



Bergvesenet

Postboks 3021, N-7441 Trondheim

Rapportarkivet

Bergvesenet rapport nr	Intern Journal nr	Internt arkiv nr	Rapport lokalisering	Gradering
6893				

Kommer fra ..arkiv	Ekstern rapport nr	Oversendt fra	Fortrolig pga	Fortrolig fra dato:
Grong Gruber AS		Grong Gruber a.s.		

Tittel

Rapport fra feltarbeider, petrografiske undersøkelser og geofysiske prøvemålinger over nefelinsyenittområdet i vestfold 1967

Forfatter

Nielsen, Niels-August

Dato

År

10.01 1968

Bedrift (Oppdragsgiver og/eller oppdragstaker)

Norsk Hydro A/S

Kommune

Lardal
Andebu
Ramnes

Fylke

Vestfold

Bergdistrikt

1: 50 000 kartblad

1713 1 1713 4

1: 250 000 kartblad

Fagområde

Geologi

Dokument type

Forekomster (forekomst, gruvefelt, undersøkelsesfelt)

Kodalforekomsten

Råstoffgruppe

Industrimineral

Råstofftype

Nefelinsyenitt

Sammendrag, innholdsfortegnelse eller innholdsbeskrivelse

Det er kartlagt fordelingen av høytemperaturmineraler i massivet og apatitt er kartlagt for enkelhets skyld med 1-2 prøver pr. km². det er et betydelig underskudd på P i den nordre del av feltet.

Forkomsten sammenlignes med Chibinemassivet på Kola.

Bet er anslått at det i massivet finnes 2,4 milliarder tonn fosformateriale.

Det foreslås gravimetriske målinger og gjennomgang av de flymagnetiske målinger.

Rapport

fra feltarbeider, petrografiske undersøkelser og geolysiske

prøvemølinger over mofeliasyrenittområdet i Vestfold 1967.

INNHOLD: FORTSETTELSE.

1.	Introduksjon	1
2.	Orientering om tidligere arbeider	2
3.	Sammenheng av undersøkelsene 1967	3
3.1	Bekreftelse av Vogts differensiasjonsteori Jæmføring med Chibinemassivet på Kola	3
3.2	Befaring grensepartier og gangbergarter	5
3.3	Utpøving av geofysiske instrumenter	5
4.	Feltarbeider, analyser, slutninger	8
4.1	Kartlegging av nefelinsyenittens P-gehalt	8
4.2	Konsentrisk belte av augitt - olivin nefelinsyenitt	9
4.3	Befaring av nefelinsyenittens grenser	10
4.4	Prøvetagning av apatittholdige gangberg- arter	10
5.	Jæmføring med Kola-syenitten	11
5.1	Chibinititt - lardalititt	11
5.2	Foyaittene	12
5.3	Augitt-olivin nefelinsyenitt - øgirin nefelinsyenitt og nefelinsyenitter med poikilitisk struktur	13
6.	Differensiasjon i Vestfoldmassivet	15
6.1	Konklusjon	18
7.	Forsøk med geofysiske instrumenter	19
7.1	Seismiske måleforsøk	19
7.2	Gravimetrisk måleforsøk	20
7.3	Interpretasjon av flymagnetiske målinger	21
7.4	Tilråding for 1968, kostnadsramme	22
	Litteraturhenvisninger	23

TEGNINGER, SKISSE og BILAG.

- H - 1 Orienteringskart.
- H - 2 P-gehalt i nefelinsyenittmassivet.
- H - 3 Profil - P-gehalt.
- H - 4 Magnetfelt over området.
- H - 5 Kart over Kolasyenitten.
- H - 6 Profil Kolasyenitt - Vestfoldsyenitt.
- H - 7 Forslag til orienterende gravimetrisk undersøkelse.

Bilag I Rapport fra professor Oftedahl 19.12.1967.

- " II " " seismiske prøvemålinger.
- " III " " gravimetermålinger.
- " IIIa Regneeksempler, gravimetri.

1. Introduksjon.

Norsk Hydro har i en årrekke for produksjon av N.P.K.gjødning importert råfosfat fra Kola-halvøya, U.S.S.R. hvor fosfaten opptrer i tilknytning til et betydelig nefelinsyenitt-massiv.

Et liknende, mindre nefelinsyenittfelt har vi også i Oslo-feltet nord for Larvik mellom One i syd og Skjersjøen i nord og begrenset av Lågen i øst og Farris i vest. Arealet er ca 62 km². (Se tegning H-1.)

./.

I og i nærheten av dette felt opptrer forekomster med fosfat-anriket malm s.k. jacupirangitt med et kjent malmareal på ca 35-40 000 m². Avdøde geolog og professor J.H.L. Vogt hevdet at det før størkningen av nefelinsyenitten ved gravitativ differensiasjon må ha blitt fjernet et anseelig kvantum av høgetemperaturmineralene magnetitt, ilmenitt og apatitt.

Dette kvantum kan være av en annen sammensetning enn det som hittil er lokalisert og undersøkt og iallfall av en annen størrelsesorden om høgetemperaturmineralene mer eller mindre er fjernet i hele, eller store deler av massivet.

Om man med en viss rett kan tenke seg dette massiv som en digel hvor det har funnet sted en bunnfelling av de først utkrystalliserte mineraler, er spørsmålet om vi med dagens teknikk kan få bragt på det rene om dette materiale er tilstrekkelig konsentrert til økonomisk drift, og i såfall om et stort nok kvantum ligger innenfor rekkevidde for grubedrift - d.v.s. over ca 1500 m dyp.

Ut fra dette resonnement ble det funnet motivert innenfor en rimelig kostnadsramme i 1967 å:

1. Søke å få en bekreftelse på Vogts teori dels også på basis av en mineralogisk undersøkelse av bergartene i området.
2. Undersøke grensepartiene av nefelinsyenitten og gangsoner som kunne tenkes å inneholde fosforanriket materiale.
3. Utprøve geofysiske metoder for lokalisering av forekomster av denne art.

Forutsetningen har da vært, på grunnlag av resultatene og erfaringene fra inneværende år å vurdere om man bør fortsette undersøkelsene i 1968.

2. Orientering om tidligere arbeider.

Litterat kodalforekomsten med apatitt, magnetitt og ilmenitt var lokalisert i 1959 ble det i årene 1960-63 parallelt med opphoring av denne forekomsten, gjennomført en flymagnetisk kartlegging av området (ca 5000 km²) i 1961 med påfølgende befarings av de fly-anomalier man fikk. Det dreiet seg om 80-100 flymagnetiske anomalier. Befaringen ble foretatt av studenter fra N.T.H. under ledelse av en ingeniør, og anomaliene ble oppmålt på bakken med N.G.U. magnetometre.

Bergartene i anomaliområdene ble prøvetatt for susceptibilitetsmåling og kjemiske analyser. Dessuten ble de felt hvor det tidligere hadde vært anmeldelser og mutinger på erts befart.

Generelt ble anomaliene forklart av:

- A. Høydedrag med korresponderende lav flyhøyde under registrering.
- B. Bergartsgrenser med anrikning av ferromagnetisk materiale.
- C. Magnetitt-anrikede soner i syenitt.
- D. Basalter og porfyritter med høyt magnetittinnhold.
- E. Magnetisk jernmalm.

Av den siste typen kunne man registrere noen få bortsett fra kodalforekomsten, men ingen av denne størrelsesorden.

Tiltross for at her er nedlagt et betydelig arbeide, må det bemerkes at befaringsene skjedde uten en forutgående tyding av anomalibilledet. Det fantes på dette tidspunkt, ihvertfall ikke i Skandinavia, geofysikere som kunne påta seg en slik interpretasjon.

3. Sammendrag av resultater fra undersøkelsene i 1967.

3.1 Bekreftelse av Vogts differensiasjonsteori.

Jamføring med Chibinemassivet på Kola.

For å få brakt på det rene om og hvor differensiasjonene kunne ha skjedd i nefelinsyenittmassivet, ble man enige om å kartlegge innholdet av høgetemperaturmineral i massivet.

Av høgetemperaturmineralene er apatittinnholdet det enkleste å bestemme idet både titan og jern kan inngå i flere mineral-kombinasjoner i bergartene.

En systematisk prøvetagning med 1-2 P-analyser pr. km² av bergartene i nefelinsyenitten over hele nefelinsyenittfeltet viste en gjennomsnittsgehalt på 0,45 P eller ca 2,5% apatittmineral, men med variasjoner fra 0,02-0,92P.

Etter å ha plottet analysene inn på kart vil det fremgå at man har betydelig P-underskudd i den nordlige delen av feltet - med et gjennomsnitt på 0,16P over ca 24 km². Tegning nr. H-2.

Man har grunn til å anta at en sterk differensiasjon har funnet sted i dette lokalfelt.

Det er meget bemerkelsesverdig at foyaitt - en lys, tildels grovkornet nefelinsyenitt er den dominerende bergart i dette området. Foyaitten opptrer også i det sentrale parti i Chibinemassivet. Tegning nr. H-3.

I dette massiv opptrer fosfaten i sitt utgående parallelt med og konkordant til foyaittens grense over en strekning på 11 km, men med et mellomliggende parti av en finkornet mørk nefelinsyenitt.

Fallet på fosfatleiet er i utgående 30-40° (Se tegn. H-6).

Det er meget som taler for at foyaitten på Kola er modernmagma for fosfatleiene, og selv om P-gehalten i foyaitten her ikke er bestemt systematisk, har man enkeltanalyser på ca 0,1P hvilket også er vesentlig lavere enn i den udifferensierte chibinitten.

Tegning nr. H-6 viser skjematisk profiler fra Kola- og Vestfoldmassivet.

Med utgangspunkt i gravitativ differensiasjon kan opprinnelig dagflate ha ligget ca 3 km over nåværende i det halvarktiske strek på Kola for å gi den tykkelse man har på fosfatleiet.

Med samme utgangspunkt kan det fra foyaitten i Vestfold ned til 2 km og over 24 km² være fjernet i størrelsesorden:

$2.4 \cdot 10^9$ tonn fosfatmateriale.

Kodalforekomsten og øvrige kjente forekomster kan inneholde opptil 1-2% av dette.

På basis av Brøggers bergartsanalyser samt våre kompletterende analyser av fosfor i henholdsvis den uddifferensierte lardalitt og den differensierte foyaitt er beregnet at forholdet mellom fjernet mengde T_1O_2 og $FeO_3/4$ omtrent tilsvarende mengdeforholdene i kodalmalmen, men at også denne viser et fosforunderskudd idet beregnet mengde er 23% apatitt, mens virkelig innhold er ca 18%.

Det uddifferensierte materiale er sannsynligvis tildels sunket meget dypt, da egenvekten kan ha vært opptil 50% større enn hos feltspatminerlene - så dypt at vi ikke kan nå det.

Men det antas også rimelig at endel kan ha avsatt seg på mindre dyp slik at det kan oppspores med geofysiske hjelpemidler og finnes innen rekkevidde for praktisk - økonomisk grubedrift.

3.2 Grensepartier og gangbergarter.

Under befaringsene av grensepartier og gangbergarter ble prøvetatt en gangbergart ca 600 m nord for nefelinsyenitt-grensen v. Kommedal nær Farris. (Se tegning H-1).

Denne gangen kan registreres over 400-600 m med en mektighet på ca 1,00 m, ligger i nordmarkitt og viste seg ved analysene å ha samme P- og Fe-innhold som Kodalmalmen - altså en mindre jacupirangittgang.

En annen jacupirangittgang inne i nefelinsyenitten nær foyaitt-grensen har et areal på ca 4000 m² og holder ca 2,6% P.

Det karakteristiske for denne gang er at magnetitt-ilmenitt-innholdet er forholdsvis lavere (jmført med P-innhold) enn i Kodaltypen.

3.3 Vurdering av geofysiske instrumenter for oppsporing av fosforholdig materiale.

Som kjent ble det i 1961 gjennomført en flykartlegging av magnetiske anomalier over ca 5000km² ved N.G.U., Trondheim. Befaringen på bakken av disse ga ingen avgjorte positive resultater. Det bemerkes at denne ble foretatt uten forutgående interpretasjon.

N.G.U. tok samtidig for egen regning opp et kart over radiometriske anomalier. Det er neppe noen sammenheng mellom disse og eventuelle fosfatarrikninger.

Måleforsøk med seismikk.

I sommer ble det gjennomført et prøveprogram med seismiske måleforsøk i området i samarbeid med Jordskjelvsobservatoriet i Bergen og firmaet Kjølseth, Oslo. Rapporten fra disse forsøk er vedlagt i bilag II. Heller ikke disse forsøk ga noe avgjort positivt resultat. Man fikk med horisontalseismometer endel svake indikasjoner over malmfeltet i Kodal og over et område like nord for dette. Disse kan muligens indikere en forekomst på 100-200 m dyp nord for Kodalforekomsten.

Over nefelinsyenittområdet ble gjennomført målinger på 5 punkter uten respons.

Her må bemerkes at man opererte med forholdsvis små ladninger som neppe gir respons på flater under 600 m, og at flater med fall over 40° og lag med tykkelser under 20 m neppe kunne registreres.

Man konkluderer med at apatitt-nefelinsyenittforekomster neppe kan registreres ifall jern- titaninnholdet er underordnet.

Etter min oppfatning er det derfor best å vente med seismiske målinger i større skala til det foreligger sikrere resultater fra andre metoder.

Prøver med gravimetri.

Det ble i samarbeid med stipendiat Ivar Ramberg også gjennomført prøver med gravimetriske målinger over oppborede profil av Kodalforekomsten, og rapporten fra disse forsøk er vedlagt i bilag III.

Med den tetthetsdifferanse og det masseoverskudd et utdifferensiert malmlegeme kan tenkes å ha, vil man, om det har en tilstrekkelig størrelse, kunne få anomalier på dyp inntil 1-2 km (d.v.s. max. dyp for grubedrift). Dette vil fremgå av bilag IV hvor Ramberg har oppstilt endel regneeksempler.

Da den utdifferensierte del av nefelinsyenittfeltet i Vestfold har et større innhold av magnetitt-ilmenitt enn chibiniten i Chibinemassivet, må vi også forvente at dette gjelder eventuelle fosfatforekomster som kan registreres. Med dette utgangspunkt finner jeg det riktig å foreslå følgende:

1. Etter vinteren 1968 anbefales gjennomført en interpretasjon av det magnetiske bildet over og omkring nefelinsyenitten ved dosent Parasnis ved Uppsala Universitet (sjef konsulent geofysikk ved Boliden A/B).

I denne sammenheng vises til fig. H-4 hvor man i den sørlige delen av foyaittområdet har en gjennomgående bred magnet-anomali som muligens kan indikere en betydelig bunnfelling av magnetisk materiale.

2. Når resultatet av dette arbeidet foreligger, foreta orienterende gravitativ oppmåling over nefelinsyenitten og tilstøtende områder - begrenset oppad til ca 60 profilkm.

Med dette opplegg bør man ha en rimelig sjanse til innenfor en begrenset kostnaderamme og med den teknikk man i dag rå-
over, å få et mere håndfast svar på om boringer kan tilrådes i bestemte lokalfelt av området - eller ikke. Fig. 7 viser et foreløpig opplegg for gravimetermålinger.

./.

4. Feltarbeider, analyser, slutninger.

4.1 Kartlegging av nefelinsyenittens P-gehalt. Fig. nr. H-2.

Da motiveringen for undersøkelsene var basert på at en differensiasjon skulle ha funnet sted fra modermassivet, ble en stor del av tiden i sommer brukt til prøvetagning i nefelinsyenitten med sikte på eventuell bekreftelse av Vogts differensiasjonsteori. Det ble valgt å ta minst en bergartsprøve pr. km² over hele arealet, og i første omgang ta P-analyse på denne. Prøvene ble tatt innen det km-rutenett man har på de ordinære rektangelkart i 1: 50 000. I praksis ble alltid tatt 2 prøver på samme sted. Prøve nr. 2 ble sendt N.G.U. for mineralundersøkelse. Videre ble tatt 5 storprøver av hovedtypene for mineralseparasjon ved N.G.U. og mineralanalyse ved professor Oftedahl ved N.T.H.

./.

P-analysene er plottet inn på kart 1 : 50 000 og nivåkurver for P-gehalt er opptrukket på tegn. nr. H-2.

Resultatet er ganske bemerkelsesverdig. Det vil sees at man i syd langs grensen av syenitten har en P-gehalt jevnt på 0,3-0,4 P, tilsvarende 1,5 - 2% apatitt. Lenger nord en bred sone hvor innholdet ligger mellom 0,4 og 0,9% P. Den nordligste sonen er P-gehalten jevnt vesentlig lavere - stort sett mellom 0,02 og 0,3% - gjennomsnittlig omkring 0,16% P, eller ca 1/3 av det normale.

Gjennomsnittlig P-gehalt for hele massivet er ca 0,45% over 62km².

I den nordlige delen kan man på basis av kartet anslå gehalten til:

0	-	0,1 P	-	ca 8km ²	(0 - 20% av normalgehalt)
0,1	-	0,2 "	-	" 8 "	
0,2	-	0,4 "	-	" 8 "	

Området dekkes i stor grad av en spesiell type nefelinsyenitt betegnet foyaitt.

Foyaalten er svært lys og inneholder nesten ikke magnetitt og ilmenitt, hvilket også bekreftes av de flymagnetiske målinger som her viser et meget lavt magnetisk nivå uten skarpe anomalier - som forevrig er normalt over larvikitter og porfyrer i Vestfold.

./. Se tegning H-4.

4.2 Konsentrisk belte av augitt - olivin nefelinsyenitt.

På det magnetiske anomalikart har man i den midtre til søndre delen av massivet en gjennomgående bred anomali som indikerer en sterkt magnetittholdig bergart. Tegn. H-4.

./.

Anomalien følger parallelt med nefelinsyenittens grense i sør og ble krysset over flere profil med bergarteprepar.

Prøver av bergarten er sendt professor Oftedahl for undersøkelse og han angir approx. mineralinnholdet til:

Nefelin	15 - 20%
Olivin	6 - 8%
Augitt	6 - 10%
Biotitt	3 - 5%
Apatitt	5 - 6%
Jernerts	6 - 8%.

Denne bergarten er karakteristisk idet den er for finkornet til å betegnes lardalitt og har som sliptellingen viser, et forholdvis stort innhold av mørke høgetemperaturmineraler samt apatitt. Olivin inngår med 6-8%.

Bergartens grensesone ble røft kartlagt og den viser seg å danne et belte parallelt med den sørlige grensen larvikitt - lardalitt fra Loveseter i øst og tvers over hele nefelinsyenitten mot Vedmannsås - Sagbakken i vest. Bredden er ca 1 km og lengden på beltet ca 6 km. På magnet-anomalikartet gir den seg tilkjenne som den innerste av en rekke konsentriske anomalier hvor den ytterste går ut fra Lidangerfjorden i larvikitt.

Denne bergart tilsvarener muligens den finkornede mørke øgrin-nefelinsyenitt i Chibinemassivet.

4.3. Befaring av nefelinsyenittens grenser.

Videre ble grensene mellom nefelinsyenitt og sidebergartene befart på en rekke steder hvor den var tilgjengelig. Dette med tanke på oppsporing av anrikningssoner av P-holdig materiale langs grensene.

Det kunne da fastslås med støtte av professor Oftedahl at grensene mot larvikitten i sør må betegnes som en samtidighetsgrense, d.v.s. at begge bergarter har størket samtidig. Grensen er meget godt markert og vertikal, hvilket også kunne sees ved befaring av vanntunnellen fra Farris til Lågen som krysser grensen.

Nefelinsyenitten grenser også mot en yngre bergart i vest og nord - av Prægger kalt Pulaskitt - Nordmarkitt. Den kan f.eks. sees ved Skjærsejen. Her har grensesonen en annen karakter med en bred overgangssone, tildels med gangbergarter. Grensen er ikke vertikal, men faller utover fra nefelinsyenitten, hvilket også kan sees ved Anundsjeen. Dette kan muligens innebære at den yngre Nordmarkitten i noen grad overlapper nefelinsyenitten.

4.4. Prøvetagning på apatittholdige gangbergarter.

Ca 600 m fra grensen til nefelinsyenitten i nordmarkitt og med strek parallelt med grensen ble lokalisert en mindre jacupirangittgang ca 1 m tykk og med samme P-gehalt som kodalforekomsten. Strøklengden er 300-400 m i dagen. Man har en magnetisk anomali i området som kan tyde på at gangen faller innover mot grensen.

Videre ble en mørk P-holdig gangbergart prøvetatt i Raasåsen inne i nefelinsyenitt ved foyalttgrensen. Den holder ca 2,6% P, har en begrenset strøklengde med bredde på 10-20 m og dekker et areal på ca 4000m² etter den magnetiske anomalien å domme (15% av kodalforekomsten).

Det karakteristiske for denne gangbergarten er at magnetittinnholdet åpenbart er forholdsvis lavere jamført med apatitt enn i ordinær jacupirangitt. Ifølge professor Oftedahl er denne gangbergarten mere å betegne som en nefelinsyenitt anriket av høgtemperaturmineraler - altså mere en analogi til malmen enn Kola-jacupirangitten i Kodal.

5. Jamfering med Kola-syenitten.

Fig.nr. H-5 er et geologisk kart over nefelinsyenittområdet på Kola, hentet fra "Minerals of the Chibine Tundra". Moscow 1937.

Det karakteristiske bildet i dette alkalimassivet er årringstrukturen.

De periferie og sentrale deler består av grovkornet nefelinsyenitt (Chibinitt) og lyse foyaitter.

Mellom disse har man bergarter av ijolitt-urtitt typen (meget nefelinrike) og med fosfatleiene avmerket som mørke band, konkordant årringene over ijolittene.

Mellom fosfatleiene på Kola og foyaitten ligger en finkornet, mørk og irin nefelinsyenitt i et belte på 2-3 km bredde, samt en glimmer hornblende nefelinsyenitt med poikilitisk struktur.

5.1 Chibinitt - lardalitt.

Man antar at størkningen av massivet har skjedd gradvis og suksessivt fra periferien mot sentrum og bergartene i ytre sone, chibinitten skulle således være eldst.

Dette er en grovkornet nefelinsyenitt med pegmatittisk struktur. Den trachytoide chibinitten lenger inne i massivet skiller seg bare fra den ytre ved at man har en parallell orientering av feltspatkrystallene, hvilket viser bevegelser i magmaet under størkningen.

Analoge trekk har man i den sørlige del av nefelinsyenittfeltet i Vestfold hvor Brøgger har gitt bergarten betegnelsen "lardalitt"

Den er grovkornet, pegmatittisk, med parallellorientering av de opptil 5-10 cm store feltspatkrystallene. Bredden av dette beltet i den ytre sonen er i Chibinemassivet 3-12 km i Vestfoldmassivet 2-4 km.

Vi kan peke på 2 ulikheter:

1. Nefelingealten er endel større i Chibinitten ca 30-40%, mens den er 10-20% i lardalitten.
2. Apatitt, jern og titanoksyd er 30-50% større i lardalitten enn i Chibinitten.

Dette gir seg uttrykk i at bergartene strukturemessig er meget like, men lardalitten er vesentlig mørkere.

5.2 Foyaittene. (Se profil fig. nr. H-6.)

I den sentrale del av Chibinemassivet har man et betydelig areal med foyaitt, en lys nefelinøyenitt med lite eller intet innhold av magnetitt - apatitt.

Tilsvarende har man i den nordlige delen av Vestfoldmassivet områder med foyaitt.

Begge bergartene er analysert, førstnevnte av Kupletsky, sistnevnte i Brøgers Die Eruptivgest. des Oslogbietes 1933, s.76.

Tab. 1:

Foyaitt - Chibinetundraen		Foyaitt - Vestfold. Anm.	
<u>16 analyser.</u>		<u>2 analyser.</u>	
SiO ₂	53,87	57,0	Vesent- lig sili- katbunde
TiO ₂	1,50	0,80	
Al ₂ O ₃	20,62	21,80	
Fe ₂ O ₃	3,64	3,03	
FeO			
MgO	0,70	0,63	
CaO	1,68	1,11	
Na ₂ O	9,68	9,30	
K ₂ O	4,48	5,60	
P	Ikke analysert spor.	0,16	

Tar man utgangspunkt i at man i begge felter har hatt en gravitativ differensiasjon av høytemperaturmineralene (jern-titananalysene på foyaittene gjelder vesentlig silikatbundet jern-titan), så er det flere momenter som taler for at denne differensiasjon kan ha vært sterkere i Vestfold enn i Chibine-massivet.

Jern-titaninnholdet i moder magma (udifferensiert lardalitt) har vært høyere i Vestfoldmassivet enn i Chibinititt, mens det i foyaitten er lavere totalinnhold av jern i Vestfold enn tilsvarende på Kola.

Fig.nr. H-5 viser et profil fra Vestfoldmassivet hvor P-gehalten i bergarten er inntegnet som ordinat.

./.

Når man sammenligner de to massivene, kan meget tyde på at Vestfoldmassivet er en sektor av et opprinnelig større massiv som kan være overlagret av senere ^{av}erupsjoner og at man har den opprinnelige rekken representert ^{av} bergartstyper fra de ytre lardalittene til foyaitten i sentrum omkring fjelltoppen Jordstep.

Det flymagnetiske bildet viser en meget markant ringstruktur i larvikitt vest, syd og øst for nefelinsyenittfeltet. Den ytre diameter i dette anomalibildet er ca 20-25 km. En slik struktur kan man sannsynligvis påregne ved en størkning fra periferien og innover. Videre finnes det mindre øyer med nefelinsyenitt øst og nordøst for lågen i larvikitt.

5.3 Augitt - olivin nefelinsyenitt - ægirin nefelinsyenitt og nefelinsyenitter med poikilitisk struktur. Profil Vestfold og Kola-massiv.

Konsentrisk til den ytre ringstrukturen har man innerst i nefelinsyenitten den sterke positive magnetiske anomali som skriver seg fra den mørke finkornede augitt - olivin - nefelinsyenitten nevnt under 4.2. Dette belte kan muligens være et særskilt differensiat analogt med den finkornede ægirinsyenitten på Kola. Videre nordover har vi etter professor Oftedahls sliprappporter en nefelinsyenitt med feltspaten spættet av erts av mørke mineraler - en såkalt poikilitisk struktur. Om man ved en tettere gridning kan få dette bekreftet, har vi i Vestfold påvist 4 analogier til de 6 bergartstypene som man har registrert på Kola, og i samme rekkefølge, nemlig: for profil fra syd mot nord.

A-A-fig.H-2.	B-B-fig.H-5.
1. Lardalitt	Chibinitt
2.	Ijolitt - urtitt
3. (Mulig Råsås- typen?)	Apatitt - nefelin
4. Finkornet augitt-olivin- syenitt ?	Finkornet ogirin -nefelinsyenitt ?
5. Poikilitisk glimmer hornblende nefelin- syenitt ?	Poikilitisk glimmer hornblende nefelinsyenitt
6. Foyaitt og lysere nefelin- syenitt	Foyaitt

Se profil fig. H-6.

6. Differensiasjon i Vestfoldmassivet.

På grunnlag av Brøgger's bergartsanalyser og den kompletterende P-undersøkelse i 1967, kan man ved subtraksjon av gehaltene få et innblikk i mulig sammensetning av et differensiat fra nefelinayenitten.

Tab. 2. Jæmførende analyser lardalitt - foyaitt.

Brøgger: Die Eruptivgest. des Oslo-gebietes. 1933.

	Udifferensiert lardalitt. Gj.sn. 4 analyser	Differensiert foyaitt. Gj.sn. 2 analyser.	Anm.
SiO ₂	54,16	57	
TiO ₂	1,32	0,80	- 0,52 I
Al ₂ O ₃	19,91	21,80	
Fe ₂ O ₃	2,78	2,62	
FeO	2,77	1,14	- 2,52 II
MgO	1,7	0,63	
CaO	2,95	1,11	- 1,84
Na ₂ O	8,25	9,30	
K ₂ O	4,96	5,60	
P	0,45	0,16	Brøgger: Lardalitt 0,30 Foyaitt: spor 1967: - 0,29P ≈ 1,57% apatitt.
	Gj.sn. 21 ana- lyser 1967.	Gj.sn. 18 ana- lyser 1967	

Om man påregner en 35% tilblanding av silikatmineraler som binder ca 1% TiO₂, og 3% av totaljernet i en malm som kodaltypen, ville den fjernede mengden - rent skjematisk gi

0,56% TiO₂

2,56% Fe₃O₄

1,57% apatitt

4,61% = 65% av mineralmengden i en malm analog kodalt.

Man ville få en erts med

7,35%	TiO ₂	(Kodal 8% når 1% bundet silikater)
35,5 %	magnetitt	" 39% " 3% " "
22 %	apatitt	" 17,5% " "

Det vil av dette fremgå at titan - magnetitt gehalten i et beregnet differensiat noenlunde tilsvarende den gehalt vi har funnet i kodalmalmen, mens fosfatkonsentrasjonen er 25-30% lavere enn den burde vært.

Konsentrasjonen av komponentene er beregnet til:

		Kodal
TiO ₂	14x	15,4x
Fe ₃ O ₄	14x	15,4x
Apatitt	14x	11,1x

Om man påregner et opprinnelig dagoverflate i permittiden lå 1 km over nåværende, altså at 1 km er fjernet ved erosjon - og at differensiasjon f.eks. har skjedd til 1 km under nåværende dagoverflate, altså til 2 km dyp, ville man på dette dyp over 24km² få avsatt:

$$\frac{24 \cdot 1000 \cdot 1000 \cdot 2000 \cdot 3,2}{100} \cdot 1,57 = 2,4 \cdot 10^9 \text{ tonn fosfat.}$$

Kodalforekomsten samt de andre kjente forekomster i området kan muligens inneholde 1-2% av dette kvantum med størrelsesorden 20-30 mill tonn fosfat til 1500 m dyp.

Det er vel all grunn til å anta at mesteparten av det differensierte materiale fra nefelinsyenittene er sunket svært dypt, da egenvekten av høgetemperaturmineralene er 25-100% større enn nefelinens og feltspatens egenvekter.

Men det kan også være en mulighet for grunnere avsetninger.

Meget bemerkelsesverdig er den store gjennomgående magnetiske anomali på tegning H-4 som peker som en finger mot nordøst ut av nefelinsyenittområdet og i retning Kodal, samt det positive område syd for denne.

Anomaliens bredde kan muligens tyde på en dyptgående plateformet bunnfelling med fall mot nordvest.

Taes utgangspunkt i Dobrin Geophysical Prospecting 1960 s.313-314, er det ikke usannsynlig at anomalien skrives seg fra et magnetisk legeme på et dyp mellom 800 og 2500 m og av meget betydelig utstrekning.

Anomalien kan også ha andre årsaker hvilket best i første omgang kan vurderes av en geofysiker. Om denne bunnfelling var av Kodaltypen og hadde skjedd gjennom et 2 km tykt foyaltt dekke og f.eks. inneholdt 20% apatitt og 40% magnetitt, ville lagtykkelsen være ca 100 m.

Anomalien, om flyhøyden var 1000 m over forekomsten, ^{ville} sannsynligvis ligge innen rammen 400-600 g som man i dette tilfellet har (Dobrin side 331.)

En kombinasjon av interpretasjon av det magnetiske bilde med etterfølgende gravimeteroppmåling vil sannsynligvis kunne gi et svar på dette. (Lamberts regneeksempel bil. III a).

På Kola er gjennomsnittsmektheten i fosfatleiet 70 m og fosfatinnholdet er da ca 40% (Granitt), resten nefelin og mørke mineraler.

Her er i enkeltanalyser oppgitt 0,24% P i Chibiniten og spor til 0,10% i foyaltten.

For å kunne gi denne lagtykkelse måtte opprinnelig dagflate ha ligget 3 km over nåværende, hvilket kan være mulig i dette halvkvaliske strek.

Her er vel også en viss mulighet for at det kan ha skjedd en differensiasjon fra en opprinnelig jacupirangitt, hvor de letteste bestanddeler - d.v.s. nefelin og apatitt har flytt opp, mens krystallgroten ennå hadde tilstrekkelig viskositet.

6.1 Konklusjon.

resultatet av

Vi kan sammenfatte ~~Årets~~ arbeidet i felt som følger:

- A. Man må anta at Vogts differensiasjonsteori er bekreftet.
- B. Området hvor en slik differensiasjon har funnet sted er lokalisert og avgrenset.
- C. Differensiasjonen er sterkere enn antatt idet opptil 4/5 av P-innholdet er fjernet i foyaittområdet.
- D. Vestfoldmassivet har store likhetspunkter med Chibinemassivet i strukturell oppbygging, men også endel ulikheter.

Det er på grunnlag av analyser tydelig at moder-massivet i Vestfold har vært endel rikere på jern, titan og fosfor mineral, men fattigere på nefelin enn Chibinemassivet. Foyaittens innhold av nefelin i Vestfold er ca 10-20%, mens den i Chibinemassivet har 30-45%. Om eutektikum for tokomponent-systemet nefelin/natronfeltspat er 18% nefelin og 82% natronfeltspat, skulle Vestfold foyaittens nefelininnhold ligge nærmere dette eutektikum.

Resultatet er da som det synes å fremgå av analysene at differansen mellom høytemperaturmineraler i lardalitt foyaitt i Vestfold er vesentlig større *her enn* mellom Chibinititt-foyaitt i Kolamassivet, med andre ord at differensiasjonen har vært sterkere i Vestfoldmassivet.

7. Forsøk med geofysiske instrumenter.

Det har i de senere år foregått en meget sterk utvikling i geofysikken, og de større oljeselskaperne har investert betydelige summer i utvikling av instrumenter for oljeleting som dels med fordel kan anvendes i malmeting.

For vårt formål har vi hittil i 1961 gjennomført flymagnetiske målinger og N.G.U. foretok samtidig radiometriske målinger. En vurdering av de anomalier man fikk ved sistnevnte målinger, viser intet som kan tyde på sammenheng med fosfatanrikninger.

7.1 Seismiske måleforsøk.

Med utgangspunkt i vurderinger av hvordan differensiasjon kunne ha skjedd, ble man etter konferanse med dosent Sellevold ved Jordskjelvobservatoriet i Bergen enige om en prøve med seismiske instrumenter over nefelinøyenittområdet. Man forutsatte forsøkene gjennomført i tre trinn og 2 av disse i 1967.

1. Undersøkelse av bergartenes seismiske hastigheter, samt egenvekt og mekaniske egenskaper.
2. Foreta en innledende undersøkelse i felt med seismiske målinger.
3. Om forsøkene under 2 ga positivt resultat, ville man foreta en systematisk oppmåling over området med registrering av eventuelle bergartelag på større dyp med høyere seismiske hastigheter.

Forsøkene for 1967 er gjennomført etter programmet og ble utført etter samarbeid mellom Jordskjelvobservatoriet i Bergen og Oslofirmaet Kjølseeth. Resultatene foreligger i eget bilag til denne rapport, bilag nr. II.

Vår konklusjon bør være at seismiske målinger har sin sterke begrensning idet flater med fall over 40° gir dårlig eller ingen respons.

Videre må påregnes at de må ha en tykkelse på over $1/2$ ganger den anvendte bølgelengde for å gi respons.

Det ble registrert en svak respons over et område like nord for kodalforekomsten som kan indikere en ny, ikke kjent forekomst på 130-200 m dyp. Over nefelinsyenittfeltet ble foretatt 5 målinger uten positivt resultat. Her må bemerkes at ladningene var relativt små og neppe ville gitt respons på flater under 600 m.

På grunnlag av de utførte prøvemålinger og senere gravimetermålinger vil vi foreslå at man venter med et systematisk seismisk prøveprogram til det foreligger orienterende gravimetrisk målinger.

7.2 Gravimetrisk måloforøk.

Med denne metode måles de lokale variasjoner i gravitasjonskraften som følge av forandringer i egenvekt i bergartene i jordskorpen. Slike anomalier er svært små sammenlignet med den totale gravitasjon og betinger bruk av særlig følsomme instrumenter.

Det ble foretatt en prøve med gravimeter og da først over kodalforekomsten over kjente profil.

Målingene ble etter anbefaling av professor Oftedahl foretatt av stipendiat Ramberg som etter hovedfageksamen ved Universitetet studerer gravimetri ved Aarhus Universitet under professor Saxev.

./. Resultatet foreligger i bilag III til denne rapport.

Det vil sees at man fikk meget markante anomalier og også her en anomali nord for forekomsten som kan stå i sammenheng med den respons man fikk med de seismiske målingene.

Vi har grunn til å anta at eventuelle fosfatforekomster i dette området må være rikere på magnetitt-ilmenitt enn forekomstene i Kolaområdet, med andre ord at de har en høyere egenvekt i malm. Dette tilsier at kombinasjonen magnetometri - gravimetri er mest nærliggende for fortsatte undersøkelser.

I tillegg til rapporten fra målingene har^{vi} på anmodning fra Ramberg fått tilsendt endel regneeksemplar på forventede anomalier med 3 variable, mektighet, dyp og dyptgående, vedlagt i bilag nr. III a for:

1. Vertikal stående gangforekomst.
2. Horisontalt liggende plate.

Vi kan av disse trekke den slutning at en større malmkropp med egenvekt 4,0 og tykkelse 30-100 m og dyp 100-1000 m sannsynligvis vil kunne registreres ved gravimetri.

Altså om det i området finnes forekomster av slike dimensjoner og så grunne at de kan nåes ved grubedrift (at de kan ha interesse for selskapet) vil man ha gode sjanser for å registrere dem med denne metode. Etterfølgende detaljundersøkelser kan da eventuelt gjennomføres med seismikk.

På dette grunnlag vil jeg foreslå gjennomført et program med gravimetermålinger, begrenset oppad til ca 60 profilkilometer.

Et preliminært forslag med profiler er fremstilt på fig. 7, men vil bli endret etter eventuell interpretasjon av magnetanomalier.

Om dette blir aktuelt, er Ramberg villig til å påta seg målingene i marken og også det meget omfattende beregningsarbeide for interpretasjon av resultatene (hvor teoretisk kan inngå 26 korreksjoner pr. registrering.)

7.3 Interpretasjon av flymagnetiske målinger.

Av grunner som tidligere nevnt er en slik tydning ikke gjennomført. Meget taler for at om dette var gjennomført i god tid før eventuelle gravimetriske målinger, ville man ha bedre holdepunkter for konsentrasjon av disse og sikrere grunnlag for en bedømmelse når begge resultater blir sammenholdt.

Det er av avgjørende betydning at en slik interpretasjon eventuelt blir foretatt av en kapasitet på området, og jeg hadde i denne forbindelse gjennom det svenske selskap Prospector A/B en konferanse med dr. Parasnis som er A/B Bolidens sjefekonsulent i geofysikk og dosent ved Uppsala Universitet i samme emne.

Dr. Parasnis har forfattet endel litteratur innen geofysikken som brukes for spesialstudier ved universiteter på den vestlige halvkule.

Etter den orientering som ble gitt av undertegnede ved konferanse i Stockholm, har dr. Parasnis gitt et tilbud på interpretasjon.

7.4 Tilrådning for 1968 - kostnadsramme.

Om man ønsker å gå videre med arbeidene i 1968, foreslås følgende:

I. I løpet av vinteren få gjennomført en tydning av det aeromagnetiske bildet i området om nefelinsyenitten over 1000-1500 km². Tydningen kan utføres av dr.dosent Parasnis ved Uppsala Universitet.

II. Etterat tydningen er gjennomført foreta en orienterende gravimetrisk undersøkelse, i hovedsaken på veiene i området med tillegg for de felt dr. Parasnis foreslår etter ovennevnte interpretasjon.

Kostnadene for dette opplegg ville bli:

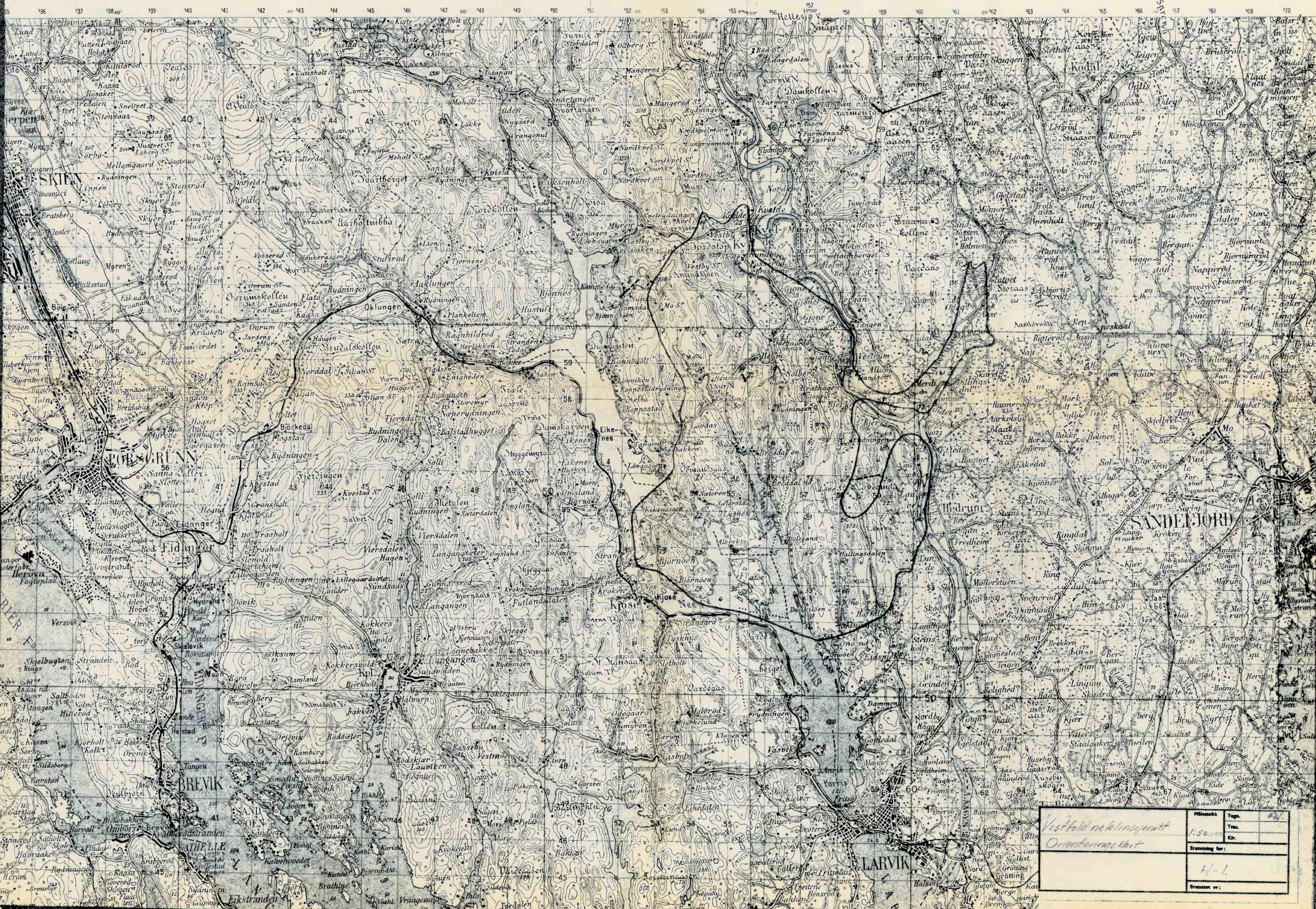
1. Interpretasjon ved dr. Parasnis	Kr.	20.000
2a Gravimetriske målinger ved Ramberg	"	18.000
Inkludert beregningsarbeide og diett.		
2b Nivellement 2 mann 4 uker, lønn	"	8.000
Diett, innkvartering	"	4.000
3. Div.arbeider, uforutsatt	"	20.000
Sum	Kr.	<u>70.000</u>

Oslo, den 10.1.1968.

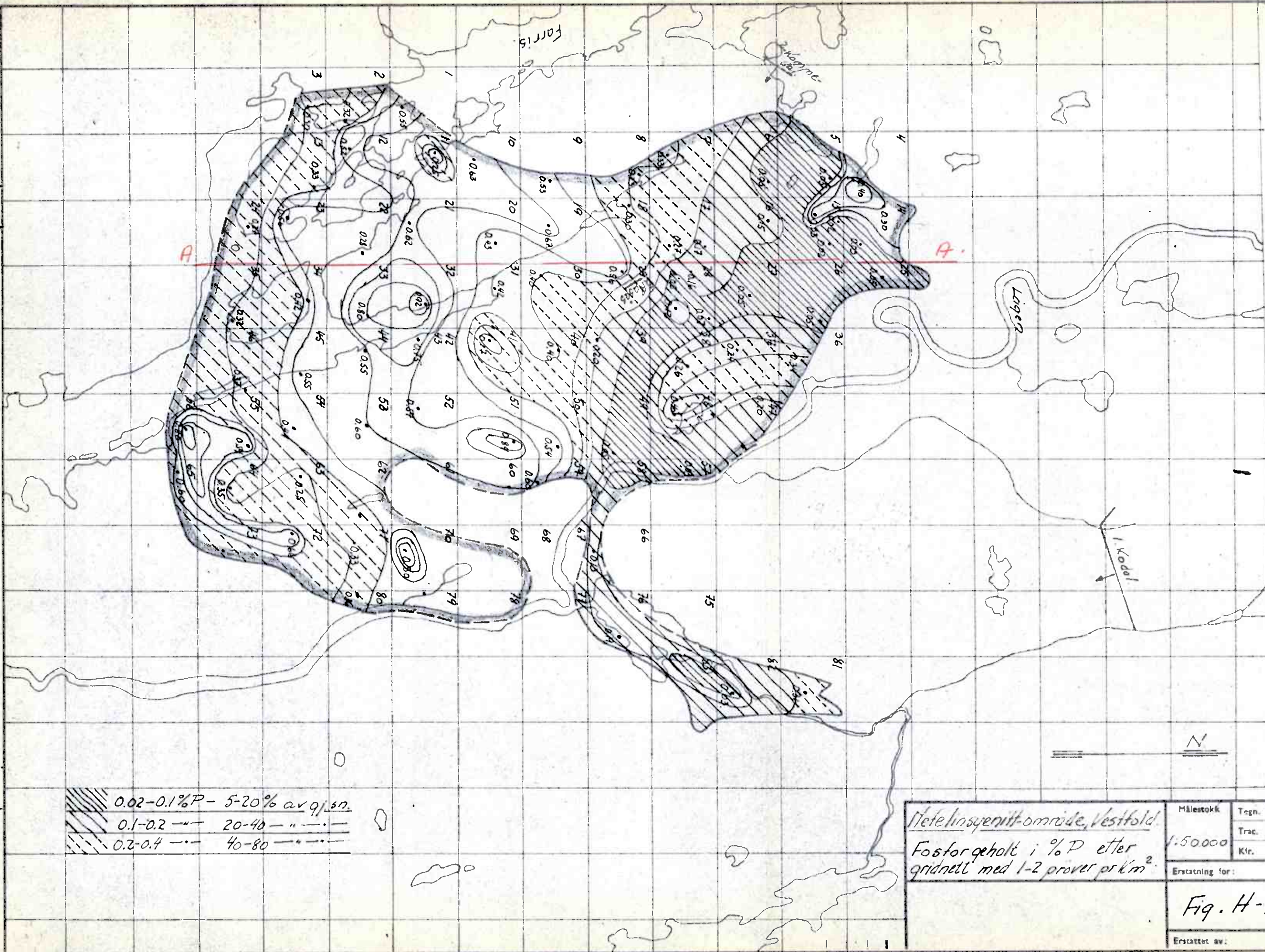
W. - R. - H.

LITTERATURHENVISNINGER.

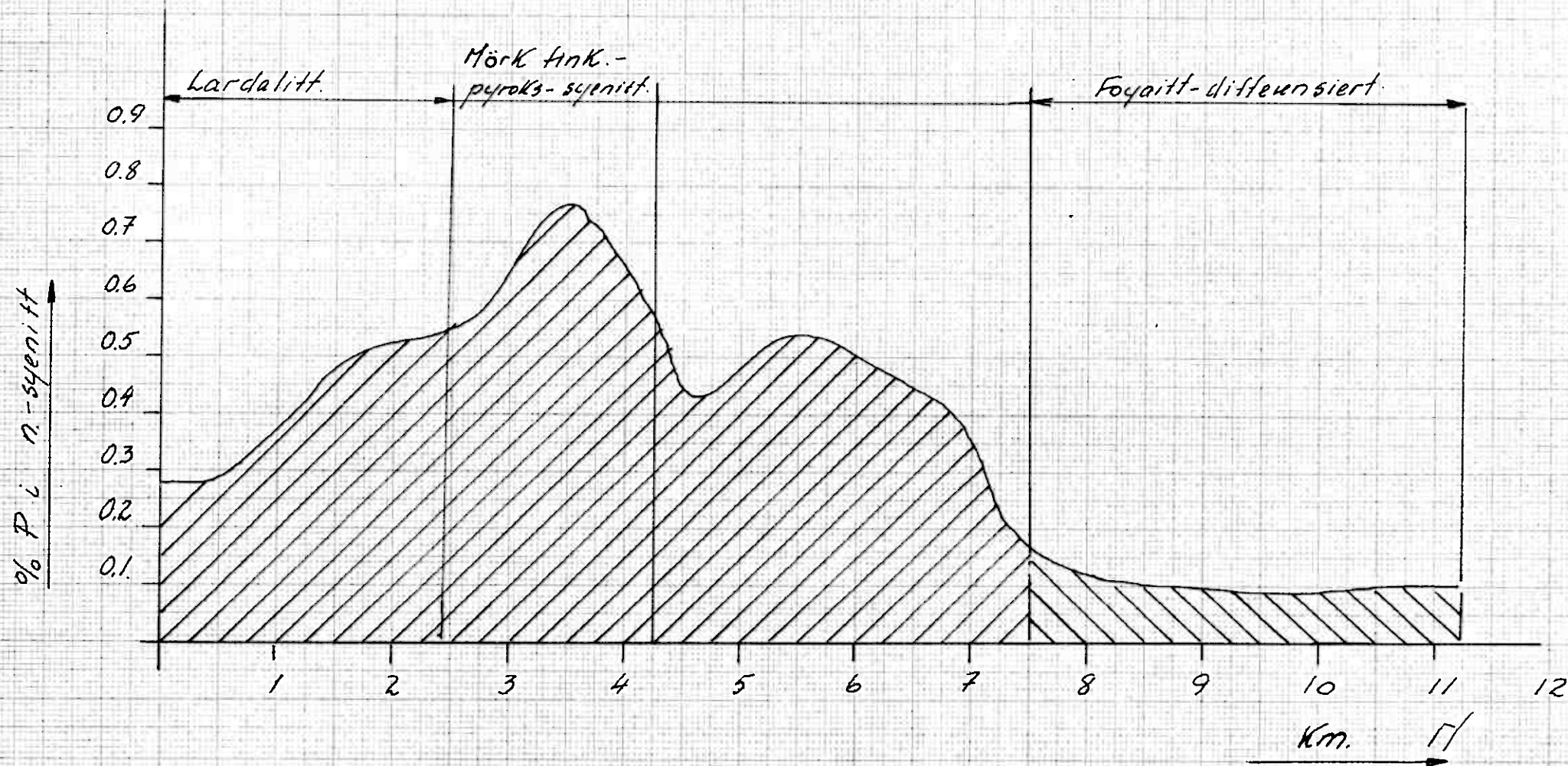
1. Geologische Beachtungen auf der Kolahalbinsel
W. Ramsay, Helsingfors 1890.
2. Das Nephelinsyenitgebiet auf der Halbinsel Kola
W. Ramsay, Helsingfors 1899.
3. Neue Beiträge zur Geologie der Halbinsel Kola
W. Ramsay, Helsingfors 1899.
4. Über die Verbreitung im Nephelinsyenitgeschieben im
Nördlichen Russland.
W. Ramsay, Helsingfors 1912.
5. Die Apatitlagerstätten in den Tundraen von Chibine.
B.Granigg Zeitschrift für praktische Geologie Heft 1-2 1933.
6. Minerals of the Chibina and Lovozero Tundras.
A.E. Fessman, Moskva 1937.
7. The Lovozero Alkali Massif.
Vlasov, Luzmenko, Eskova.
Utgitt av S.I.Tomkeiff.
Oliver & Boyd Edingburg 1966.
8. Introduction to Geophysical Prospecting
Milton B. Dobrin.
New York, Toronto, London. McGraw-Hill 1960.
9. Die Eruptivgesteine des Oslo Gebietes.
Bregger D.N.V.A. 1933.
10. On the Therory of the parental Magma of basaltic
Composition.
D.N.V.A. 1935.



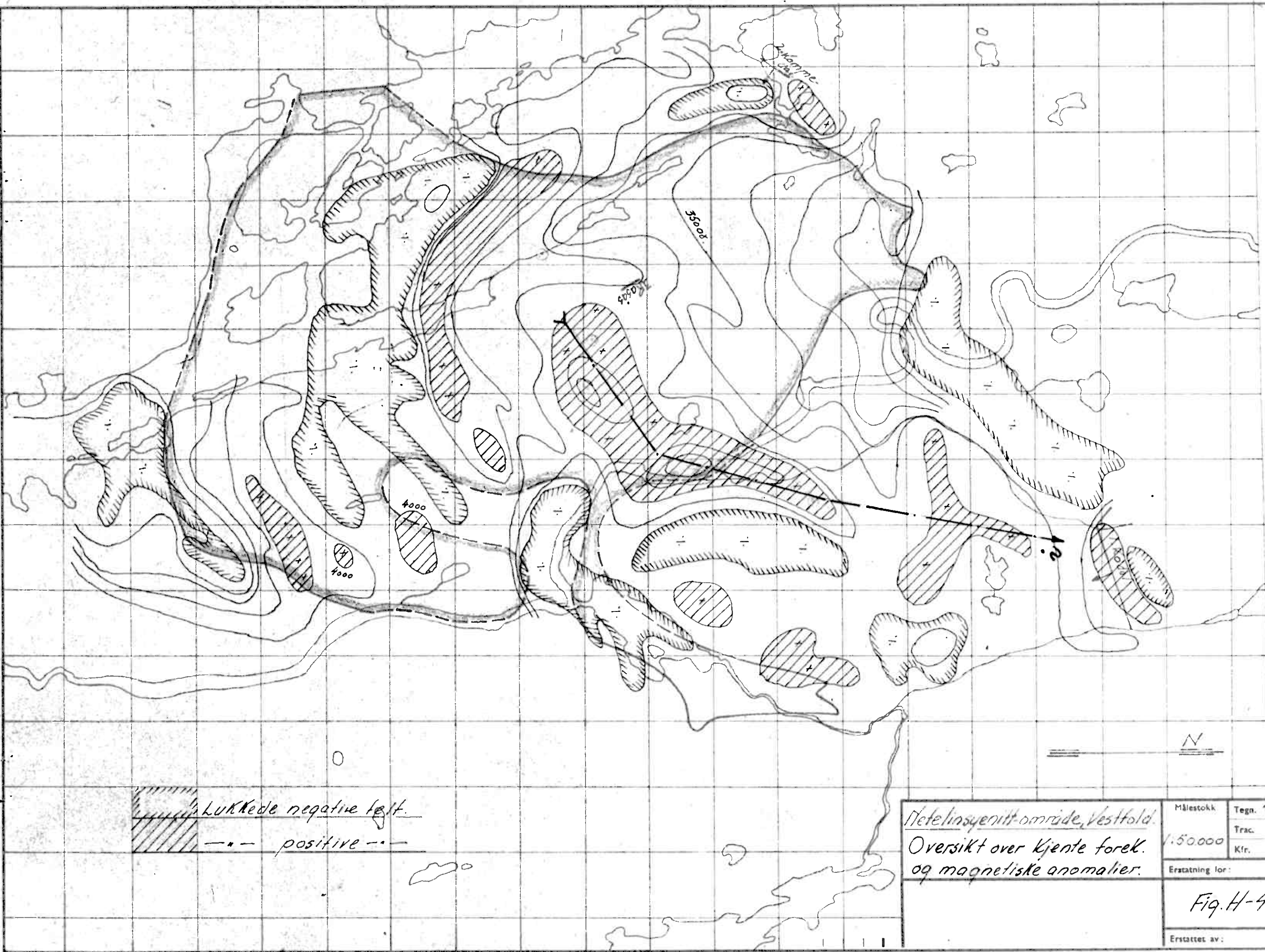
Vestfold neklingskart	
Orienteringskart	
Målestokk	1:50,000
Utgitt for:	4-1
Utgitt av:	

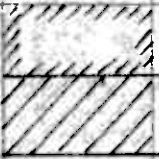


Vestfold-n.-syenitt P-gehalt i profil fra syd mot nord. Fig. nr. H-3.



1/12-67
RA.



 Lukkede negative felt.
 - - - positive - - -

Metelinsyent-område, Vestfold.		Målestokk	Tegn. 4967 M.
Oversikt over kjente forek. og magnetiske anomalier.		1:50.000	Trac.
		Erstatning for:	Kir.
		Fig. H-4	
		Erstattet av:	

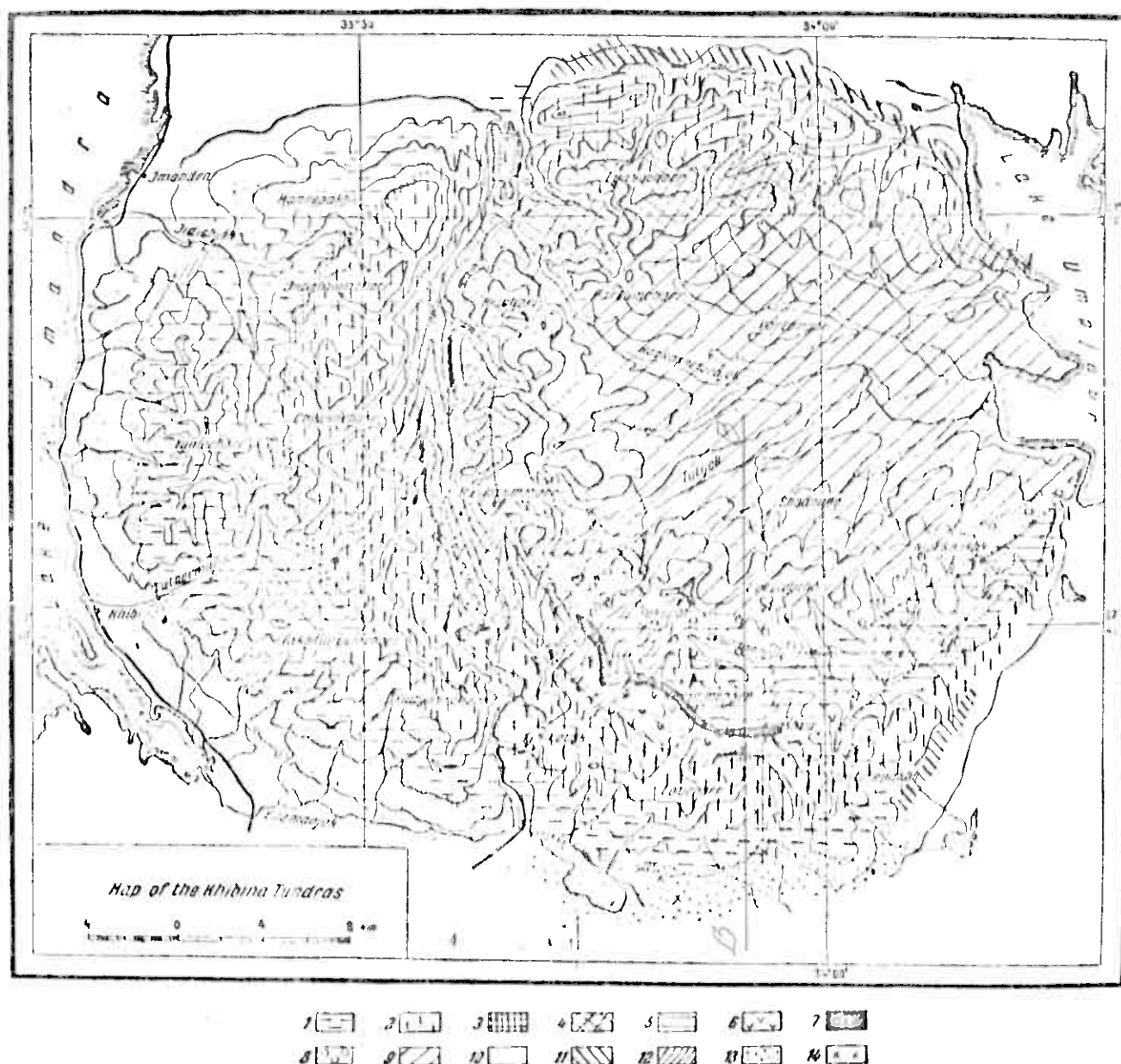
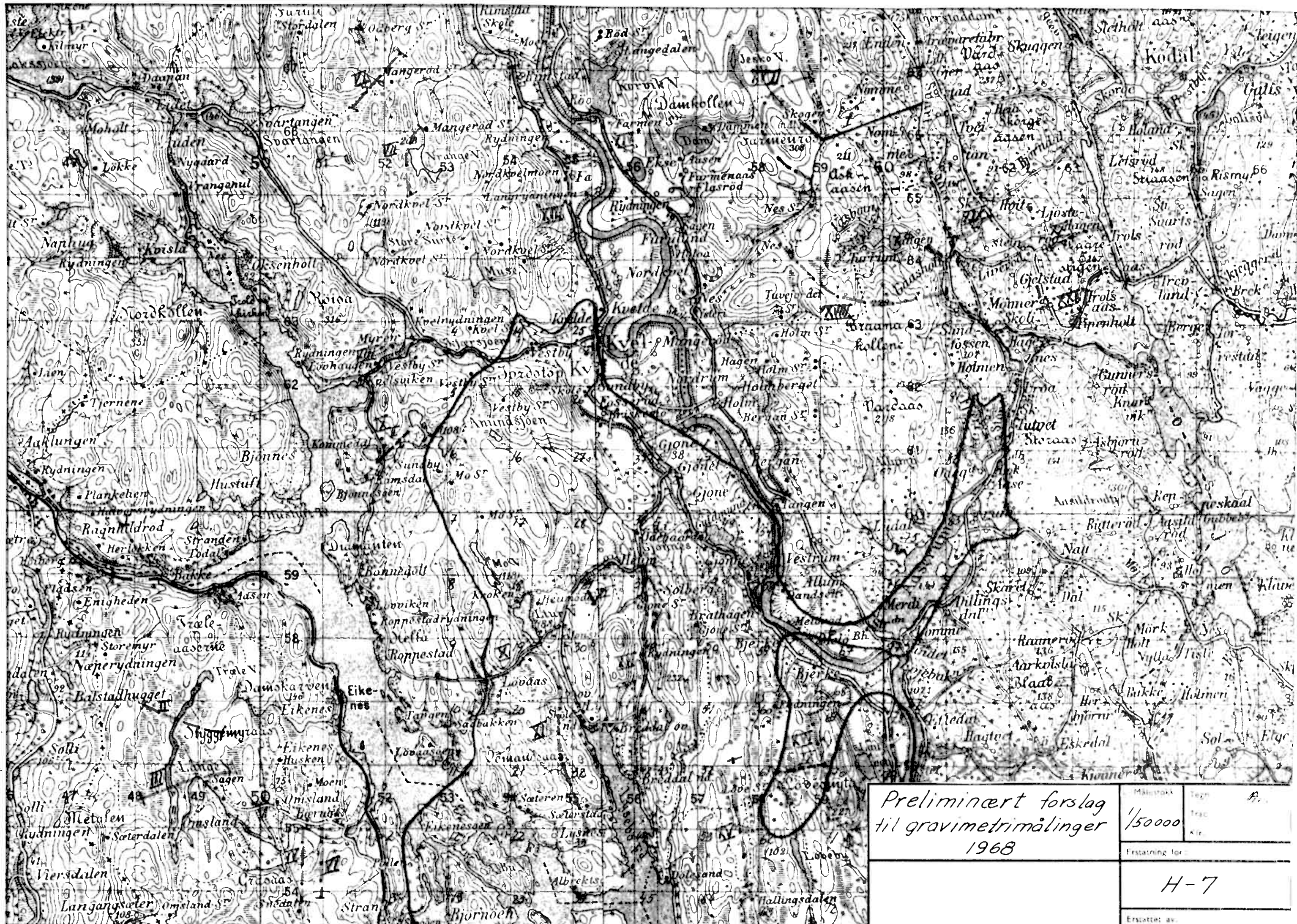


Fig. 7. Petrographical map of Khibina tundra.

1 - Khibinites, 2 - trichitoid khibinites, 3 - nephelite porphyres and vein rocks, 4 - poikilite nephelite syenites, 5 - fine-grained aegirite nephelite syenites, 6 - feldites and urtites, 7 - apatite nephelite rocks, 8 - mica and hornblende poikilite nephelite syenites, 9 - foyaites, 10 - foyaites, 11 - archaean gneiss, 12 - hornfels, pre-Proterozoic sedimentary rocks, 13 - green rocks of the Imandra-Varuga suite, 14 - titanite and gabbro-diabase.

Khibina and Lovozero tundras



Preliminært forslag til gravimetrimålinger 1968		Målestokk	1:50000
		Erstatning for	
			H-7
		Erstattet av	

Første rapport over lardalittfeltets petrografi.

Av Chr. Oftedahl, 19.12.1967.

Denne første rapport er å oppfatte som en rent foreløpig rapport med hovedresultater av mikroskoperingen av "grid-seriens" 75 bergarter, samt en spesiell prøveserie over den mørke sone midt i feltet. Rapporten inneholder de viktigste resultater slik de er kort omtalt i vedlagte mikroskoperingsrapport på vel 70 sider, men representerer ennå ingen systematisk bearbeidelse av de data denne inneholder.

Denne rapport omtaler først noen generelle petrografiske forhold angående bergartsvarieteteter, deretter gis en oversikt over hovedmineralenes generelle forhold.

Bergartstyper. Etter den enkleste inspeksjon i feltet er det tydelig at de nefelinførende bergarter varierer fra en nesten hvit bergart til en meget grovkornet og ganske mørkegrå bergart. Den første er en typisk nefelin-syenitt, mens den siste er den typiske lardalitt. Siden den siste er en berømt bergart, kaller vi feltet etter denne, selv om det finnes alle slags overganger. Brøgger i sin tid skilte ut en mellomtype, som jeg forsøkte å kartlegge, Lien-typus. Tynnslipmikroskoperingen gir foreløpig det inntrykk at det er to litt-forskjellige hovedtyper som passer grovt med hva vi kaller nefelin-syenitt og lardalitt. Første type inneholder som mørke mineraler egerin og/eller egerin-diopsid ved siden av litt biotitt, mens annen type inneholder ikke disse alkali-pyroksener, men bare augitt og biotitt, ofte med olivin. Begge typer kan ha høy nefelingealt. Tilslutt nevnes at de prøver som vi har fra kartskissens utstikker av nefelinbergarter omkring Åserumvannet som en finger mot nordøst, ikke viser nefelin eller meget lite. Det synes derfor som om lardalitt-feltet ikke har noen finger som går over Lågen til dens østside.

Feltspat er hovedmineralet i alle bergarter. I alle varianter består feltspatkrystallene bare av en type feltspat, slik at vi ikke kan skille to forskjellige feltspat-krystalltyper, slik vi kan det i mange andre eruptivbergarter. Imidlertid består hvert enkelt feltspatindivid eller feltspatkrystall av to forskjellige faser sammenvokset mikroskopisk til hva som kan kalles en mikropertitt. Den kjemiske sammensetning av de to faser i

mikropertittene og dermed mikropertittens total kjemi varierer helt åpenbart i de forskjellige varianter, slik at nefelin-syenitten har en kalsiumfri alkalifeltspat, mens total kjemien hos mikropertitten i de basiske lardalitter blir en ganske kalsiumrik og kalifattig feltspat. Disse feltspatfaser er imidlertid ennå ikke studert i detalj og kan ikke bestemmes ved optiske metoder.

Nefelin er det nest viktigste mineral mengdemessig.

For det meste er nefelinen ganske frisk, men leilighetsvis er den omvandlet. Omvandlingsprosessen begynner med et angrep av nefelinen kjemisk på sprekker og deretter går gradvis hele nefelinkrystallen over til andre mineraler. Det er ikke bestemt nøyaktig hvilke mineraler dette er, men det antas å være en zeolitt. Nefelinkornenes størrelse og form varierer ganske sterkt fra 0.5 - 1.0 mm korn og opptil 1 cm store korn eller krystaller. Krystallformen er også sterkt varierende. Noen ganger finner man vakre nefelinkrystaller i feltspat, andre ganger er det feltspatkrystallene som bestemmer de uregelmessige nefelinkorns fasong. Et ganske spesielt trekk i lardalittfeltet er at de typiske lardalitter nesten alltid har en ganske rikelig gehalt av nefelin inne i feltspatkornene i form av jevnt spredte dråper. Leilighetsvis kan disse anta virkelig krystallform. Størrelsen på disse dråper ligger vanligvis omkring eller oppimot 0.5 mm og bare leilighetsvis går de under 0.1 mm. I noen bergarter hvor både feltspat og nefelin synes temmelig rene, uomvandlede og fri for forurensninger kunne det tenkes at man kunne lage et nefelin-feltspatprodukt som kunne selges til den keramiske industri, men dette er noe som spesielt må undersøkes. Det kan nevnes at en foreløpig undersøkelse med dette for øye foretok jeg etter oppdrag for 10 år siden, men med negativt resultat.

Olivin forekommer i små korn eller krystaller fra 0.5 - 1.0 mm i mange lardalitter. Dette viser at disse bergarter er ganske sterkt undersilifiserte. I de forskjellige lardalitter kan olivinen være fra helt frisk til ganske sterkt kjemisk angrepet.

Pyroksen i de vanlige lardalitter er en normal augittisk pyroksen. Denne augitt har meget ø vekslende kornstørrelse og også vekslende tendens til ideell krystallform. Pyroksen viser to omvandlingstyper. I de typiske lardalitter går pyroksen gradvis over til biotitt, en prosess som foregår i lavere eller

sterkere grad under lardalittens krystallisering. Den annen hovedlinje er at pyroksen angripes av alkalier og overføres til først den natronholdige egerin-diopsid og deretter til den rene natrium-pyroksen~~egerin~~. Det forekommer alle stadier i denne omvandling, med resultat i sonarbyggede enkeltkorn av pyroksener.

Hornblende forekommer som et typisk senmagmatisk mineral i form av ørsmå grønne og klorittliknende enkeltkorn som danner kranser omkring det mineral det angriper, enten pyroksen eller olivin. Derneft er det tvilsomt om vi har en brun basaltisk hornblende tilstede i enkelte slip.

Biotitt er et av de mørke hovedmineraler. Den er for det meste ideelt frisk og kan danne ganske store enkeltkorn. Endel lardalittvarieteter danner den svære flak med konstant orientering men gjennomhullet av andre mineraler, også feltspat. Slike flak ser man ikke sjelden i håndstykkene med lengde opp i 2-3 cm og det mest ekstreme jeg tidligere har funnet er et 8 cm langt flak.

Ertzmineraler. I tynnsnip ser man at jernertsmineralene danner svarte og opake korn og de kan ikke bestemmes videre. Det dreier seg vel for det meste om magnetitt, eventuelt med ilmenitt, men i denne kategori kan det også skjule seg andre og sjeldne mineraler.

Apatitt. Dette for oss viktige mineral forekommer alltid som krystaller i de andre mineraler. Krystallformen er nesten alltid velutviklet og ganske ofte ideell. For det meste utgjør apatittkrystallene litt tykkprismatiske heksagonale prismer med en endepyramide omtrent i 45 grader. Lengden er da ca. tre ganger tykkelsen. Leilighetsvis kan vi få tynnprismatiske krystaller med opp i 10 ganger større lengde. Krystallstørrelsen varierer svært fra langt under 0.1 mm til oppimot 1.0 mm i lengde. Stort mer enn dette er overhodet ikke sett. I de mer apatittrike bergarter er krystallene vanligvis omkring 0.2 x 0.6 mm i størrelse når vi har snitt noenlunde parallelt prismeaksen. Å vurdere gehalten av apatitt fra tynnsnipene er meget vanskelig da apatittkrystallene sitter spredt og samlet på bestemt måte.

Apatittkrystallenes forekomstmåte er vel et av de viktigste resultater fra mikroskoperingen. Krystallene sitter nemlig etter et meget greit prinsipp: De forekommer innleiret i de andre

mørke mineraler eller nær disse. Således finner vi jernertskorn, olivinkrystaller, augittkrystaller, biotittflak, alle mer eller mindre pepret med krystaller av apatitt. I lardalitter med store augitt- og biotittkorn har vi som regel disse jevnt pepret med både apatitt- og ertskorn. Hvor de nevnte mineraler ikke lager så store individer, kan vi ha store jernertskorn like tett pepret med apatittkrystaller. Således har jeg i en stor augittkrystall på nær 5 mm lengde talt opp 16 enkelte apatittkrystaller. Når krystallene ikke forekommer inne i de nevnte mineraler, forekommer de lagt inntil dem eller forekommer i deres nærhet. Det viser seg nemlig å være en annen erfaringssak at de nevnte mørke mineraler fortrinnsvis ligger som enkeltkorn inne i nefelin. Dette gjelder naturligvis fortrinnsvis de lardalitt-typer hvor både biotitt, pyroksen eventuelt olivin, forekommer som mange små individer. Da kan de ligge jevnt dusjet ut i nefelinen. Dermed kan nefelin inneholde ganske mye apatitt og i de mer fin-kornede eller ikke ekstremt grovkornede lardalitter vil jeg gjette på at halvparten av apatittkrystallene ligger i nefelin, den andre halvpart inne i mineralene magnetitt, olivin, augitt og biotitt, fortrinnsvis augitt og biotitt. Dette resultat er selvfølgelig overmåte viktig for all mulig oppredning av apatitt fra lardalittbergarter.

Mengden av apatitt i de undersøkte nefelinførende bergarter synes å følge en enkel approksimativ regel: Jo mer mørke mineraler, jo mer apatitt. Om det er en noenlunde proporsjonalitet, vet jeg ikke, men det er helt tydelig at jo høyere summen av jernerts, olivin, augitt og biotitt er, dessto mer apatitt synes vi å ha. Denne regel beror dog på et rent visuelt inntrykk.

Titanitt nevnes som siste mineral, det forekommer som opptil 1 mm store korn i de lyse nefelin-syenitter. Generelt har man inntrykk av at titanitt forekommer omvendt proporsjonalt summen av de mørke mineraler. Det er sikkert at vi har både zirkon og kanskje mange andre sjeldne mineraler i nefelinbergartene, men foreløpig har jeg ikke brydd meg om å forsøke å bestemme disse, da de i våre dager bestemmes enklest etter mineralseparering ved røntgenanalyse.

Profil i felt H 53. Seks prøver fra et profil tvers over den mørke sone i felt. H 53 er mikroskopert, disse prøver ligger ca. 100 m fra hverandre. Prøvene nr. 28 og 29 (profil nr. 1 og 2) har åpenbart høyeste apatittgehalt og burde komme godt over 1.0 %. Noe mindre finner vi i nr. 30, mens nr. 31 og 32 sikkert er mindre, og i nr. 33 er det relativt lite apatitt. Det er tydelig at de tre førstnevnte prøver har høy gehalt av mørke mineraler og nr. 28 og nr. 30 har henholdsvis 6 - 8 %, og 5 - 8 % olivin. Dette er mer enn anslått for noen av de vanlige grid-prøver, og nr. 29 har uvanlig høy gehalt augitt.

Hovedresultatet er altså at apatittgehalten er grovt sett proporsjonal med gehalt av mørke mineraler og det er mulig at olivingehalten er en spesiell god indikator. Olivin er jo det silikatmineral som krystalliserer ved høyest temperatur, mens vi nu vet at apatittkrystallene dannes iallfall delvis før noe annet mineral. Det må dog betones at denne hovedregel modifiseres ved detaljgjennomgåelse av analyseverdiene på P sammenholdt med mine anslag av halter av mørke mineraler. Imidlertid er disse anslag ytterst approksimative, spesielt på grunn av bergartenes grove karakter i forhold til tynnslipets areal. Derneft er det et spørsmål om hvor store prøver som er anvendt for P-analysen. Hvis det er anvendt et lite håndstykke, kan man regne med at verdien er lite representativ. Bedre med et vanlig stor håndstykke men først en hodestor prøve vil gi hva som må regnes som en pålitelig gjennomsnittsverdi for bergarten omkring prøvestedet. At korrelasjonen mellom sum mørke mineraler og P-gehalt eller mellom olivingehalt og P i detalj ikke er særlig god, kan da henge i de nevnte praktiske problemer.

Troedheim 19/2.67

Olav. Østgaard

Rapport
vedrørende
refleksjons-seismiske målinger i
nefelinsyenitt- og Kodal-området i Vestfold

Oppdrag

I samarbeid med Jordskjelvstasjonen, Universitetet i Bergen, har A/S Sivilingeniør O. Kjølseth utført refleksjons-seismiske undersøkelser i nefelinsyenitt- og Kodal-området ved Larvik.

Fra oppdragsgiveren, Norsk Hydro, deltok bergingeniør Nielsen og ingeniør Ørvik. Fra Jordskjelvstasjonen deltok ingeniør Veim, mens cand. real. Øfsthus og cand. real. Farestveit deltok fra firmaet Kjølseth.

Formål

Hensikten med målingene var å undersøke om man ved hjelp av refleksjons-seismiske målinger kunne registrere grenseflater mellom bergarter med egenvekt på ca. $2,7 \text{ g/cm}^3$ og bergarter med vesentlig høyere egenvekt.

I juni 1967 ble det under ledelse av cand. real. Øfsthus foretatt målinger for å bestemme de seismiske bølgers hastighet i jern-titan forekomsten i Kodal og i de omliggende syenittbergarter. Som det fremgår av vår tidligere rapport ble refleksjonskoeffisient mellom jern-titanmalm og syenitt beregnet til 0,26, hvilket skulle være tilstrekkelig til å gi gode refleksjoner.

Måleprogrammet for de refleksjons-seismiske målinger ble lagt opp i samarbeid med bergingeniør Nielsen, og bygget på de data man hadde fra boringer, geologisk kartlegging og flymagnetiske målinger i området.

Tegninger

Tegning 2351 - 1 : Situasjonsplan, seismiske målinger i nefelinsyenitt- og Kodal-området i Vestfold.

Instrumenter

Den seismiske apparatur som ble benyttet, besto av følgende:

- a. Forsterkerenhet
- b. Oscillograf
- c. Seismometer
- d. Kabler
- e. Tape recorder

- a. Forsterkeren som ble benyttet, var et Shell instrument av typen El 40 - 42. Forsterkeren var utstyrt med kontrollpanel og blandingsenhet, samt elektriske filtre med en variabel frekvensfiltrering i området 11 - 300 cps.
- b. Oscillografen er et fabrikat av August Fischer, Göttingen. Den inneholder 25 galvanometre med egenfrekvens 180 cps.
- c. Det ble benyttet både vertikal- og horisontalseismometer. Vertikalseismometrene besto av typene HS-1 med egenfrekvens 14 cps. og HS-J med egenfrekvens 28 cps, impedanse 215 ohm. Horisontalseismometrene hadde egenfrekvens 4,5 cps og impedanse 215 ohm.
- d. Kablene er et DeRegt & Zoon fabrikat og består av 26 ledere. Det ble benyttet kabler á 200 m med kontaktuttak for hver 20 m og kabler á 50 m med uttak for hver 5 m.
- e. Tape recorderen er fabrikkert av Consolidated Electro Corporation, type PR. 3300.

Markarbeid

Arbeidet i marken ble utført i tiden 18. - 22. september 1967. Det ble ialt målt 11 profil på forskjellige steder. Disse stedene var på forhånd valgt ut i samarbeid med bergingeniør Nielsen. Alle målestedene lå i nærheten av vei, slik at det seismiske utstyret kunne transporteres helt frem med bil.

I hvert profil ble det avfyrt flere skudd. Antallet varierte fra 3 skudd til 10 skudd.

Ladningsstørrelsen varierte fra 0,1 kg - 2 kg geomit. Den mest vanlige ladningsstørrelsen var ca. 0,7 kg. Ladningene ble plassert i vann, fordi vi ikke hadde boreutstyr slik at en kunne få ladningene dypt ned i jord eller fjell.

Ved målingene varierte en filtersetningen for å finne frem til det frekvensområdet som ga de beste registreringene. Det filteret som ble mest brukt og ga de beste registreringer lå i frekvensområdet 20 cps - 70 cps.

Måleresultater

Gangtiden for en reflektert bølge vil bestå av gangtiden for bølgen gjennom løsmasselaget og av gangtiden for bølgen gjennom fjellgrunnen. Gangtiden for bølgen gjennom løsmasselaget og hastigheten i fjellgrunnen er funnet ved å benytte vanlig refraksjonsteori for å beregne disse størrelsene.

Nedenfor følger en gjennomgåelse av resultatene fra de enkelte profiler.

Profil I lå ved Nomme gård ca. 150 m - 200 m fra Kodalsforekomsten, omtrent parallellt med strøket. Profillengden var ca. 150 m.

Det ble benyttet både horisontal og vertikalseismometre i profilutlegget. Målingene viser ingen refleksjoner på vertikalseismometrene. På horisontalseismometrene er det innsatser som kan være svake refleksjoner. Innsatsene har en gangtid på ca. 0,055 sek. gjennom fjellgrunnen. Dette korresponderer med en avstand til refleksjonsflaten på ca. 140 m.

På grunn av at innsatsene bare er funnet på horisontalseismometrene, kan innsatsene være en mulig siderefleksjon fra en steiltstående plate.

Profil II lå nær et vann ved gården Vassbotn. Profillengden var ca. 100 m. Det ble ikke funnet refleksjoner fra dyptliggende flater i fjellgrunnen.

Ladningene ble avfyrt i vannet, og boblepulsinnsatsen skapte endel forstyrrelser på de første seismogrammene. Ved å heve ladningen fikk man utblåsning, og boblepulsinnsatsene ble derved eliminert.

Profil III lå ved en sideelv til Lågen i nærheten av Bergan gård. Profillengden var ca. 100 m. Det ble ikke funnet refleksjoner fra dypere flater i fjellgrunnen til tross for at en varierte både ladningsstørrelse, filtersetning og skuddpunktsplassering.

Profil IV lå langs bomvegen mellom Løveseter og Lysefjorden. Profillengden var ca. 400 m. Det ble ikke funnet spor etter refleksjoner fra dypere flater i berggrunnen.

Profil V lå langs vegen til Rydningen gård. Det ble ikke funnet refleksjonsinnsatser på seismogrammene.

Profil VI lå ved Liurvannet. Seismogrammene viste ingen refleksjoner.

Profil VII lå ved Kvelde. Seismogrammene viste ingen refleksjoner.

Profil VIII lå ved veien mellom Nes og Nesseter. En svak innsats som kan være en refleksjonsinnsats er registrert på noen seismometre. Innsatsen kommer inn etter en gangtid gjennom fjellet på ca. 0,075 sek., som tilsvarer en avstand til den mulige refleksjonsflaten på ca. 200 m. Registreringene må betegnes som meget usikre.

Profil IX lå ved Moa gård. Det ble der registrert innsatser med en gangtid gjennom fjell på ca. 0,05 sek. Disse innsatsene kan tolkes på to måter:

- 1) Det kan være en refleksjonsinnsats. Den reflekterende flaten ligger da i en avstand ca. 120 m fra registreringspunktene.
- 2) Innsatsene er ikke klart markert på seismogrammene og kan også forklares som en opptrapping av energi på grunn av de påfølgende bølgetog.

Skuddene fra Moa gård er også registrert på tape-recorder, men de avspilte registreringene viste heller ingen sikre refleksjoner.

Profil X ligger mellom Nome og Vassbotn. Det ble ikke funnet refleksjoner på seismogrammene.

Profil XI lå nærmere Kodals-forekomsten. Det ble ikke funnet sikre refleksjonsinnsatser på seismogrammene.

Sekundære innsatser på seismogrammene.

Under målingene ble det registrert longitudinale (P) og transversale (S) bølger.

Lydbølgen gjennom luft ble klart registrert for de skudd som lå slik plassert at en fikk utblåsning. Luftpulsen er lett å identifisere på grunn av sine klare innsatser og lave hastighet.

Endel skudd lå så dypt i vann at en ikke fikk utblåsning. Dette resulterte i at en fikk klare registreringer av boblepulsen. Årsaken til disse innsatsene er at ved avfyringen blir det utskilt forbrenningsgasser. Dersom en ikke får utblåsning av gassene, lager disse et kraftig oscillerende system som sender ut kraftige energipulser. Disse energipulsene vil bli sendt ut med tidsintervallet t mellom hver puls. Formelen for t er gitt ved

$$t = \frac{CW^{1/3}}{(h + k)^{5/6}}$$

t: i sek.

W: ladningsvekt i kg

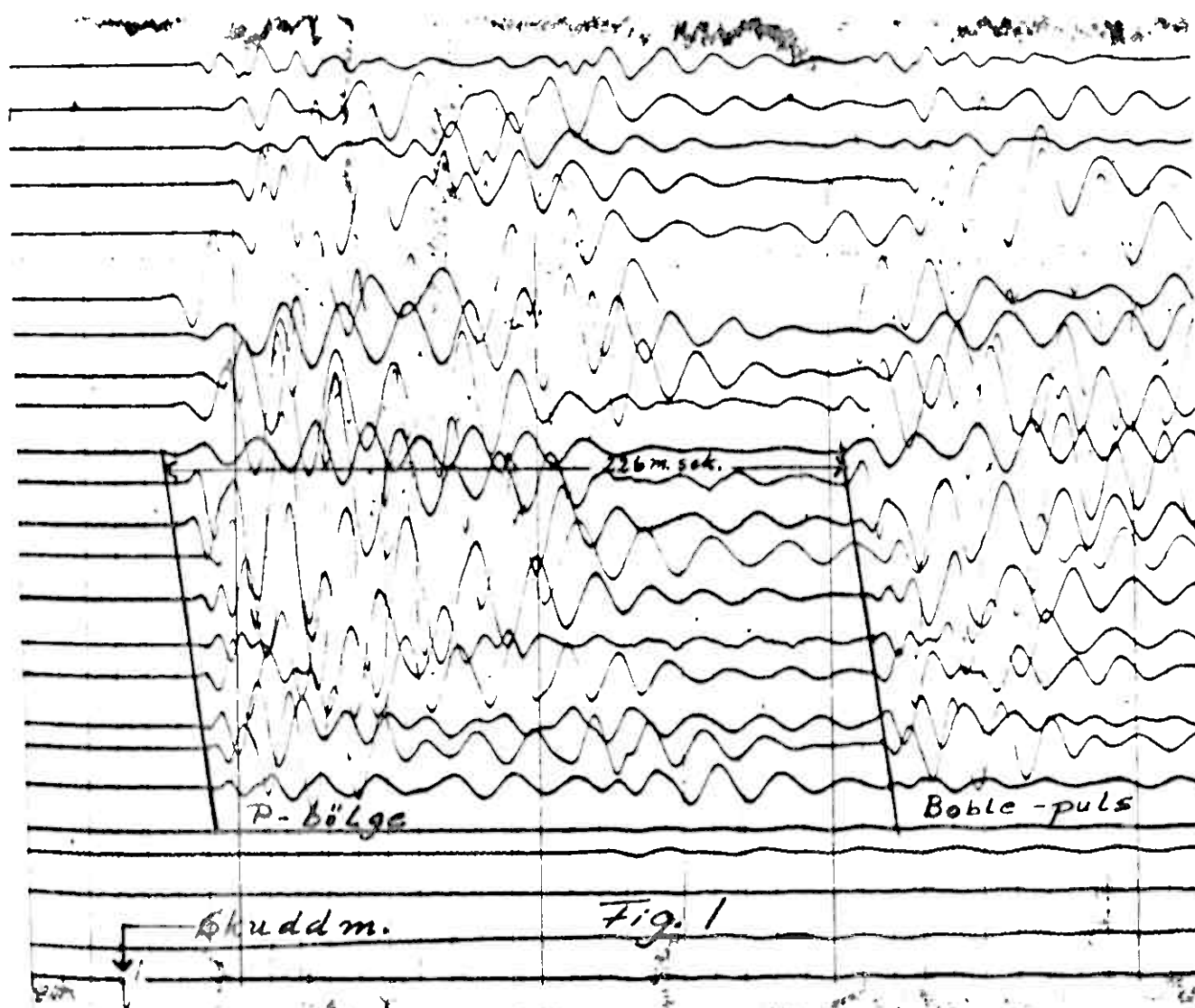
C: Konstant avhengig av sprengstoffet. For geomet C = 1,9 sek. m^{5/6} kg^{1/3}

h + k: Vanntrykk + lufttrykk i desibar.

Eksempelet fig. 1 viser en registrering hvor W = 1,1 kg, h + k = 13 ± 0,5 desibar

Dette gir ifølge formelen t = 0,231 sek. + 0,009. Tilsvarende avlesning på seismogrammet gir t = 0,226 sek.

Luftpulsinnsatser og bobleinnsatser kan elimineres ved å bore ladningene dypt ned i fast grunn.



Årsaken til vanskelighetene med refleksjonsmålingene

Som en kommentar til måleresultatene vil vi belyse de problemer som kan ha forårsaket at det ikke ble oppnådd sikre og gode refleksjonsinnsatser ved målingene.

Størrelsesordenen av den reflekterte energi er av avgjørende betydning for å kunne oppnå sikre refleksjoner. Av de viktigste faktorer som influerer på størrelsen av refleksjonsenergien kan følgende nevnes:

- a. Refleksjonskoeffisienten.
- b. Refleksjonsflatens helning i forhold til "registreringsplanet".
- c. Skuddenes plassering og størrelse.

a. Med hensyn til refleksjonskoeffisienten er den som tidligere nevnt beregnet til 0,26 (innfallsvinkelen $i = 0^\circ$) mellom jern-titanmalm og de omliggende syenittbergarter, hvilket skulle være tilstrekkelig til å kunne oppnå gode refleksjoner. Imidlertid viser noen av de utførte boringer at det kan forekomme en overgangssone mellom syenitten og jern-titanmalmen. En slik overgangssone vil ofte medføre en kontinuerlig hastighetsøkning for de seismiske bølger, som igjen vil medføre en svekkelse av den reflekterte energi.

b. Dersom den reflekterte flate har en stor fallvinkel, vil det ofte være vanskelig å oppnå sikre refleksjoner. Dette viste seg også å være tilfelle ved Kodal-området, hvor en kun fikk inn noen svake innsatser på horisontal-seismometrene (se nærmere omtale under målestasjon 1). På grunnlag av de utførte boringer viser jern-titanmalmen å ha et fall på mellom 65° og 80° i dette området.

c. En viktig faktor for å oppnå gode refleksjoner er skuddenes plassering og størrelse. Som nevnt under markarbeidet ble samtlige skudd avfyrt i vann og elvefar, hvilket medførte en viss begrensning for den ladningsstørrelsen som kunne benyttes, foruten å skaffe endel uønskede innsatser som luft- og boblepuls. Ved vanlige refleksjonsmålinger viser det seg oftest mest gunstig å avfyre skuddene i et dyp mellom ca. 5 m og 15 m. Dette ville også ubetinget vært

en fordel ved våre målinger, men av praktiske grunner var det ikke mulig å avfyre skudd på disse dyp.

Foruten de ovenfor nevnte punkter som kan ha medvirket til de heller negative resultater kan nevnes følgende:

Målestasjonene ble valgt ut fra en teori som bygget på at Kodal-forekomsten hadde en utflatning syd av forekomsten. Hvorvidt en slik utflatning eksisterer er derfor noe usikkert, og eksistensen av en reflekterende flate under målestasjonene er derfor også uviss.

På grunn av vår begrensning med hensyn til skuddenes plassering og størrelse ville det dessuten være vanskelig å oppnå refleksjoner fra en flate, dersom denne forekommer på et dyp større enn ca. 600 m.

Arbeidsprogram for eventuelle senere geofysiske målinger

Av bergingeniør Nielsens opplysninger forstår vi at det er av særlig stor interesse for Norsk Hydro å få undersøkt om den teori (eller hypotese) som er fremsatt vedrørende muligheter for apatitt-forekomster i området kan være riktig.

På grunn av antagelsen om hastighetskontrastene mellom apatitt og sidebergartene, vil det trolig være vanskelig å påvise en eventuell apatittforekomst ved hjelp av seismiske målemetoder, før man har andre indikasjoner å bygge på.

På grunnlag av de resultater som ble oppnådd ved de refleksjons-seismiske målingene, vil det være riktig å benytte andre undersøkelsesmetoder før eventuelle nye seismiske målinger blir foretatt.

Etter våre vurderinger vil en drivverdig apatitt-forekomst i dette området måtte gi så store tyngdeanomalier at man ved gravimetriske målinger i det minste vil få skilt ut de områder som det vil være av interesse å undersøke nærmere - eventuelt med boring.

Det foreslås at det først blir tatt gravimetriske målinger av det aktuelle området. Ved hjelp av disse målingene vil en da kunne fastslå om det finnes tyngdeanomalier i området som kan skyldes konsentrasjoner av tyngre bergarter eller mineraler.

Som eksempel kan nevnes at en horisontal liggende plate av en mineralimpregnert bergart (apatitt, jern - titan) på ca. 30 m's tykkelse med egenvekt lik $4,0 \text{ g/cm}^3$ vil gi en anomali på ca. 1,5 m gal. ved dybder på 1 - 2 km, dersom platen har en utstrekning på 4 - 5 km.

Dersom de gravimetriske målinger skulle gi positive resultater og en sannsynlig eksistens av en malmsplate kan påvises, bør en ta opp til en nøyere vurdering hvorvidt det vil la seg gjøre å klarlegge malmsplatens beliggenhet enten ved hjelp av refleksjons- eller refraksjonsseismiske målinger.

Haslum 29. november 1967
for A/S SIVILINGENIØR O. KJØLSETH
og Jordskjelvstasjonen ved Universitetet i Bergen

Anders Farestveit
Anders Farestveit

M.A. Sellevoll
.....
M.A. Sellevoll

Arne Øfsthus
.....
Arne Øfsthus

Oktober 1967.

R A P P O R Tom gravimetriska mätningar över KODAL - förekomsten fraIVAR B. RAMBERG.Innhold:

Innledning.....	s. 2.
Utförelse, korreksjoner.....	s. 2.
Tolkning av profiler.....	s. 4.
Utförelse av videre gravimetriska mätningar.....	s. 6.

Innledning:

Undertegnede ble i august i år forespurt av bergingeniør Niels-August Nielsen om å foreta en rask gravimetrisk "survey" over KODAL- forekomsten i Vestfold. Hensikten var å prøve metodens anvendelighet med sikte på prospektering i vedkommende distrikt, og - hvis forsøket faldt heldig ut - eventuelt ta opp videre gravimetriske undersøkelser på oppdragsbasis til neste år. Det ble enighet om å legge ut to gravimetriske profiler over Kodal- forekomsten og ved feltarbeidet deltok foruten ingeniør Nielsen og undertegnede to mann som utførte nivellementet.

Utførelse og korreksjoner:

Til målingene ble anvendt et Worden Master gravimeter. Høyden for hvert punkt ble bestemt ved nivellement.

Profil I ble lagt i terreng fra gården Moa langs vestsiden av Mørkåsen og Paledalsåsen og med gjennomsnittlig retning ca 20° E av S, dvs. omtrent perpendikulært på forekomstens utgående. Profilets lengde er ca. 1100 m og går like langt ut på begge sider av forekomsten. Antall målepunkter er 50 m for de første 9 og de sidste 9 punktene på profilet, 20 m for de 15 sentrale punktene.

Profil II ble lagt langs veien over Andersbånn og går også tilnærmet perpendikulært på forekomstens utgående, dvs. i retning ca 20° W av S. Profilets lengde er ca 1000 m og er dekket av 21 punkter med innbyrdes avstand 50 m.

Gravimetermålingene ble ikke knyttet til noen kjendt basestasjon.

Det ble derfor valgt et arbitrært 0- punkt. Det samme gjelder høydebestemmelsene. Det opereres derfor bare med relative verdier som ikke gir muligheter til jevnføring med verdier fra tilgrensende områder. Ved en eventuell utvidet undersøkelse, må det avsettes tid til å knytte høyde- og gravimeterobservasjonene til kjendte basestasjoner slik at sammenligninger kan foretas.

De observerte gravimeterverdier er korrigert for tidevannseffekt og instrumentell drift. "Free Air"- og Bouguer- korreksjoner er foretatt med en valgt Bouguer- tetthet på 2.67 cm^3 og ned til et referanseplan lagt gjennom det lavest liggende målepunkt. Dette gir den fordel at man ikke introduserer usikkerheter som skyldes ukjendte variasjoner i bergartstettheten i dypet, og Bouguer- anomalien gir derfor et tilnærmet korrekt bilde av masseoverskudd eller -underskudd under det aktuelle topografiske snitt. Breddegradskorreksjon er utført grafisk.

Det er ikke utført terrengkorreksjoner, noe som vanligvis er meget tidskrevende. Terrengkorreksjoner vil i ethvert tilfelle bli å addere til Bouguer- anomalien. De vil derfor generelt løfte hele anomalien noe opp, men ulike meget, og for et par av målepunkterne ganske meget (eks. st. 1 profil I). Terrengkorreksjonene vil imidlertid ikke kunne forandre på det hovedinntrykk som anomaliene gir, men bør utføres ved alle nøyaktige undersøkelser som skal kunne ut i kvantitative beregninger av noe slag.

Det er foretatt tetthetsbestemmelser på prøver av KODALS-malmen hentet fra skjerp ved Andersbånn. Målingene ga i gjennomsnitt 4.11 g/cm^3 . Larvikittens egenvekt ligger erfaringsmessig noe i overkant av 2.70 g/cm^3 , mens nefelin-syenitter er noe lettere.

Ved den benyttede fremgangsmåte anslås den totale usikkerhet i målingene, eksklusive bidraget fra terrengeffekten, til ca. 0.05 mgal.

Tolkning av profilene.

De vedlagte residual - anomalier (profil I og II) er fremstilt ved å foreta en separering av Bouguer- anomalien i et regionalfelt og et residualfelt.

Regionalanomalien reflekterer de større geologiske trekk, residualanomalien de lokale inhomogeniteter i massefordelingen.

Begge residual- anomalier viser klare maksima (avmerket med a på begge profiler) over forekomstens utgående. Disse hovedanomalier som er på 1.35 mgal og 1.60 mgal, henholdsvis, er skarpe, dvs. karakterisert ved et høyt amplitude/bølgelengdeforhold. De viser liten skjevhet og indikerer derfor at forekomsten står meget steilt. Vinkelen kan estimeres og rent foreløpige overslag antyder at i profil I faller forekomsten i gjennomsnitt ca 74° mot S, mens i profil II faller forekomsten ca 85° mot N.

Hvis den antatte tetthetsdifferens på 1.4 g/cm^3 fastholdes, kan de gjennomsnittlige mektigheter ikke antas å overstige 15 m og 20 m i henholdsvis profil I og profil II. Virkelige kvantitative beregninger er ikke utført. Best egnet er profilmålingene ~~egnet~~ til å beregne mengden av den anomaliskapende masse.

Det ses videre at begge profiler, men først og fremst profil I, har en rekke mindre maksima og minima. Disse må i de fleste tilfeller tilskrives "noise" av forskjellige slag. Således representerer I_f antagelig masseunderskudd forårsaket av en myrstrekning, mens de positive anomalier I c og I d reflekterer mindre tetthetsøkninger i bergartene. Anomali I e og til dels I f er oppstått ved manglende terrengkorreksjon. Således er terrengkorreksjonen for st. 1 (som ligger ved foten av en bratt kulle) ca 0.65 mgal, hvilket fullstendig fjerner anomali I e.

Profil II som går i et jevnere terreng utenom myrer og koller, viser et langt roligere forløp. Anomali II c representerer sannsynligvis også lokale variasjoner i bergartstettheten, mens anomali I b og II b foreløpig er uklare med hensyn til årsak. Begge b-anomaliene befinner seg i forekomstens ligg og kan skyldes en paralleltløpende stripe av samme eller noe lavere tetthet som hovedforekomsten. Denne antagelsen støttes av det opptatte magnetiske kart over forekomsten.

Av disse to profiler kan en trekke følgende erfaringer:

- a. Forekomster av KODAL-typen gir klare gravimetriske maksima i de bergarter som er vanlige i området.
Dypereliggende forekomster gir mindre anomalier. En forekomst på 50 m dyp vil f.eks. gi et maksimalutslag på ca $\frac{1}{3}$ av utslaget for en tilsvarende forekomst som skjærer dagoverflaten.
- b. Valg av punktavstand på 75 m er tilstrekkelig til å få fatt i det karakteristiske ved en anomali over en forekomst som treffer dagoverflaten.
- c. Dypereliggende forekomster gir mindre anomalier med karakteristika som kan forveksles med dem som oppstår ved variasjoner i bergartstetthet o.l. Dette krever:

1. at punktavstanden ikke overstiger 50 m
2. at samtlige "mistenkelige" anomalier går nåye etter i felt ved geologiske og andre geofysiske metoder.
3. at det må foretas alle nødvendige korreksjoner inkludert terrengkorreksjoner for mest mulig å fjerne geologisk og topografisk "noise".

I tillegg skal det tilföyes at endringer i forekomstens retning i dypet er meget vanskelig å angi ved interpretasjon av isolerte profiler. Dette vil kunne bedres noe ved å legge ut et orthogonalt nett av profiler, noe som imidlertid vil medføre svært mange målinger i komplisert terreng. Meget bedre tolkningsmuligheter vil gis når det foreligger resultater fra andre geofysiske undersøkelser, spesielt magnetometriske og seismiske.

Utførelse av videre gravimetrisk målinger:

Prøveprofilene har gitt beskjed om at gravimetrisk metode er egnet over selve forekomsten, at metoden kan benyttes til beregning av gjennomsnittlig mektighet når tetthetsdifferensen antas kjent, men bør først og fremst anvendes til beregning av masse (tonnasje).

Gravimetri kan med hell benyttes i forlengelsen av forekomsten for å fastslå om noen dypereliggende fortsettelse av forekomsten eksisterer.

Gravimetri bør settes inn på konsentrerte områder der geologiske eller andre geofysiske metoder (sp.magnetometri) har indikert at det kan foreligge en forekomst.

Mer regional rekognosering i bestemte områder kan utføres ved å legge ut innbyrdes perpendikulære profiler i et kvadratisk grid. Ved en punkttetthet på ca 50 m skulle alle mistenkelige anomalier kunne innfanges. P.g.a. kravet om punkttetthet, terrengvanskeligheter (røfft lokalrelieff) og generelle omkostninger og det kolossale beregningsarbeide vil jeg ikke anbefale denne metoden for tungtveiende indikasjoner foreligger.

Som et rimeligere substitutt kan legges ut enkelte lange profiler hvor det er spesielt ønskelig og hvor terrenget er egnet.

Dette er i overensstemmelse med vanlig praksis å sette inn de gravimetrisk undersøkelser på konkrete prosjekt på et relativt sent stadium i prospekteringen når forekomsten er lokalisert eller omtrentlig angitt. Gravimetrien vil da kunne gi avgjørende kvantitativ beregningsgrunnlag. Kombinert med andre geofysiske metoder vil interpretationsmulighetene økes vesentlig. Mest økonomisk vil det være å satse på vekslende gravimetrisk og geologisk/magnetometrisk innsats (og seismikk) og øke innsatsen når områdene viser seg fortjent til det.

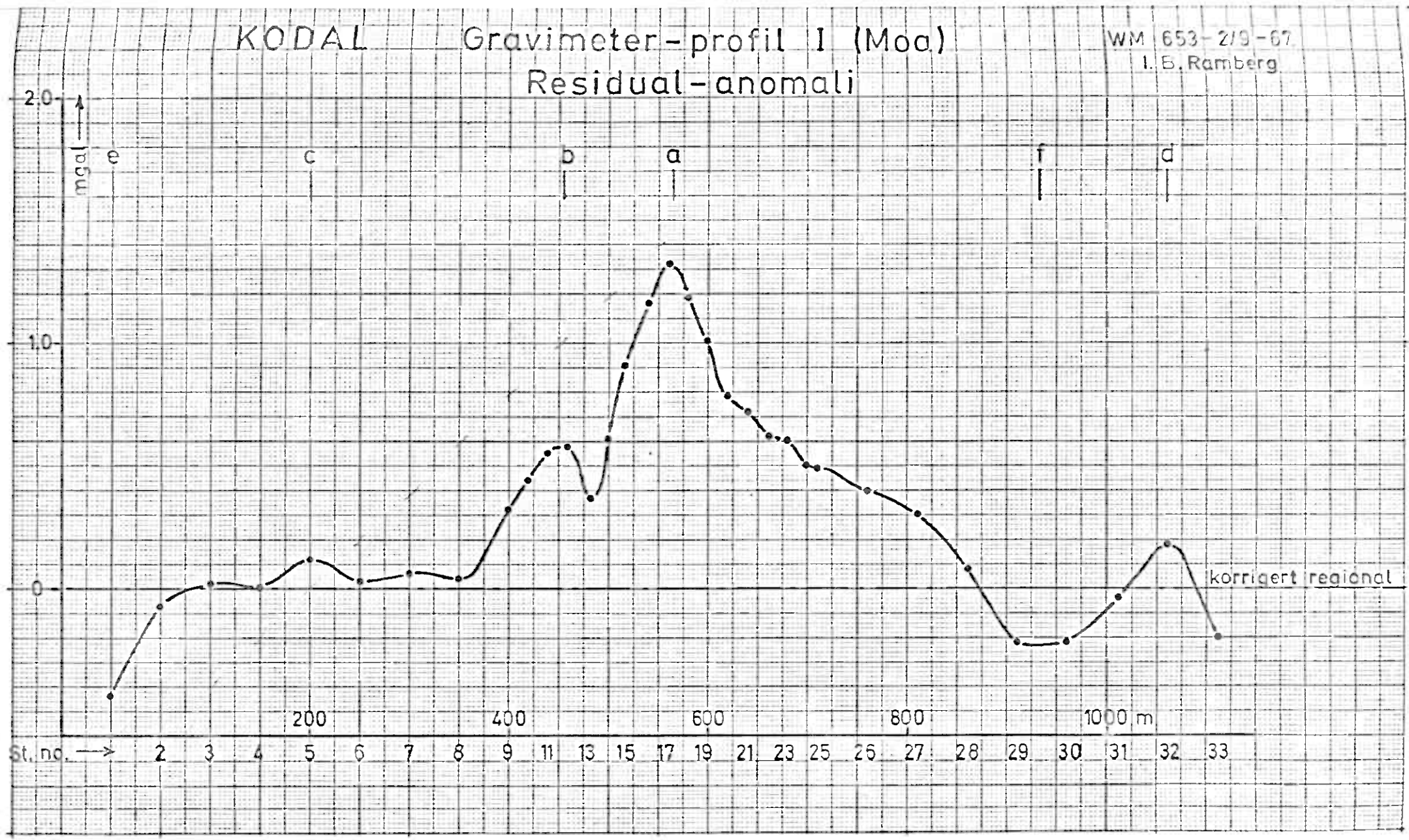
Gjennomføringen av gravimetriske målinger i prospekteringsøyemed forutsetter gode karter (M 1: 5000), at alle målepunkter nivelleres (en feilbestemmelse på 1 m gir et utslag på 0.2 mgal), og at det utføres nøyaktige korreksjoner. Lengere profiler krever lengere tid pr. profil - km enn kortere profiler p.g.a. målemetodikken.

Frank Rasmussen

KODAL

Gravimeter-profil I (Moa)
Residual-anomali

WM 653-2/9-67
I. B. Ramberg



KODAL Gravimeter-profil II (Andersbotten)
Residual-anomali

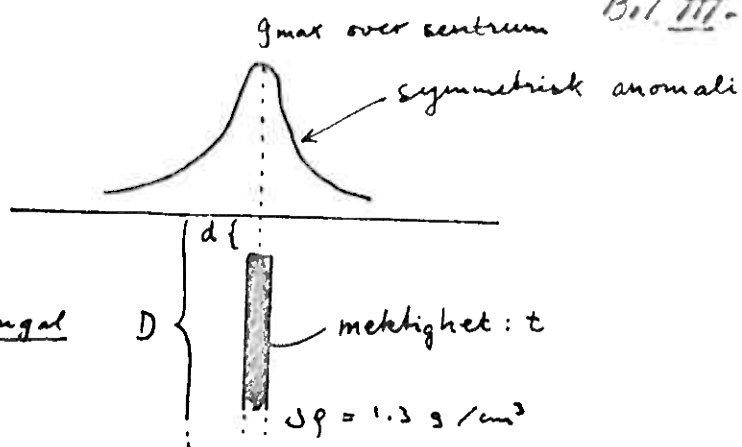
V/M 653 - 2/9 - 67.
I. B. Ramberg



En del regneeksempler:

Bl. III-a.

A. Vertikal-stående malmskropp



- Dersom $t = 10 \text{ m}$
 $d = 10 \text{ m}$
 $D = 200 \text{ m}$ er $g_{\text{max}} \approx \underline{0.6 \text{ mgal}}$
- Dersom $t = 10 \text{ m}$
 $d = 10 \text{ m}$
 $D = 1000 \text{ m}$ er $g_{\text{max}} \approx \underline{0.75 \text{ mgal}}$
- Dersom $t = 20 \text{ m}$
 $d = 10 \text{ m}$
 $D = 200 \text{ m}$ er $g_{\text{max}} \approx \underline{0.85 \text{ mgal}}$
- Dersom $t = 100 \text{ m}$
 $d = 10 \text{ m}$
 $D = 200 \text{ m}$ er $g_{\text{max}} \approx \underline{5.0 \text{ mgal}}$
- Dersom $t = 100 \text{ m}$
 $d = 10 \text{ m}$
 $D = 5000 \text{ m}$ er $g_{\text{max}} \approx \underline{9.0 \text{ mgal}}$
- Dersom $t = 10 \text{ m}$
 $d = 100 \text{ m}$
 $D = 1000 \text{ m}$ er $g_{\text{max}} \approx \underline{0.45 \text{ mgal}}$
- Dersom $t = 100 \text{ m}$
 $d = 100 \text{ m}$
 $D = 1000 \text{ m}$ er $g_{\text{max}} \approx \underline{3.3 \text{ mgal}}$
- Dersom $t = 10 \text{ m}$
 $d = 1000 \text{ m}$
 $D = 2000 \text{ m}$ er $g_{\text{max}} \approx \underline{0.1 \text{ mgal}}$
- Dersom $t = 100 \text{ m}$
 $d = 1000 \text{ m}$
 $D = 2000 \text{ m}$ er $g_{\text{max}} \approx \underline{2.2 \text{ mgal}}$

NB! Utregningene er kun basert på ett bestemt formelsett. Andre formelsett kan gi andre siffer, men størrelsesordenen endres ikke.

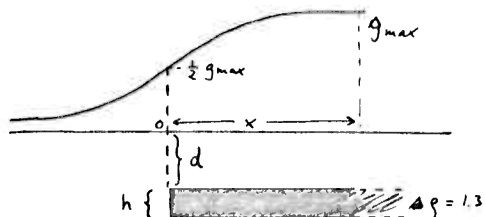
Utregningene gjelder kun maksimalverdiene for g . Det er viktig at også anomaliens form endres; når forekomsten ligger dypere vil anomaliene bli bredere og maksimalverdien bli vanskeligere å identifisere.

NB! Dersom forekomsten ikke står horisontalt vil anomaliene bli asymmetrisk, maksimalverdien forskyttes og reduceres. Når forekomsten danner en vinkel på 45° vil maksimalverdien være redusert til under det halve. Ved stadig flatere fall vil anomalietyper bli som vist på neste side.

I.R.

Regneeksempler:

B. Horizontal malinkropp (semi-infinite)



• Dersom $d/h = 1$

og $h = 10 \text{ m}$, så er $g_{\max} \approx \underline{0.45 \text{ mgal}}$ fra $x = 100 \text{ m}$ og ud
og $h = 100 \text{ m}$, " " $g_{\max} \approx \underline{4.5 \text{ mgal}}$ fra $x = 1000 \text{ m}$ " "

• Dersom $d/h = 10$

og $h = 1 \text{ m}$, så er $g_{\max} \approx \underline{0.03 \text{ mgal}}$ fra $x = 10 \text{ m}$ " "
 $h = 10 \text{ m}$, så er $g_{\max} \approx \underline{0.34 \text{ mgal}}$ fra $x = 100 \text{ m}$ " "
 $h = 100 \text{ m}$, så er $g_{\max} \approx \underline{3.4 \text{ mgal}}$ fra $x = 1000 \text{ m}$ " "

Det forespurgte ekstremtilfælde, dybde $d = 5000 \text{ m}$ og $h = 100 \text{ m}$,
gør $d/h = 50 \text{ m}$. Dette fører til $g_{\max}$ -verdier langt under den
praktiske målenøjagtighed som anslås til 0.1 mgal selv om
geologisk og topografisk "støj" fjernes effektivt.

I.R.