også riktig så sant forholdene i de to tilfellene er like, f.eks. at begge går over grunnvannspeilet, overdekket har noenlunde lik tykkelse o.l. Taes disse

forhold i betraktning gir metoden verdifulle opplysninger til tolking av et områdes geologi. Fullstendig opptegning av målingene er vist i plansje 2 - 13.

VLF - (Very Low Frequency) - metoden hører til gruppen elektromagnetiske prospekteringsmetoder, (EM-metoder). De bygger på Faradays Induksjonslov om at det genereres et sekundært elektromagnetisk felt når et ledende legeme utsettes for et primært elektromagnetisk felt, Borowitz og Beiser (1967). EM-metodene registrerer sekundærfeltet (og. total felt =

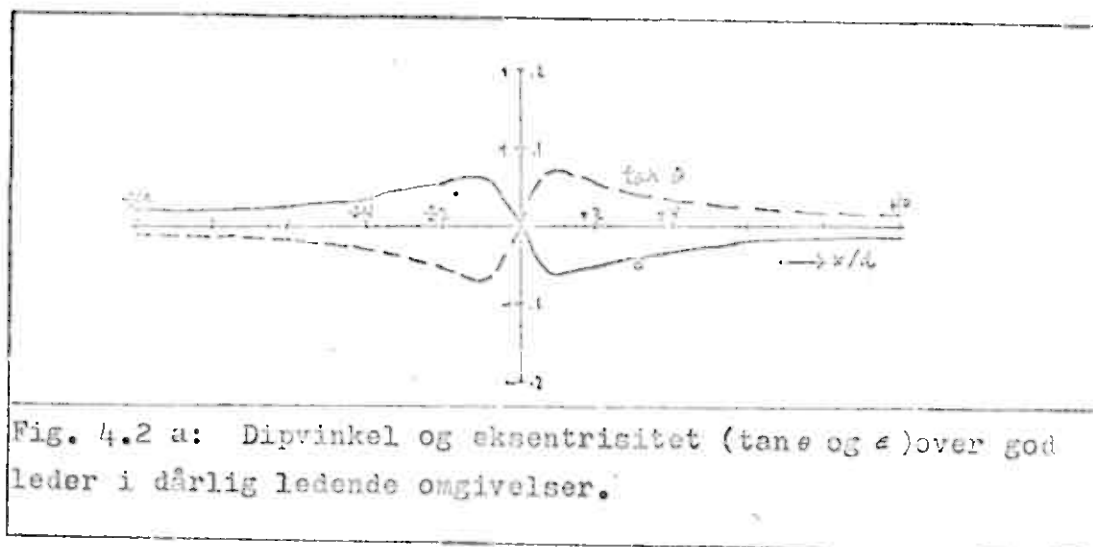
primær felt + sekundær felt) og fastlegger på denne måten evt. ledende legemers form og orientering i grunnen. En skiller mellom aktive og passive metoder; hvor de aktive anvender genereringskilder oppsatt med henblikk på et spesielt måleoppdrag. VLF - metoden er passiv ved at den benytter signaler fra kraftige, lavfrekvente radiostasjoner; 15 - 25 kHz, 100 - 1000 MW, som genereringskilde. Navnet er således misvisende da det i geofysisk målestokk anvendes meget høye frekvenser. Endel stasjoners beliggenhet og data er vist i figur 4.1.



For malmliteren innebærer de høye frekvensene visse ulemper. Såvel store som små ledningsevnekontraster lar seg registrere, ofte får man derfor utslag på sprekker, knusningssoner, forkastninger o.l.. For det generelle geologiske bilde er dette nyttig og gjør metoden anvendbar til kartlegging av disse forhold.

4.3: Tolking.

Problem med tolking av måleresultatene er små når det gjelder SP-metoden og den vil følgelig ikke bli behandlet, derimot knytter det seg flere spørsmål til VLF-metoden og dens interpretasjon. Ved måling av dipvinkel og imaginærkomponent får en etter Patersson og Ronka (1971) to størrelser som forteller om polarisasjonsellipsens form og orientering. Imaginærkomponenten er avhengig av anomaliårsakens ledningsevne og angir ellipsens eksentrisitet. Dipvinkelen er den vinkel lengste akse i ellipsen danner med horisontalplanet. Etter de samme forfattere er det i figur 4.2, a, b og c vist teoretiske kurver for hvordan eksentrisitet og dipvinkel varierer over forskjellige ledere.



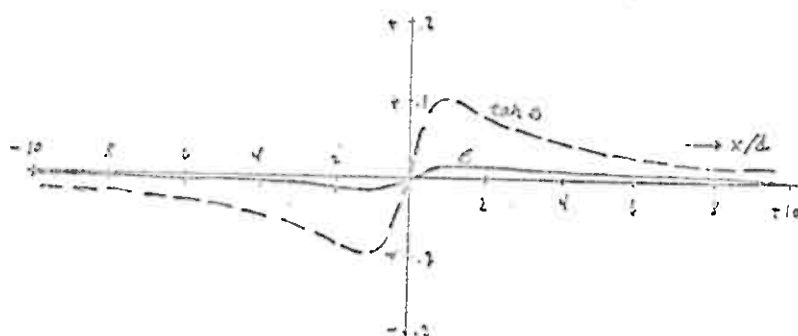


Fig. 4.2 b: Dipvinkel og eksentrisitet ($\tan \theta$ og ϵ) over dårlig leder i ikkeledende omgivelser.

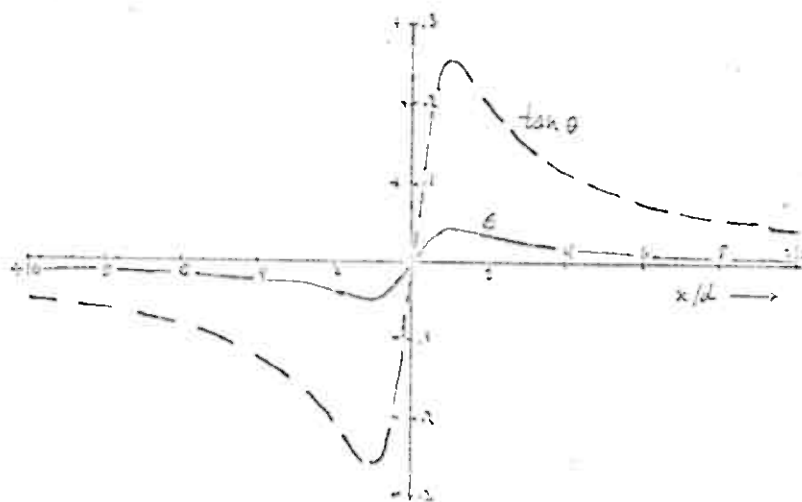


Fig. 4.2 c: Dipvinkel og eksentrisitet ($\tan \theta$ og ϵ) over dårlig leder med stor mektighet i ikkeledende grunn.

Tolking av VLF-data vil alltid by på problemer og få kvantitative tolkingemetoder er utviklet. Vanligst er det å forta en kvalitativ vurdering av lederens størrelse og elektriske egenskaper ut fra sammenligningen teoretiske typekurver - målt

kurve. Figurene 4.3 a, b og c viser hvordan endel av de målte verdier er forsøkt tilpasset Paternsson Ronka's typekurver.

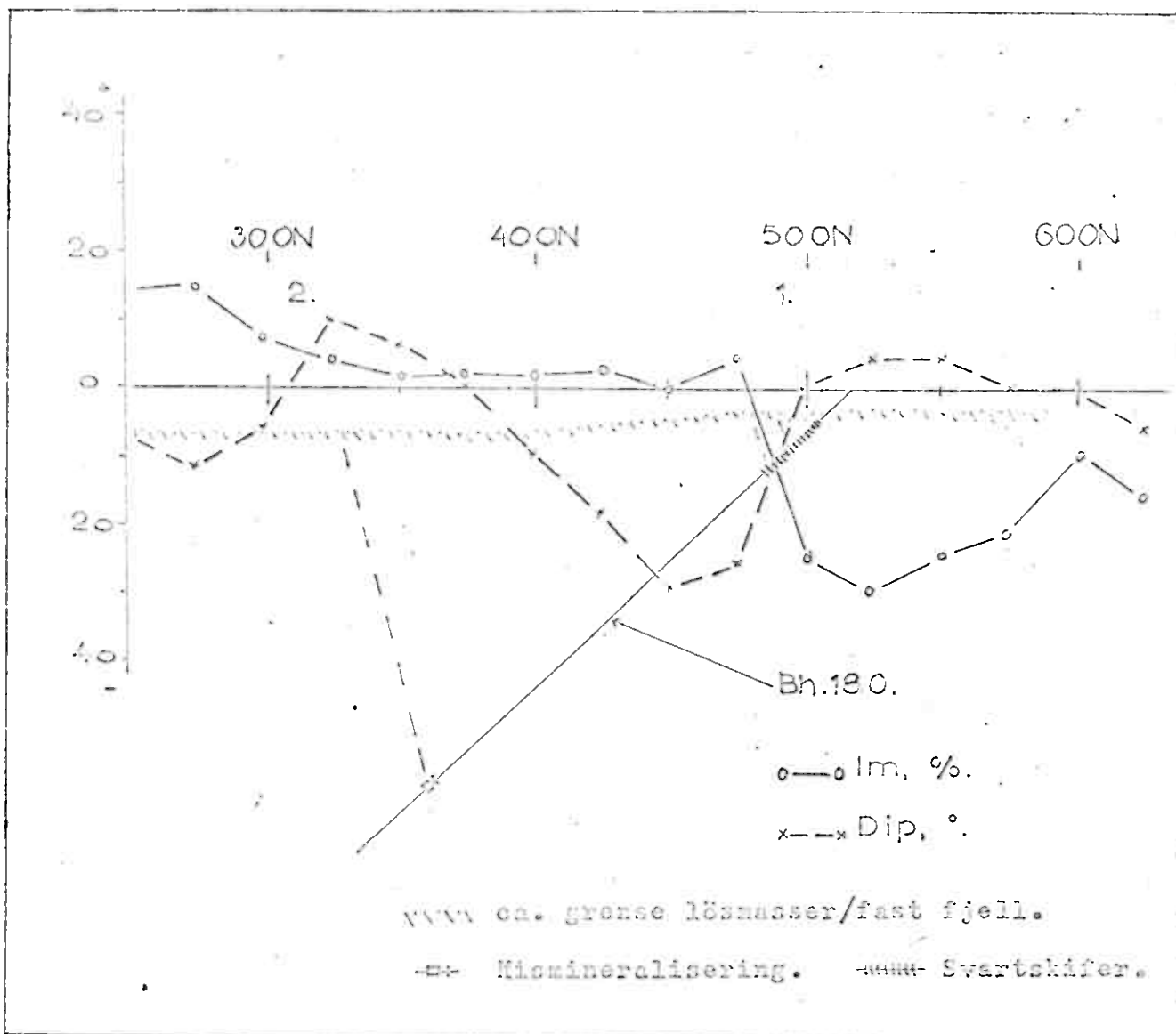


Fig. 4.3 a: Utsnitt av VLF-målingene på profil 2900V, tolking av målingene ved hjelp av borhullsopplysninger. Anomali 1 representerer en god leder av betydelig dimensjoner. Fra borhull nr. 180 kjenner en svartskifer sonen som er tegnet inn, sonen består av mange striper med vekslende tykkelse, 1 - 60 cm, og varierende C-innhold. Kurvens flate^{form} mot nord viser at fallet er steilt nordlig. Anomali 2 representerer en middels god leder med relativt liten mektighet. Årsaken her er sulfid-mineralisering og igjen sier kurvens form at fallet er steilt nordlig. Merk spesielt imaginærkomponentens forløp i de to tilfellene, denne forteller om forskjellen i ledningsevne.

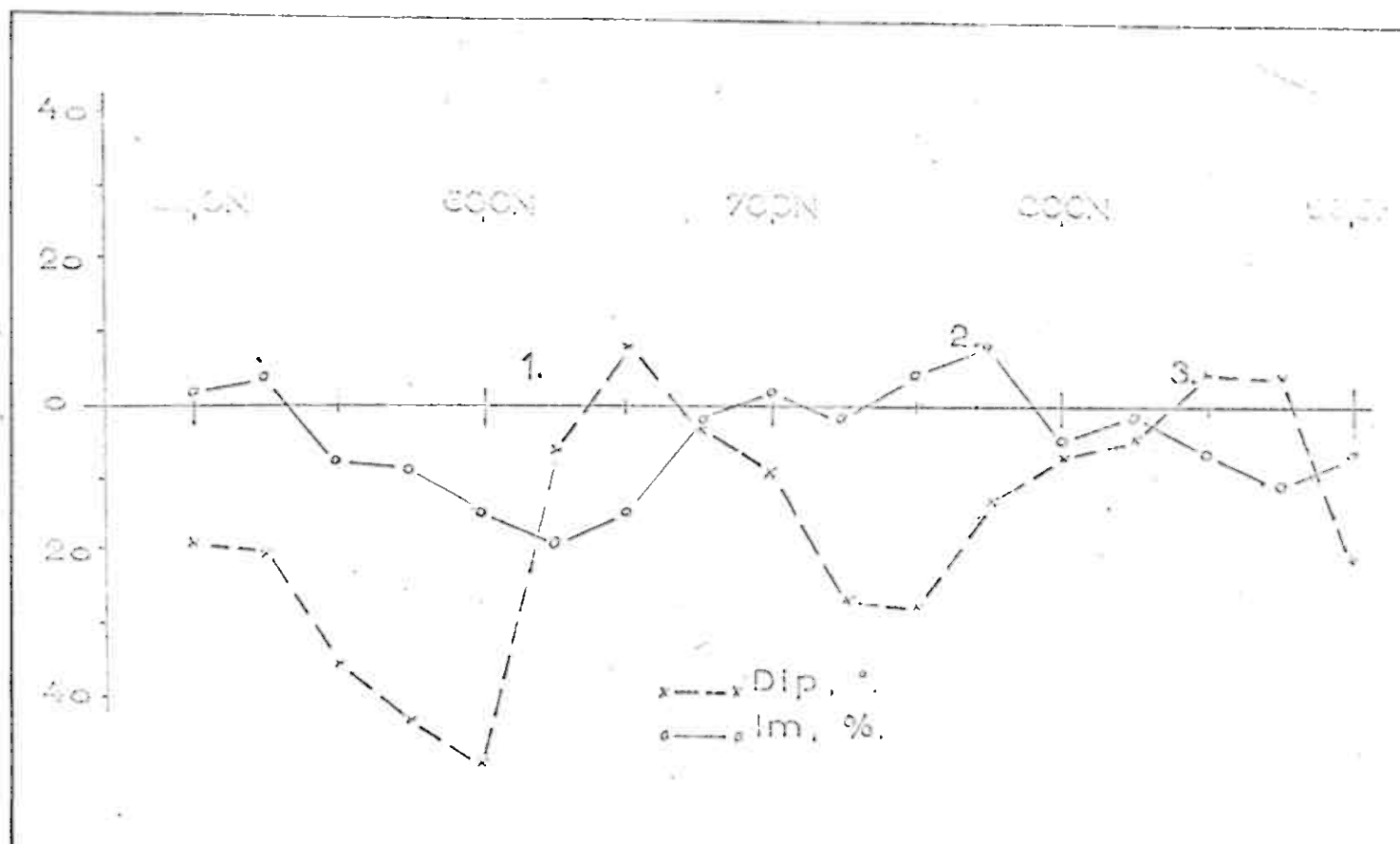


Fig. 4. 3 b: Utsnitt av VLF-målinger på profil 1600V.

Anomali 1 indikerer en god leder av stor mektighet, analogt kurven i fig. 4.2 c. Anomali 2 representerer en relativt dårlig leder av små dimensjoner, analogt fig. 4.2 b. og anomali 3 en meget god men liten leder, (fig. 4.2 a). Som en ser kan tilfellene bli vanskelig å skille fra hverandre når flere gode og dårlige ledere følger tett etter hverandre, dette skal diskuteres senere.

En enkel og nyttig måte å prosessere VLF-data på er Fraser-konturering, beskrevet i Fraser (1969). Kandidaten laget derfor et datamaskinprogram for beregning av Fraserverdiene, (programmet regnet samtidig ut SP-verdiene, bilagshefte/appendix). Fraserkonturering er særlig nyttig for å framheve anomale, plansje 15, samtidig som de fleste terreng- og tilleggs-effekter (sprekkesoner, forkastninger o.l.) filtreres bort.

Plasseres transparenten, plansje 15, over plansje 1 ser en at de samme drag kommer fram med VLF som med Turam. Problemet oppstår når flere ledere følger tett etter hverandre. Er målepunktavstanden stor i forhold til avstanden mellom lederne vil Fraserkontureringen "slå" flere ledere sammen til en, f. eks. 2200V-2300V/800N og 3900X-4000X/1500Y, eller filtrere enkelte bort, f. eks. 2900V-3000V/900N. I de tilfellene som er nevnt her er lederne alltid markert på dipvinkel- og imaginærkomponent-kurvene, når de forsvinner ved Fraserkontureringen skyldes det at gradientene på kurvene er for små. Gjøres målingene tettere vil denne effekten til en viss grad forsvinne, fra plansje 15 kan en grovt si at målepunktavstanden bør være ca. $1/3 - 1/4$ av anomaliavstanden. Avstanden mellom lederne er selvsagt vanskelig å vite på forhånd, men en god regel er å måle mellompunkt når man går inn over en leder, det vil som regel avsløre om flere ledere følger tett etter hverandre.

Fraserkonturering av imaginærkomponenten kan også være nyttig, (datamaskinprogrammet ble laget slik at det også kunne utføre dette, appendix i bilagsmappe). En måte å bruke tallene er å korellere dem med kontureringen på plansje 15. Dårlige ledere vil ha fraserverdier med samme fortegn, (+) og gode motsatt, (+ dipvinkel og - imaginær).

4.4: Valg av stasjon.

Denne del av måleforberedelsene er meget viktig for å oppnå gode resultater. Som det framgår av figur 4.1 er det mange stasjoner å velge i, mange av disse utelukkes av for liten sendereffekt, men det er også en rekke andre ting som må tas hensyn til. Kontinuitet i sendingene er viktig så en ikke risikerer lange opphold midt på dagen og likeså at signalene kommer i noenlunde jevn strøm. For å oppnå så stor koplingsfaktor som mulig bør retningen til stasjonens geografiske beliggenhet og strekretningen så noenlunde falle sammen, Paterasson og Ronka (1971) og Parasnis (1972). En må imidlertid ta hensyn til at signalet kan avbøyes og endres "underveis" slik at teoretisk ugunstige stasjoner likevel kan være meget brukbare.

Målingene ble hovedsakelig utført med NAA 17,8 kHz, men da denne i slutten av september holdt opp å sende ble målingene fullført med to andre stasjoner. Først ble JXZ 16,4 kHz forsøkt, men denne har ugunstig plassering, fig. 4.1. Det ble så satt inn krystall for GYD 19,0 kHz i apparatet og målingene ble avsluttet med denne. For å teste teorien om stasjonenes beliggenhet er de to sistnevnte plottet mot hverandre på plansje 14.

Konklusjon: Som ventet viste det seg at GYD ga sterkest utslag over ledende soner og anomaliene her var lettest å tolke. En skal likevel ikke underslå at JXZ-kurven gir mange viktige opplysninger, spesielt når flere ledere følger tett etter hverandre. I områdene 3300X/800Y - 100Y og 2600X/500Y - 800Y er det faktisk lettest å plassere lederne ut fra JXZ-kurven. Dette kan skyldes flere ting; For det første kan det være lokale strøkendringer som ikke lar seg registrere på overflaten, slik JXZ egentlig er den beste stasjon i nevnte område. Den andre ting det må tas vesentlig hensyn til er responsen de forskjellige lederne gir. En god leder vil gi et stort sekundærfelt, stor respons, for en gunstig beliggende stasjon. Finnes det flere, kanskje dårligere, ledere i nærheten vil deres

sekundærfelt til en viss grad forsvinne i den gode lederens sekundærfelt. En stor leder vil ha noenlunde samme virkning ovenfor flere små. Benyttes en stasjon som gir liten respons i lederen vil denne skyggeeffekten bli betraktelig redusert. Alle sekundærfeltene vil få mindre utbredelse med den følge at de små kan få evnen til å trenge igjennom og bli registrert.

4.5: Kommentarer til tolkningen av VLF- og SP-kurvene.

Kandidaten vil som tidligere nevnt bare forsøke å gi kvalitative tolkninger av kurvene. Av denne grunn angies alltid omtrentelige verdier for lederenes mektighet, (liten mektighet <6 meter, middels <6 - 15> meter og stor >15 meter). Fra den geologiske kjennskap til området antas lederne å være plater med relativt steilt fall mot nord hvis intet annet er bemerket. Alle lederne må forventes å ha utgående under løsmassene, så som dybde til den anslåtte tykkelsen på dette, jevnt over er den liten. Lederne er klassifisert som gode, middels og dårlige, med basis i imaginærkomponentens forløp. Å knytte noe tall til kisen og svartskiferens ledningsevne for sammenligning er ikke mulig da tidsrammen ikke har gitt plass til måling av denne. Generellt antas at svartskiferene representerer de beste lederne, og kisen de midlere, men her må en alltid regne med variasjoner, (Parasnis 1972).

Profil 1500V, plansje 2: VLF-kurven har en meget kraftig anomali ved 95N, SP-utslaget er lite. Det siste skyldes nok at overdekket her er stort, (minst 25 meter). Ledningsevnen er god så årsaken må antas å være en svartskifer. Verdt å merke seg er at Turam-målingene har markert svak "strømkonsentrasjon" ca. 30 meter lenger syd. Sammenlignet med SP-kurven synes VLF å gi riktigst plassering av lederen. Den svake og uriktige plassering (Turam) kan skyldes at kabelanlegget er for nært og det tykke overdekket.

Figur 4.4 viser et utsnitt av kurvene, terrengprofilen, anomalier

og anomaliårsaker slik de er kjent fra boringer i nærheten av profilet. Den markerte "anomali" ved 300N skyldes uten tvil gjerdet. Ved 355N er en god leder interpretert, dette er en svartskifer. Ved 420N er ^{det} en dårlig leder, fra boringer vet en at denne må skyldes kissonene som er vist på figuren. Det er tydelig at både VLF- og Turam-metoden "oppfatter" de to sonene som én leder. SP-kurven indikerer relativt tydelig alle de tre lederne og med litt godvilje kan det spores et lite anomalt forløp på dypvinkelkurven ved 395N, dette markerer antagelig den sydligste av de to kissonene.

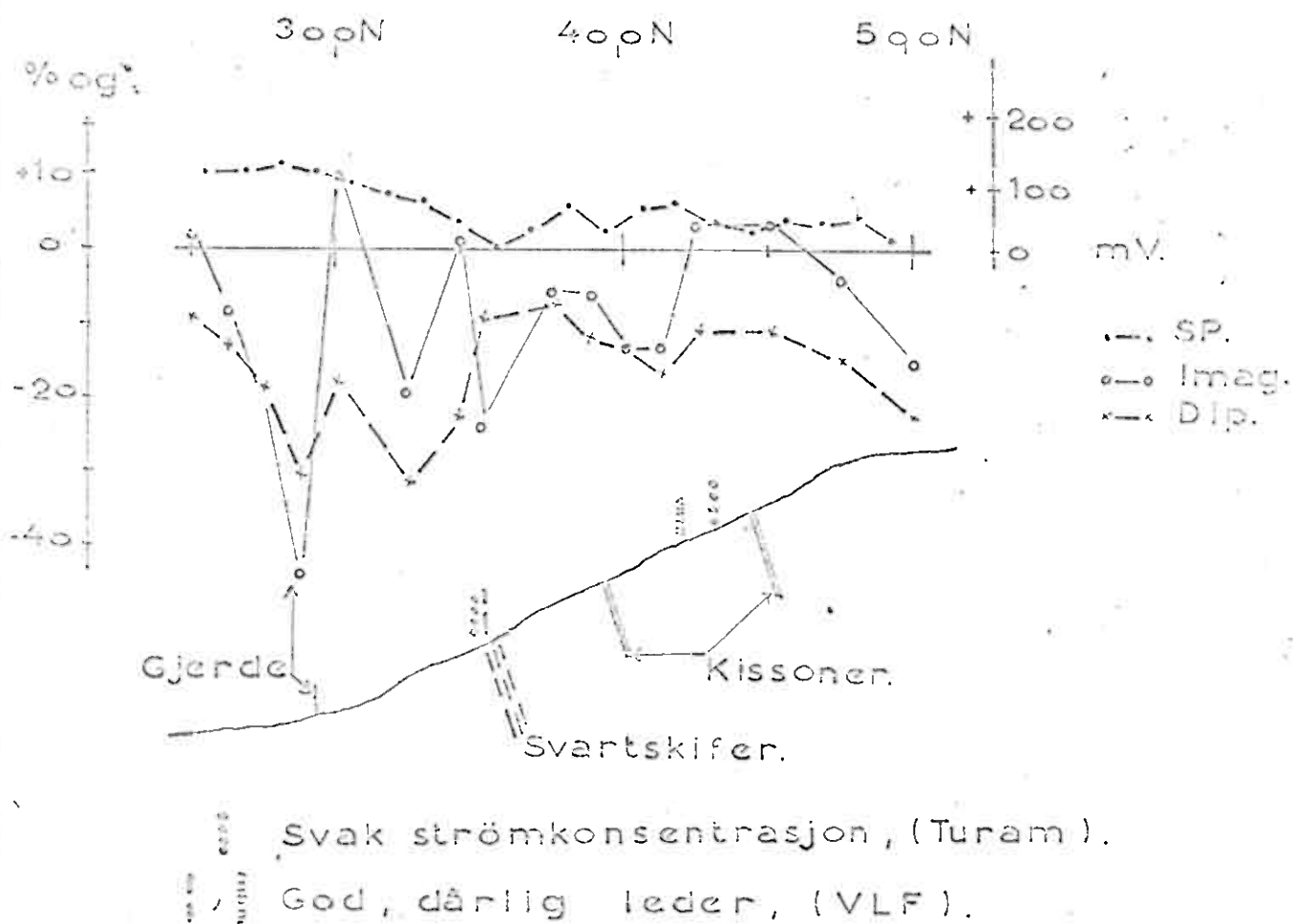


Fig. 4.4: Utsnitt av geologi, topografi og geofysikk på profil 1500V/250N - 500N.

Interpretasjonen av de fire nordligste lederne trenger ingen særlig kommentar, sannsynligvis er de svartskifer med varierende ledningsevne og mektighet. Interessant er å merke seg seg de meget markerte selvpotensial ved 600N og 790N, (disse peker også i retning av svartskifer).

Profil 1600V, plansje 3: Anomalibildet her tilsvarer det på 1500V bortsett fra området mellom 900N og 1000N. Den gode lederen fra 1500V synes her å ^{være} spaltet opp i, eller erstattet av, to dårlige. Ved 350N - 450N ser en at forholdene er de samme som på 1500V; kissonene får bare en markering som sammenholdt med selvpotensialet ligger imellom de to sonene. Også her kan et visst anomalt dipvinkelforløp spores over den sydligste sone, (385N).

Profilene 2200V (plansje 4) og 2300V (plansje 5): Spesielle ting å nevne her er SP-kurven på 2200V, denne er meget "god" og markerer alle lederne som Turam/VLF har registrert. Særlig rundt 300N er det tydelig at en har med to kissoner å gjøre. Nordligst på disse profilene følger mange SP-anomalier tett etter hverandre og naturlig nok gir ikke alle utslag på elektromagnetiske målinger. Selvpotensialene er kraftige og VLF-kurvene minner med unntak av den nordligste om svartskifer-anomalier. NB: Merk særlig potensialet ved 2200V/765N - 0,9V.

Profilene 2900V (plansje 6) og 3000V (plansje 7): Her er løsmassetykkelsen syd for ca. 600N meget stor, (minst 25 meter), noe SP-kurven bærer tydelig preg av. Minimumspunktene blir usikre på grunn av de små gradientene. VLF-kurven for 2900V/300N-600N er diskutert i figur 4.3, kurveforløpet på 3000V er bortsett fra gjerdeeffekten ved 400N analog, så også tolkningen. Turammotoden har angitt to ledere ved ca. 200N på begge profiler. VLF registrerer begge på 2900V men bare en på 3000V, det må skyldes at avstanden mellom dem, blir mindre mot vest og det tykke overdekket. Ved 2900V/695N - 3000V/745N og 3000V/560N har VLF registrert to ledere, med sikkerhet kan en si at begge disse som ikke har gitt utslag på Turam skyldes lokale svart-

skifere eller knusningssoner. Interpretasjonen av de tre nordligste anomalienen skulle ikke trenge noen kommentar.

Profilene 2600X (plansje 8) og 2700X (plansje 9): Disse profilene er målt med forskjellige stasjoner og således ikke direkte sammenlignbare. På begge to har VLF-målingene gitt flere ledere enn Turammetoden. For det første ved 2600X/440Y og 2700X/540Y. Dette er uten tvil samme leder, men mest sannsynlig er årsaken en knusningssone som følger dalsøkket her. Ved 2600X/960Y og 2700X/1015Y er også en dårlig leder registrert. Her er det funnet kisimpregnasjon i grønskifer og anomalien må skyldes denne, (impregnasjonen er beskrevet tidligere side 24). De fire resterende anomalier unødvendig å kommentere tolkningsmessig, men den ved 2600X/250Y - 2700X/310Y virker interessant. De ved 2600X/600-800Y - 2700X/600-850Y skyldes sannsynligvis svart-skifer. Den systematiske senkning av selvpotensialet mot nord er vanskelig å forklare, mest tyder kurveforløpet på feil i målingene. Profilene ble imidlertid kontrollmålt etter at elektrodene var sjekket, dette ga samme resultat, bytting av elektrodene ga heller ingen endringer. Andre profiler ble målt etter disse to og med "normalt" resultat, at instrumentfeil skulle oppstå akkurat her er derfor usannsynlig.

49.

3200X (plansje 10) og 3300X (plansje 11): VLF-målingene har gitt de samme ledere som Turam pluss noen til. Turam har markert svak strømkonsentrasjon ved ^{3200X/}200Y mens VLF markerer en leder ved 3200X/280Y, (pluss en usikker ved 3200X/250Y). Tar en SP-kurven i betraktning virker det som om VLF "oppfatter" situasjonen mest korrekt. På 3300X er den samme leder knapt registrert av VLF men har gitt et ganske markert selvpotensial. Her er det også en dipvinkelanomali på hver side av lederen, disse skyldes helst knusningssoner. Lederne ved 3200X/1160Y og 3300X/935Y har ikke gitt noe utslag på Turam, sansynligvis skyldes de da små lokale svartskifere.

3900X (plansje 12) og 4000X (plansje 13): Her har VLF registrert en leder ved 3900X/1085Y - 4000X/1110Y, men ikke Turam. SP-kurven viser også anomali og bekrefter målingen. Årsaken til at Turam ikke indikerer noen strømkonsentrasjon her må være at den sterke anomalien ved ca. 1160Y har skygget. Den svake markeringen ved 4000X/640Y må en anta skyldes en knusningssone. I området rundt 13-1400Y har SP-kurven mange anomalier etter hverandre og det er tydelig at VLF og Turam er uenig om plasseringen av disse, dette viser igjen svakheten med de to metodene når lederne følger så tett etter hverandre.

4.6: Konklusjon.

Stort sett har VLF registrert de samme ledere som Turam-målingene, i enkelte tilfeller noen fler. En skal ikke underslå at tolkningen av målingene ble atskillig forenklet når en hadde Turamanomaliene å støtte seg til. Dette er imidlertid helt i tråd med hva både instrument-produsenter og "VLF-venner" anbefaler. En bør alltid måle noen Turam- eller Slingram-profiler parallellt VLF-målingene for sammenligningens skyld, (Patersson og Ronka 1971 og Parasnis 1972). Generellt må det sies at VLF-metoden var vel egnet ved de målingene som ble gjort, anomali-bildet ble like fullstendig med denne metode som med Turam, og den kan anbefales til videre bruk i feltet.

SP-målingene har gitt bidrag til tolkningen og er med på fylle ut bildet av feltet. Målingene vil dessuten alltid være til nytte ved plassering av både borhull og røsker. For framtidig bruk bør de kombineres med motstandsmåling og måleområdet begrenses til de deler som er i anomaliers umiddelbare nærhet.

En må forvente at enkelte svartskifere og kisen har noenlunde ensartede elektriske egenskaper, en typekurve som indikerer kis kan derfor ikke postuleres. Derimot kan enkelte anomalier betegnes som typiske for svartskifer, f.eks. de i figurene 4.3 a og b. En god leder kombinert med et meget markert selv-potensial må også betraktes som typisk for svartskifer. Følgelig blir de middels til dårlige ledere med et moderat selv-potensial stående som de mest interessante.

5. Geokjemi.

5.1: Filosofi og opplegg.

Hensikten med morenepreveundersøkelsen var å se om spesielle dispersjonsmønstre fantes i løsmassene og om disse gjenspeilte berggrunnens kjemi. Særskilt om kismineralisering og svartskifer kunne skilles på denne måte. Tabell 5.1 viser en sammenstilling av analyser foretatt på materiale fra feltet. Borkjerneanalyserne representerer hele tversnitt av malm og impregnasjon og således mest representative, (prøver med mindre enn 15 % S er regnet som impregnasjon). Prøver som er "samlet i feltet" er små stuffer og kjernebiter som primært var beregnet til mikroskopering, analysene her er således lite representative.

	Cu	Zn	Ni	Pb	Gj.sn. av ant. prøver.
Kompakt malm	0,30%	3,75%	-	-	17 ^{x)} .
Impregnasjon	0,07%	0,70%	-	-	19 ^{x)} .
Bergarter	- - - -	2,0 % opakt	- - - -	- - - -	17 ^{y)} .
Svartskifer	- - - -	40,0 % opakt	- - - -	- - - -	4 ^{y)} .
Malm	0,88%	2,07%	44ppm	1708ppm	6 ^{z)} .
Svartskifer	0,11%	382ppm	77"-	365"-	3 ^{z)} .
Bergarter	0,06%	358"-	38"-	224"-	6 ^{z)} .
^{x)} : Analyser av borkjerneher. ^{y)} : Modalanalyser på tynnslip. ^{z)} : Prøver samlet i feltet, analysert v/ I. Rønne, . Geol. Inst. NTH.					
Tabell 5.1: Gjennomsnittsverdier for endel analyser.					

Hawkes og Webb (1962) påpeker at primære geokjemiske kontraster i berggrunnen vil, med modifikasjoner, gjenspeiles i overliggende løsmasser. I tabell 5.2 er kontraster for malm/svartskifer og impregnasjon/svartskifer beregnet. Kontrasten malm/bergarter må være større enn kontrasten impregnasjon/svartskifer, men den er igrunn uten interesse her.

	Cu	Zn	Ni	Pb	
Malm / svartskifer	4,1	85,2	0,57	4,9	
Impregnasjon / svartskifer	0,5	18,3	-	-	
Tabell 5.2: Kontrastverdier for forskjellige elementer mellom malm / svartskifer og impregnasjon / svartskifer, tallene er tatt fra tabell 5.1.					

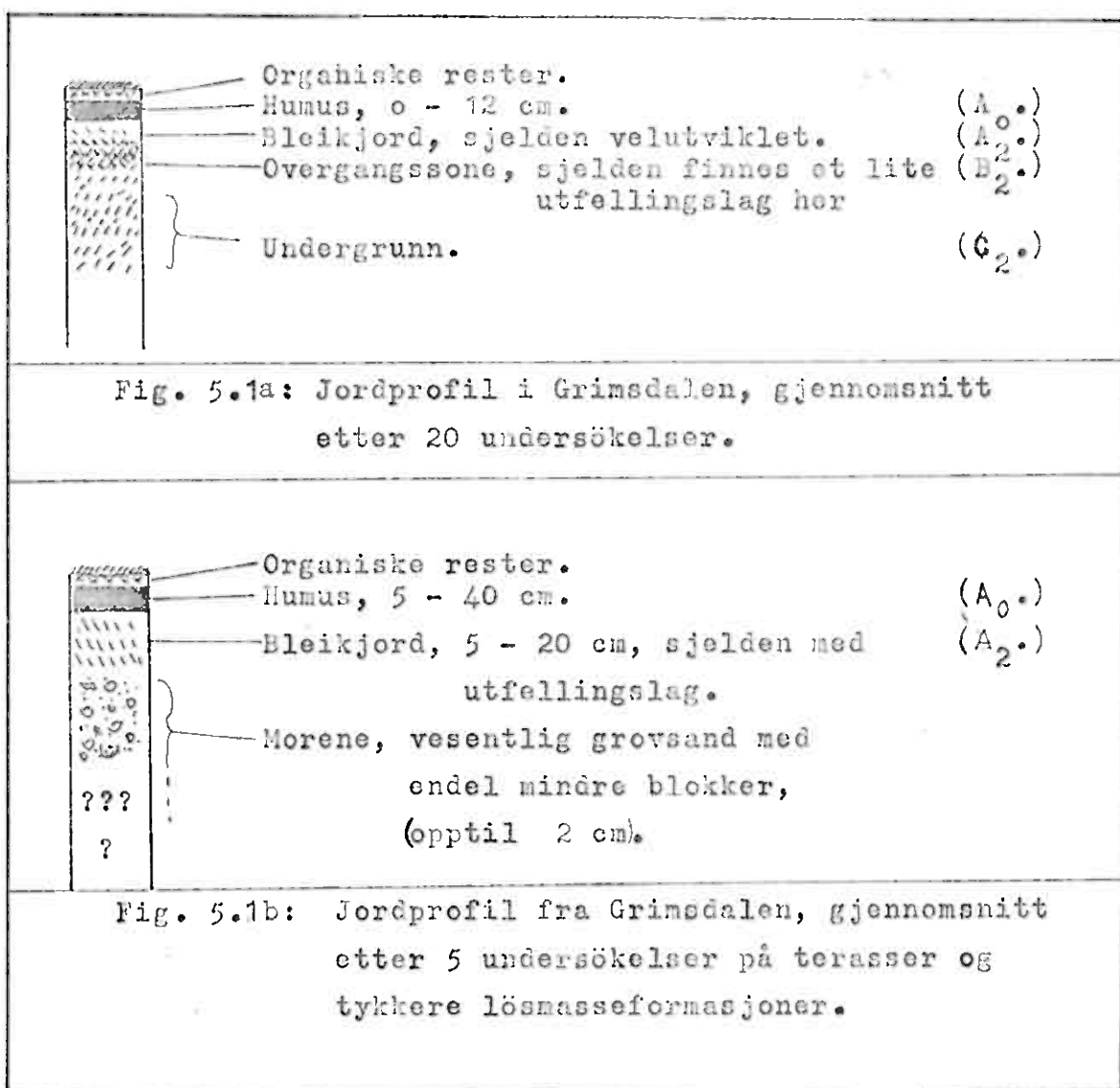
Fra bekkesedimentundersøkelsen i 1968, utført av NGU, er flere anomale områder kjent, samtidig gir den en pekepinn om hvilke elementer som finnes i større mengder. I bilagene 4, 6 og 8 er frekvensfordelingene for elementene Cu, Zn og Ni vist, (forøvrig vises til appendix hvor kumulering og histogram finnes). I tråd med hva en kunne vente fra tallene ~~i tabell 5.1~~ i tabell 5.2 er det spesielt Zn som viser de høyeste verdiene, mens Cu og Ni er mer jevnt spredt over hele konsentrasjonsområdet. Prøvene ble også analysert for Pb, samtlige prøver med unntak for tre lå mellom 5 og 20 ppm, (de resterende: 22, 24 og 28 ppm). Den ulike spredningen av elementene skyldes nok endel forskjell i mobilitet, spesielt for Pb's vedkommende, men uten tvil gjenspeiles også til en viss grad berggrunnens geokjemi. Når så markerte trekk finnes i bekkesedimentene skulle forholdene ligge meget bra til rette for en vellykket moreneprøveundersøkelse.

Folldal Verk A/S har selv tatt mange moreneprøver i Grimsdalen

og analysert disse for Cu og Zn, hvilket også var meningen med de prøver oppgaven omfatter. Samtaler med ing. Killi på Tverrfjellet gjorde det klart prøvene hadde gitt anomali både over kismineralisering og svartskifer. Det samme problem er alment kjent og ofte behandlet i litteraturen, (Kvalheim 1967 og Stokke 1968), mikroskopering av svartskiferen bar og tydelig bud om at slike forhold måtte finnes.. Nytt av undersøkelsen ble da etter kandidatens mening tvilsom dersom andre elementer ikke kunne brukes som sporelement for svartskifer eller kismineralisering. Marmo (1961), Peltola (1961), og Stokke (1968) påpeker at svartskifrene har anomalt høyt innhold av Cu, Zn, Ni, Pb, Mo, V, U, (Co), Cr, C og S sammenlignet med andre sedimentære bergarter. Kandidaten gjorde derfor pilotundersøkelser på en del prøver fra områder med svartskifer. Ni, V og Cr-innholdet var relativt stort i disse prøvene.

Det ble da avtalt med Folldal Verk A/S at prøvene skulle analyseres for de tre nevnte elementer. Ved en misforståelse ble dette ikke gjort slik at resultatene kan presenteres her. Imidlertid kunne laboratoriet på Tverrfjellet i løpet av kort tid frambringe telleverdier for Ni fra rentgenanalyser på et utvalg prøver, (bilag 2). Ni-analysene har vært til stor nytte, men de manglende analyser reduserer verdien av undersøkelsen betraktelig.

Prøvetakingsstrategien ble lagt opp med basis i Turam-kartet. Tre prøver ble tatt over hver anomali, en sentralt og en ti meter til hver side. De ble generelt tatt på 40 cm dyp eller like over fast fjell når løsmassen var tynnere. Dybden tilsvarede nesten uten unntak C-horisont, Hawkes & Webb (1962). Fig. 5.1 a og b viser de generelle jordprofil i Grimsdalen, framstillingen representerer et grovt gjennomsnitt og kan i mange tilfeller være feilaktig, særlig i overgangssonen terrasse / ikke terrasse. I myrdragene vil selvsagt profilet se annerledes ut men disse ble unngått så langt det var mulig. Når SP-målingene var unnagjort ble det tatt "kompleteringsprøver" i de tilfellene anomaliårsakens



utgående ikke stemte overens med Turam-målingene.

5.2: Bearbeidelse av analyseresultatene

Som tidligere nevnt ble prøvene analysert ved laboratoriet på Tverrfjellet. Behandlings - og analysemetoden er beskrevet i bilag 1.

Analyseresultatene skulle forhåpentligvis gi det vesentligste bidrag til svaret på oppgavens hovedspørsmål; Hvordan skille kismalm og svartskifer. Kandidaten valgte derfor en detaljert

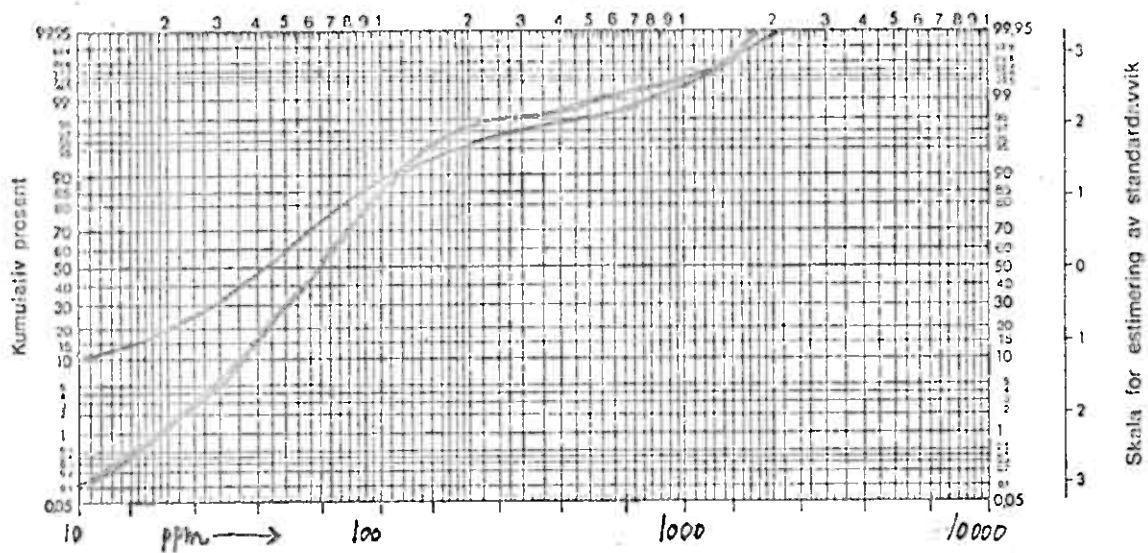
framstilling av materialet. Hvert profil ble tegnet for seg og metallinnholdet i moreneprøvene avsatt som stolper i prøvepunktene, plansjene 2 - 13.

For å få en nøyere fastleggelse av skillet mellom anomali og bakgrunn ble prøvene kumulert fra laveste verdi og plottet på sannsynlighetspapir. Anomali er regnet som median pluss to standardavvik, (Bølviken 1973). Tallmengden var ganske stor, 514 prøver, så derfor ble det laget et datamaskinprogram som utførte regnearbeidet og tegnet histogram. Frekvensfordelingene for elementene er vist i bilagene 3 - 8, kumulering og histogram finnes i appendix.

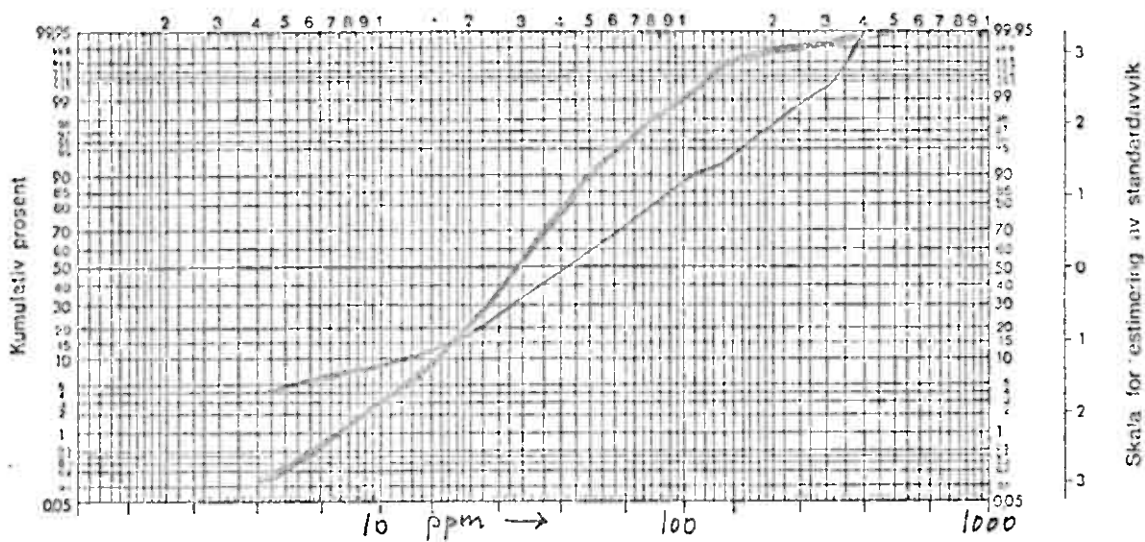
5.3: Diskusjon av resultatene.

Som ventet viser Zn de største anomale forhold også i moreneprøvene, Cu og Ni har et mer rettlinjet forløp. I figurene 5.2 a, b og c er frekvensfordelingene for metallinnhold i bekkesediment og moreneprøver plottet sammen og trenden i fordelingene for de to prøvetypene er helt parallell. Zn viser omtrent identisk fordeling, mens kurven for Cu i bekkesediment er brattere enn den for moreneprøver. Tar en elementenes mobilitet i betraktning er dette naturlig, Zn har større evne til å vandre enn Cu. Ni-kurvene er egentlig ikke sammenlignbare da moreneprøveanalysene bare er telleverdier og antallet lite, men en tydelig parallell trend sees.

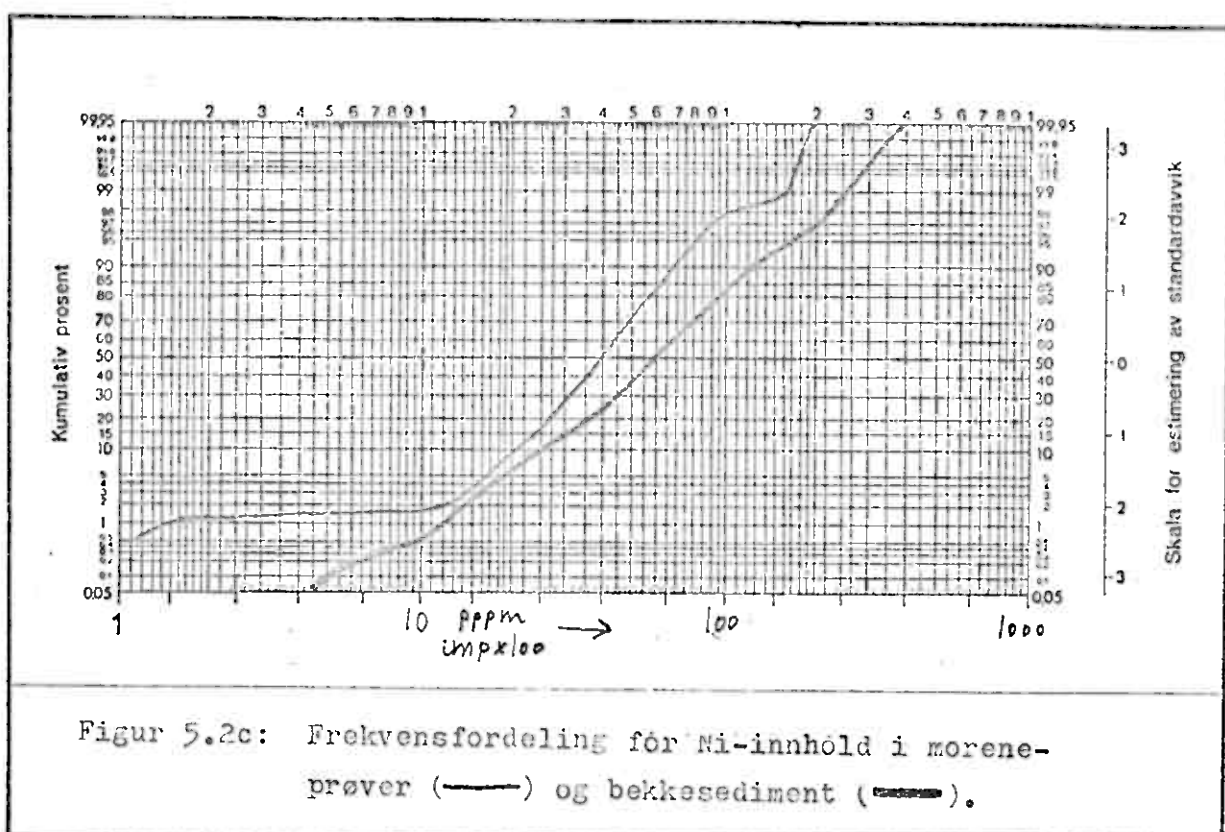
Dersom berggrunnen er uten geokjemiske kontraster skal metallinnholdet i løsmasser over den teoretisk bli normalfordelt, Hawkes og Webb (1962). Ved plotting på sannsynlighetspapir vil da frekvensfordelingen bli en rett linje. (Egentlig må dette utsagnet modereres betraktelig på grunn av lokale faktorer som drenering, løsmassetykkelse, klima, grad av forvitring, bergarter, o.l.). Finnes det geokjemiske kontraster i grunnen og denne gjenspeiles i løsmassene vil frekvensfordelingen få form som en omvendt S. Forutsetter en at det er en liten metallrik del vil ombøyningen ligge langt over medianen. Fra tabell 5.2 er det kjent at store kjemiske kontraster finnes i berg-



Figur 5.2a: Frekvensfordeling for Zn-innhold i moreneprøver (—) og bekkesediment (---).



Figur 5.2b: Frekvensfordeling for Cu-innhold i moreneprøver (—) og bekkesediment (---).



Figur 5.2c: Frekvensfordeling for Ni-innhold i moreneprøver (—) og bekkesediment (---).

grunnen i Grimsdalen, særlig for Zn. Frekvensfordelingen for Zn er da også tydelig bimodal mens Cu-og Ni-fordelingene er mer rettlinjet. Dette er helt i tråd med hva en burde vente.

Etter denne diskusjonen er det på sin plass å kommentere de enkelte profiler. 1500V og 1600V: På begge profilene har kissonen gitt kraftige anomalier, 300N - 400 N, særlig for Zn. Ras og grunnvannstrøm har forårsaket transporten av anomalien 40 - 70 meter nedover fra malmens utgående. Cu-anomalien ved 1500V/135N ligger på innmark nær gjerde og vei så den skyldes menneskelig virksomhet. Zn-anomalien ved 1500v/600N skyldes uten tvil svartskiferen, det samme område ligger også høyt på Zn på 1600V av samme grunn. Nordligst på 1600V er endel prøver ganske høye på Cu, faktisk høyere enn Cu-verdiene nedenfor kissonen. Zn-verdiene er imidlertid så lave at konsentrasjonene må skyldes svartskifer. På 1500V viser det tilsvarende område forøvrig ingen verdier av interesse. De markerte selvpotensialene og VLF-målingene peker også i retning av svartskifer.

På det geologiske kart er det avmerket jernhatter i dette området. Disse er nok ikke jernhatter i ordets egentlige forstand, men skyldes skyldes sterkt forvitret magnetkiskholdig svartskifer.

2900V og 4000V: Syd for 600N har disse profilene meget tykke løsmasser og moreneprøveanomalier over kissonen får en naturlig ikke her. Metallinnholdet ligger ganske høyt i endel prøver her, men det må skyldes langtransportert materiale og menneskelig virksomhet. Ved 2900V/850-935N er det derimot to anomale prøver. Prøven ved 870N er tatt rett over utgående til en meget god leder som sannsynligvis er en svartskifer; både VLF- og SP-målingene indikerer det. Cu-anomalien ved 910N virker litt mer interessant da VLF-kurven her indikerer en "middels" leder. Zn-verdiene er imidlertid så lave at alle disse tre nordligste anomaliene må skyldes svartskifer. Geologien her er også ensartet uten noen keratofyr, det støtter også svartskifer interpretasjonen.

2600X og 2700X: Cu-anomalien ved 2600X/240Y og Zn-anomalien ved 2700X/325Y er interessante. Keratofyren her er mikroskopert og den har svak kisimpregnasjon, (bilag 13, slip nr. 9292), anomalien kan skyldes denne. De geologiske forhold er analoge de en kjenner fra lenger vest i feltet hvor malmen forekommer. De geofysiske anomaliene er også av en slik karakter at de bør ha en annen årsak enn den svake impregnasjonen i keratofyren, de er heller ikke typiske for svartskifer. Mulighetene for sulfidanrikning skulle således være tilstede her. To Cu-anomalier finnes ved 2700X/500Y, i søkket her går det flere små bekker og løsmassene kan være tildels tykke. Anomaliene må skyldes langtransportert materiale. Ved ca. 2600X/1000Y er det to Zn-anomalier i samme område som VLF-målingene har angitt en leder, (også på 2700X). I området her er det funnet en svovelkis-impregnert grønnskifer, (beskrevet tidligere, modalanalyse bilag 14); Anomalien skyldes nok denne. De geologiske forholdene her ikke kjent her, men dersom det fantes noen keratofyr burde den ha vært blottet. De geofysiske målingene peker ikke typisk

i retning av svartskifer, anomalien er derfor av interesse. I området rundt 2600X/900Y er det avmerket flere jernhatter på det geologiske kartet, moreneprøvene her har imidlertid ingen anomale metallinnhold så "jernhattene" må være resultat av dypforvitret svartskifer.

3900X og 4000X: Ikke en eneste geokjemisk anomali finnes på disse profilene, det skulle således være unødvendig å knytte noen kommentar til dem.

På profilene 2200V, 2300V, 3200X og 3300X er det et litt mer fyldestgjørende materiale å arbeide ut ifra. I tabell 5.3 er metallforholdene Ni/Cu og Ni/Zn beregnet, tallene representerer middelgehalten i de tre prøvene over hver anomali; middelverdiene er næmnt å skulle utjevne endel lokale variasjoner. Igjen oppstår problemet med at Ni-analysene ikke er eksakte, men en må likevel ha lov til bruke trenden i tabellen.

Fra boringene kjenner en to anomaliårsaker, malmen på 2200V/305N + 355N og 2300V/355N, dessuten svartskiferen på 2200V/510N og 2300V/485N. Gjennomsnittstall for metallforholdene over disse anomaliene er vist i tabell 5.4. Ved vurdering av tabellen må en ta det lave prøveantallet i betraktning og at forholdene over en malm eller en svartskifer kan være helt annerledes andre steder i feltet. Tallene gir likevel klare indikasjoner om at vesentlige forskjeller må finnes i løsmassene over henholdsvis kis og svartskifer.

Etter denne diskusjonen er det fristende å forsøke å sette noen krav til metallinnholdet i moreneprøver før dette betraktes som anomalt. Med forbehold for det lave prøveantallet og lokale variasjoner kan kravene kort summeres: 1.) Gjennomsnittsinholdet av Zn og Cu i de tre prøvene over anomalien må ligge over anomaligrensen, (eller likke opptil for Cu's vedkommende). 2.) Forholdene Ni/Cu må være av størrelsesorden ca. 0,1 og Ni/Zn ca. 0,05 - 0,1, Forhold typisk for

Koordinat:	Ni/Cu	Ni/Zn
2200 V - 305 N:	--o,165 --	-- o,034 --
355 N:	---o,168 --	-- o,126 --
510 N:	1,600	1,066
780 N:	0,880	7,333
840 N:	0,718	1,385
870 N:	0,291	1,488
990 N:	0,740	2,690
2300 V - 355 N:	-- o,135 --	---o,038 ---
485 N:	0,554	0,488
580 N:	1,108	1,309
760 N:	0,544	0,806
840 N:	0,504	0,541
985 N:	1,380	3,066
3200 X - 500 Y:	1,275	1,073
630 Y:	1,762	0,956
690 Y:	1,685	0,956
790 Y:	0,805	0,725
1095 Y:	1,133	2,781
1200 Y:	0,690	0,587
3300 X - 695 Y:	1,200	1,120
755 Y:	0,500	0,623
835 Y:	1,700	0,805
930 Y:	0,45	0,390
1035 Y:	1,107	2,522
1150 Y:.	2,157	2,157
Tabell 5.3: Forholdstall for Ni/Cu og Ni/Zn i moreneprøver, tallene representerer gjennomsnitt av tre prøver i anomaliens umiddelbare nærhet, (--- o,1 --- angir prøver over kis).		

svartskifer skulle etter tilsvarende resonnement bli: Høyt til anomalt metallinnhold i prøvene og forholdstall av størrelses-

orden ca. 1 eller mye større.

Legges ovennevnte krav til grunn for vurdering av resultatene på profilene 2200V, 2300V, 3200X og 3300X vil alle anomaliene uten de en vet skyldes kis være forårsaket av svartskifer. Det stemmer også bra med det inntrykk en får ved feltbefaring nördligst på 2200V og 2300V, løsmassen her er vesentlig sammensatt av svartskifer-rester av varierende størrelse.

	Ni/Cu	Ni/Zn	
Malm	0,156	0,066	(gj.sn. 9 prøver)
Svartskifer	1,110	0,777	(gj.sn. 6 prøver)
Tabell 5.4: Gjennomsnittstall for metallforhold i moreneprøver over anomalier med kjent årsak.			

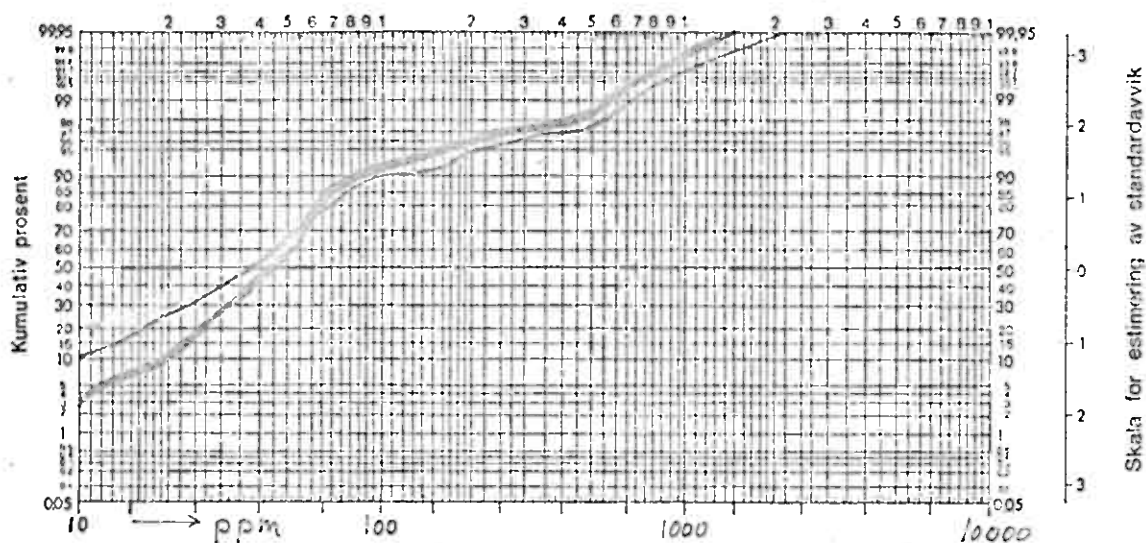
5.4: Valg av analysemetode.

I prospekteringskampanjen er det viktige å ha gode og hensiktsmessige metoder å behandle innsamlet materiale med. Etter hvert som røntgenanalysene på moreneprøvene ble utført begynte kandidaten å tvile nøyaktigheten til disse. Litteraturstudier brakte på det rene at røntgen har generellt dårlig rykte på seg, særlig går dette fram av IIM (1970). Prøvene fra profilene 2200V, 2300V, 3200X og 3300X, tilsammen 177 stk., ble derfor tatt ut til analyse for Zn og Cu med atomabsorpsjon. Analysene ble utført av Laborant Ivar Rømme, Geologisk Institutt NTH. Prevepreparering: 1 gram prøve ble løst i 5 ml. HNO_3 1:1 og fortynnet til 20 ml. Analysene ble utført med et Perkin-Elmer AAS 503- instrument.

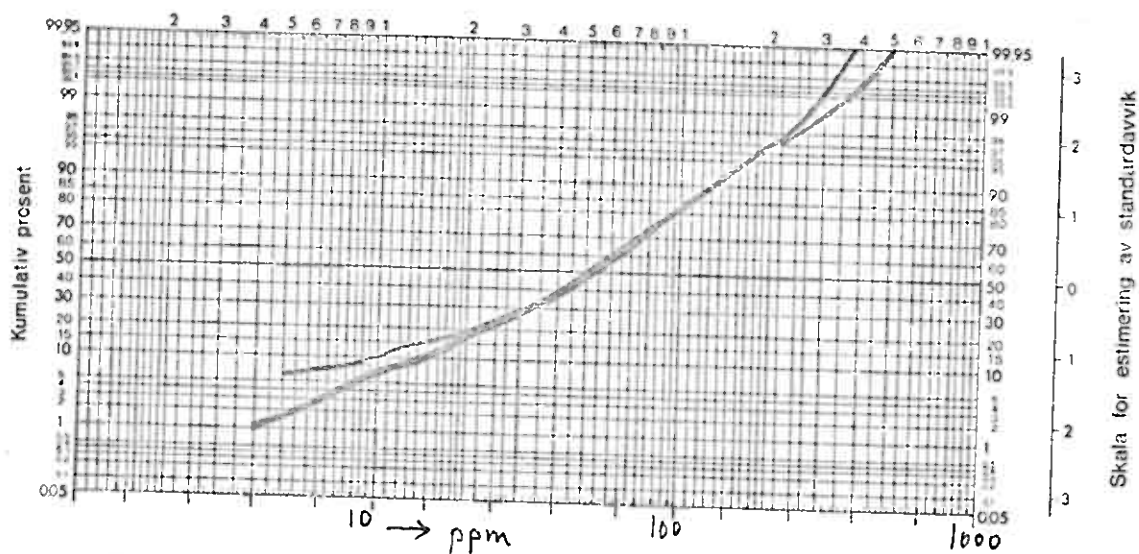
Overraskende nok gir de to analysemetodene meget god overenstemmelse, spesielt når en betrakter frekvensfordelingene i figur 5.3 a og b. Bortsett fra små uoverenstemmelser i topp og bunn er de så å si identiske. En skal ikke underslå at det enkeltprøver var store relative feil, 100 - 300 %, spesielt ved lave konsentrasjoner. r.eks. har AAS ikke gitt en eneste "blank" prøve mens røntgen har gitt flere null-analyser. Disse forskjellene går forøvrig best fram av histogrammene i bilagsmappens appendix.

Generellt har røntgen gitt for høye verdier ved lave konsentrasjoner av både Cu og Zn. Ved høye konsentrasjoner gir røntgen større verdier for Zn og mindre for Cu i forhold til AAS. Forskjellen på de to analysemetodene synes derfor til en viss grad å være systematisk med unntak for enkeltprøver hvor den relative feil kan bli stor. Denne systematiske feil kan skyldes forskjellige matrix-effekter, måten metallet forekommer på i løsmassen, ikke homogent prøvemateriale, o.l.

Taes den for røntgen enklere og raskere prevepreparering i betraktning synes den å fylle kravene til god "prospekteringsanalysemetode" like godt som AAS i dette tilfelle. Forarbeidet på



Figur 5.3 a: Frekvensfordeling for Zn i moreneprover etter analyse med røntgen (—) og AAS (---).



Figur 5.3 b: Frekvensfordeling for Cu i moreneprover etter analyse med røntgen (—) og AAS (---).

prøvene til AAS er mer tidkrevende^{enn for} røntgen mens selve analyse-trianet nok er raskest på et moderne AAS-instrument. Det synes dessuten som^{at} røntgen gir korrekte innbyrdes forhold mellom prøvene og det er av størst interesse i prospekteringen, nøyaktig å vite hvor mye den fattigste eller rikeste prøve inneholder av forskjellige elementer er i grunn uten interesse.

5.5: Konklusjon.

Morenepreveundersøkelsen ga mange interessante opplysninger selv om analysegrunnlaget var spedt. For det første tyder alle ting på Zn er det beste indikatorelement for kis. Malmanalyser, tabell 5.1, indikerer et visst blyinnhold i malmen, dette elementet er svært lite dispersert i bekkesedimentene, men må likevel ventes å finnes i større mengder i morene-prøvene, (Hawkes og Webb 1962); Ved en videre undersøkelse bør derfor dette element tas med i analyseprogrammet. Ni-undersøkelsen bygger på et for spedt grunnlag til å være almenyldig, men det mange interessante sider ved metallet som gjør at det bør følges opp ved en videre undersøkelse. En må imidlertid ta i betraktning at mange store og små ultrabasiske legemer finnes i området og at disse vil kunne forstyrre vesentlig. At de har virket inn på bekkesedimentene er ganske sannsynlig ut ifra de høye Ni-verdier som er funnet i dem, (max. 368 ppm, se appendix i bilagsmappe).

Det er tydelig at både kis og svartskifer gir geokjemisk anomali for elementene Cu og Zn, det virker likevel som om andre elementer er brukbare som sporelementer for de to. Trekkes for eksempel Ni, V, (Cr) og Pb med i analyseprogrammet vil en på et temmelig sikkert grunnlag kunne vurdere anomaliårsakenes sammensetning. Disse elementene vil imidlertid kreve nøyaktig analysemetoder og AAS vil da være det naturlige alternativ til røntgen. Denne analysemetoden vil også prismessig komme mer fordelaktig ut når antall elementer blir større.

6. Forslag til videre arbeid i feltet.

Ved prospektering i overdekket terreng er det viktig at metodene er billige, raske og pålitelige. Å påvise anomaliårsaken iform av blottning, i røsk, som kjerneprøve eller som snitt i stoll eller synk vil uten tvil være det sikreste, men disse direkte metodene er samtidig også de dyreste. De indirekte metodene, geofysikk, geokjemi og delvis geologi, har mye større usikkerhetsfaktor, men prisen er vesentlig redusert og de gir likevel så sikre opplysninger at de alltid bør gjennomføres i et visst omfang før direkte arbeider igangsettes.

For, i Grimsdalen, å påvise mer malm enn den kjente vil det prinsipielt være to veier å gå: a) å forsøke å følge opp den kjente malm på dypet og i strøkretningen for om mulig å finne en fortsettelse utover turam-indikasjonen. CP-målinger vil være utmerket til dette siste mens boringer og strukturgeologiske studier vil være to muligheter på det første. b) å påvise at noen av de andre turamindikasjonene skyldes sulfidmalm.

I et område så rikt på svartskifer som Grimsdalen bør alle anomalier betraktes som svartskifer inntil det motsatte er påvist. Det betyr at sannsynligheten for at en turamindikasjon skyldes sulfidmalm er meget liten; kostnadene ved grunnlagsprospekteringen må derfor holdes så lavt som mulig til en med noenlunde sikkerhet har skilt "klienten fra hveten".

I oppgaven er det forsøkt skissert et opplegg for grunnlagsprospektering i Grimsdalen, generelt vil det samme opplegg være brukbart også i andre felt; Det er spesielt geokjemien og analyseprogrammet som vil kreve forandringer ved bruk andre steder. Kort kan det da summeres hva som er mest aktuelt å gjøre i feltet:

- 1) CP-målinger på den kjente malm.
- 2) Undersøkelse av årsaken til turam- og VLF-anomalien ved 2600X/172Y .
- 3) Undersøkelse av årsaken til VLF-anomalien ved 2600X/960Y-2700X/1015Y.
- 4) Geokjemiske undersøkelser over de resterende turamindikasjoner etter et mønster som er skissert i oppgaven, det videre arbeid bør styres av disse.

7. Sammendrag.

Turam-EM-anomaliene i Grimsdalen skyldes en sterkt magnetkis-impregnerert svartskifer eller en massiv sulfidmalm. Svartskiferen har et lite innhold av tungmetaller, særlig Cu, Zn og Ni, som på grunn av dens lave forvittringsbestandighet forårsaker geokjemiske anomalier i løsmassene som er meget like de forårsaket av sulfidmalmen. Den massive sulfidmalm er av svovelkisrik type og har betydelige mengder Zn, men også endel Cu og litt Pb.

Både svartskiferen og sulfidmalmen produserer betydelige selv-potensial og begge lar seg med letthet registrere elektromagnetisk. Et hensiktsmessig analyseprogram på moreneprøver tatt i den elektromagnetiske anomaliens umiddelbare nærhet vil sannsynligvis avsløre hva årsaken er. Spesielt synes forholdet Ni/Zn å være av interesse.

Litteraturliste.

Bertelsen, A. 1973:

Lærebog for den lille tektoniker.
 Varv Forlag, København 1973.

Borowitz & Beiser 1967:

Essentials of physics, a textbook for students of
 science and engineering.
 Addison-Wesley Publishing Company 1967.

x/

Fraser 1969:

Contouring of VLF-EM data.
 Geophysics, vol. 34 pp. 958-967, 1969.

xy/

xxx/

Hawkes & Webb 1962:

Geochemistry in mineral exploration.
 Harper & Row 1962.

Holtedahl 1960:

Geology of Norway.
 NGU nr. 208, 1960.

IMM 1970:

Applied earth science: "An interlaboratory survey
 of the accuracy of ore analysis.
 Institution of Mining and Metallurgy, vol. 79,
 pp. 213-237, 1970.

IMM 1973:

Prospecting in areas of glaciated terrain. (Skrifter
 presentert på Malmgeologisk Symposium i Trondheim
 21. - 22. august 1973).
 Institution of Mining and Metallurgy, publication, 1973.

Kvalheim 1967:

Geochemical Prospecting in rennoscandia.
John Wiley & Son, 1967.

Keller & Frischnecht 1966:

Electrical methods i Geophysical Prospecting.
Pergamon Press.

Marlow 1935:

Folldal, beskrivelse til geologiske rektangelkart.
NGU nr. 145, 1935.

Marmo 1953:

Shungite - a precambrian carbon.
Geologiska r reningens F rhandlingar, bd. 75,
pp. 89 - 96, 1953.

Marmo 1960:

On the sulphide and sulphide-graphite shists of
Finland.
Bulletin de la Commision G ologique de Finland,
nr. 192 1960.

Page, 1963:

The sulphide Deposit at Nordre Gjetryg en Gruve,
Folldal, Norway.
NGU nr. 223, pp. 217 - 270, 1963.

Parasnis 1966:

Mining Geophysics.
Elsivier Publishing Company, Amsterdam 1966.

Parasnis 1972:

Principles of Applied Geophysics.
Chapman & Hall, 1972.

Patersson & Ronka 1971:

Five years of surveying with the very lowfrequency-electro-magnetic method.

Geoexploration, vol. 9, pp. 7 - 26, 1971.

Peltola 1961:

On the blackshists in the Outokumpu region in eastern Finland.

Bulletin de la Commission Géologique de Finland, nr. 192, 1960.

Sato & Mooney 1960:

The Electrochemical Mechanism of Sulphide self-potentials.

Geophysics, vol. 25, pp 226 - 249, 1960.

Stokke 1968:

Det store eksamensarbeid i malmgeologi.

Upublisert avhandling ved Geologisk Institutt NTH.

Strand 1951:

The Sel and Vågå map areas.

NGU nr. 173, 1951.

Vokes 1962:

Mineral Paragenesis of Sulphide Ore Bodies.

Economic Geology, vol 57, pp. 890 - 903, 1962.

Wolff 1967:

Studies in the Trondheim Region, Central Norwegian Caledonides II.

NGU nr. 245, 1967.

1) Bölviken 1973:

Statistisk beskrivelse av geokjemiske data.

NGU 285, 1973.

xy) Fox 1830:

On the electromagnetic properties of metalliferous veins in the mines of Cornwall.

Phil. Trans. Royal Soc. London, p.399, 1830.

xxx) Fortescue 1965:

Exploration Architecture.

Geological Survey of Canada, Paper 65-6. pp 4 - 14. 1965.