

Bergvesenet

Postboks 3021, 7002 Trondheim

Rapportarkivet

Bergvesenet rapport nr BV 3621	Intern Journal nr	Internt arkiv nr	Rapport lokalisering Trondheim	Gradering
Kommer fra ..arkiv	Ekstern rapport nr	Oversendt fra	Fortrolig pga	Fortrolig fra dato:
Tittel En undersøkelse av molybdenglans-føringen ved Knaben Gruber.				
Forfatter Fredheim, Per Helge		Dato 06.12 1971	Bedrift NTH	
Kommune Kvinesdal	Fylke Vest-Agder	Bergdistrikt Vestlandske	1: 50 000 kartblad	1: 250 000 kartblad
Fagområde Geologi	Dokument type		Forekomster	
Råstofftype Malm/metall	Emneord Mo			
Sammendrag				

OV 3621

DET STORE EKSAMENS-
ARBEIDE

MALMGEOLOGI
PER HELGE FREDHEIM

1971

D E T S T O R E E K S A M E N S A R B E I D E

I

M A L M G E O L O G I

Per Helge Fredheim

Desember 1971.

DET STORE EKSAMENSARBEIDE I FAGET MALMGEOLOGI
FOR
PER HELGE FREDHEIM.

EN UNDERSØKELSE AV MOLYBDENGLANS-FØRINGEN VED KNABEN GRUBER.

Foreta et studium over molybdenglans-føringen i Knaben II gruve og forsøk å bestemme mineralets kvalitative (evt. kvantitative) tilknytning til de forskjellige geologiske elementer i malmsonen. Forsøk å bestemme hvilket element(er) som er kontrollerende for molybdenglansføring og fastlegg dets (deres) orientering i rom.

Foreta på grunnlag av dette studium og av eksisterende arkivmateriale en kritisk bedømmelse av metodene som anvendes for å bestemme malmens tykkelser og gehalter og kom med eventuelle forslag til forbedringer.

Forsøk å oppdage eventuelle regelmessigheter i molybdenglansføring i forhold til malmkroppens dimensjoner.

F.M. Vokes /s/.

ERKLÆRING.

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

Trondheim, 6. desember 1971

Per Helge Fredheim

A handwritten signature in cursive script, reading "Per Helge Fredheim", written in dark ink.

FORORD

KORT SAMMENDRAG

1.	INNLEDNING	1
1.1.	Historikk	1
1.2.	Tidligere utførte geologiske arbeider	1
2.	GEOLOGISK OVERSIKT	3
2.1.	Kort om gruvefeltets geologi	3
2.2.	Kort beskrivelse av geologisk oversikts- kart over Knaben II-området	5
2.3.	Kort om tektonikk	5
2.3.1.	Sprekkesystemer	6
2.4.	Genetiske teorier	6
2.4.1.	A. Bugges teori	6
2.4.2.	Borchert's teori	8
3.	MOLYBDENGLANSFØRINGEN I KNABEN II GRUVE	10
3.1.	Innledning	10
3.1.1.	Malmtyper	10
3.2.	Opplegg for undersøkelsene foretatt i gruen	11
3.3.	Resultater av undersøkelsene foretatt i gruen	12
3.3.1.	Malmsonens bergarter	12
3.3.2.	Molybdenglansførende geologiske elementer	12
3.3.2.1.	Kvalitative forhold	12
3.3.2.1.1.	Kvartsganger og -linser	12
3.3.2.1.2.	Impregnasjoner i bergart	14
3.3.2.1.3.	Pegmatitter	15
3.3.2.1.4.	Aplitter	16
3.3.2.1.5.	Slepper	17
3.3.2.1.6.	Amifolittsoner	18
3.4.	Statistiske forhold	19
3.4.1.	På grunnlag av geologiske gruvekarter med beskrivelser	19
3.4.2.	På grunnlag av diamantborkjernebeskrivelser	20
3.4.3.	Begrensning ved det statistiske grunnlags- materiale	22
3.4.3.1.	Geologiske gruvekarter med beskrivelser	22
3.4.3.2.	Diamantborkjernebeskrivelser	22
3.4.4.	Kvalitativ konklusjon	23
3.4.5.	Kvantitative forhold	24
3.4.5.1.	Visuelle inntrykk fra gruen	24
3.4.5.2.	Geologiske gruvekarter med beskrivelser	25
3.4.5.3.	Inntrykk fra diamantborkjernebeskrivelser	24
3.4.5.4.	Analysefordelingskurve for MoS ₂ i bor- kjerner	26
3.4.5.5.	Kvantitativ konklusjon	26
3.4.6.	Kontrollerende elementer for molybdenglans- føringen	27

3.5.	Målinger av kontrollerende geologiske elementer	27
3.5.1.	Kvartsganger og kvartslinser	28
3.5.2.	Slepper	29
3.5.3.	Pegmatitter	29
3.5.4.	Endelig strøk og fall for molybdenglansførende elementer	30
3.6.	Tektonisk forklaring på kvartsgangers og sleppers dannelse	31
4.	BEDØMMELSE AV ANVENDTE METODER FOR BESTEMMELSE AV MALMENS TYKKELSE OG GEHALTER	34
4.1.	Innledning	34
4.2.	Anvendte metoder for fastsettelse av malmgrenser	34
4.2.1.	Begrensninger ved anvendte metoder	34
4.3.	Anvendte metoder for fastsettelse av gehalter	35
4.3.1.	Begrensninger ved anvendte metoder for fastsettelse av gehalter	35
4.4.	Vurdering av usikkerheter i forbindelse med borkjerneanalyser	36
4.4.1.	Analysefeil ved den kjemiske analyse	36
4.4.2.	Feil i forbindelse med prøvetakingsmetoden	38
4.4.3.	Feil påført beregningsresultatene ved utelukkelse av slamanalyser	39
4.4.4.	Begrensninger ved slamprøvetaking	42
4.5.	Undersøkelse av borhullsretningens betydning	43
4.6.	Sammenligning mellom profildata (borkjerneanalyser) og produksjonsdata	46
4.7.	Vurdering av metoder for bestemmelse av gehalter	49
5.	STATISTISK ANVENDELSE AV BORKJERNEANALYSER	52
5.1.	Gjennomsnittsgehalt, standard avvik og varians	53
5.2.	Frekvensfordeling av analyser	53
5.3.	Nødvendig antall analyser for å oppnå pålitelige gjennomsnittsgehalter	54
5.4.	Bortetthet i profiler	55
5.5.	Avstanden mellom borprofiler	57
5.6.	Cut-off-gehalt	59
5.6.1.	Forholdet mellom cut-off-gehalter og malm-mengder	61
6.	VURDERING AV MALMBRYTNINGSMETODER	63
7.	REGELMESSIGHETER I MOLYBDENGLANSFØRINGEN I FORHOLD TIL MALMKROPPENS DIMENSJONER	65
7.1.	Gehaltens forløp i profilblokker	66
7.1.1.	Vurdering av framgangsmåten	68
7.1.2.	Forslag til videre behandling	69
7.2.	Malmens mektighet i profiler	70
8.	SUMMARISK OVERSIKT OVER FORSLAG TIL FORBEDRING AV METODENE FOR BEREGNING AV GEHALTER OG MALMGRENSER	72
9.	LITTERATURHENVENDELSER	74

FORORD.

Det har i årene etter siste verdenskrig eksistert den utvikling innenfor de aller fleste industrigrener at kostnadssiden ved den daglige drift er blitt påført en stadig større økning i forhold til inntektsiden. Likeledes har den stadig stigende konkurransen på markedene ført til en tilspissing av den økonomiske situasjon. Alt dette har man som oftest kunne møte ved hjelp av stadig rasjonalisering og økt kontroll på alle stadier i produksjonsprosessen.

I gruveindustrien har dette for den enkelte gruvedrift ført til et stadig stigende behov etter å vite hva slags malm man driver på, - størrelse, gehalter og gehaltenes forløp i de aktuelle retninger. Hva som er malm og hva som ikke er malm, er spørsmål som stadig er aktuelle å stille.

Det store eksamensarbeide for mitt vedkommende er knyttet til A/S Knaben Molybdængruber som til daglig sliter med disse spørsmål, og oppgaven i den forbindelse er ment som et forsøk på å løse noen av de problemer som er tilknyttet disse spørsmål. Man har i den forbindelse tangert et relativt bredt problemregister.

Den foreliggende avhandling er basert på eksisterende arkivmateriale ved A/S Knaben Molybdængruber, egne observasjoner i gruen i Knaben II og støttelitteratur. Jeg har tolket oppgaven dithen at den rent geologiske del med de opplysninger jeg hentet fra arkivmateriale og ved egne undersøkelser i gruen, i tillegg til å være en del av avhandlingen, også skulle være grunnlaget for en vurdering av de metoder som har vært benyttet for å skaffe fram opplysninger om melmens økonomiske utstrekning, gehalter og gehaltenes forløp.

Jeg har ved vurderingen av disse anvendte metoder valgt å legge stor vekt på sider som har mindre preg av geologisk tenkemåte over seg, men som er av mer teknisk-økonomisk karakter. Dette er gjort av tre hovedgrunner:

1. Oppgavetekstens formulering setter ingen hindring for at man vurderer relevante problemer av ikke-geologisk karakter.
2. Det er etter min mening nødvendig med en bred vurdering, også av de sider som har ren teknisk-økonomisk betydning, da disse sider

etter min mening er relevante for oppgaven.

3. Det er et ønske fra A/S Knaben Molybdængrubers side at prøvetakingsmetoden og metodene for beregning av gehalter og malmgrenser blir underkastet en bred bedømmelse, slik at man om mulig kan ha et bedre grunnlag til å revurdere hvor man står økonomisk malm-messig.

Det gjøres oppmerksom på at alle beregninger er utført med regnestavs-nøyaktighet.

Jeg vil få takke direktør Limyr, geolog Gustavsen og driftsingeniør Mikkelsen ved A/S Knaben Molybdængruber for den hjelp og støtte som ble ydet meg under mitt opphold på Knaben.

Videre vil jeg takke professor Vokes og en rekke ubenevnte ansatte ved Geologisk Institutt og Institutt for gruvedrift ved NTH for den hjelpsomhet og forståelse som ble vist meg i forbindelse med teoretiske og praktiske problemer som dukket opp under utarbeidelsen av oppgaven.

Og sist, men ikke minst, vil jeg få takke vår avdelingsfullmektig Elin Trøften som påtok seg maskinskrivingen av den foreliggende avhandling.

KORT SAMMENDRAG.

Formålet og bakgrunnen for oppgaven er kort skissert opp i forordet. Første halvdel av avhandlingen omhandler den geologiske problematikk i gruvefeltet og gruven, mens andre halvdel inneholder vurderinger av anvendte metoder for beregning av gehalter og malmgrenser, og problematikken i forbindelse med forskjellige sider ved metodene som benyttes, og andre metoder. Til slutt behandles kvantitative forhold ved molybdenglansen i relasjon til malmkroppens dimensjoner.

Gruvefeltets geologi beskrives først i korthet, og de malmgenetiske teorier er nevnt. Malmsonens bergarter og de forskjellige molybdenglansførende geologiske elementer beskrives, og molybdenglansens tilknytningsform behandles både kvalitativt og kvantitativt. De kontrollerende elementer for molybdenglansføringen pekes også ut, og deres orientering i rom blir utpekt som hovedmineraliseringsretninger. Videre blir det også gitt en mulig tektonisk forklaring på dannelsen av kvartsganger og molybdenglansførende slepper.

Anvendte metoder for beregning av gehalter og malmgrenser beskrives og vurderes. Det blir lagt stor vekt på vurderingen av diamantboring som prøvetakingsmetode og de begrensninger man har i denne forbindelse, og likeså begrensninger i forbindelse med analysemetoden.

Nye metoder med utgangspunkt i statistikk blir behandlet, og de anvendte metoder blir også bedømt ved hjelp av statistikk.

Påvisning av lovmessigheter i molybdenglansføringen er i enkelthet forsøkt ved hjelp av kvantitative metoder ut fra borkjerneanalyser i profiler.

Eventuelle forslag til forbedrede metoder er som regel tatt med i konklusjonen under hvert enkelt aktuelt punkt. Til slutt er de aktuelle forslag satt opp summarisk under eget avsnitt.

1. INNLEDNING.

1.1. Historikk.

A/S Knaben Molybdængruber er for tiden den eneste produsent av molybdenglans i Vest-Europa, noe som har medført en gunstig markeds-situasjon for bedriften. Finansielt eies bedriften av det svenske Johnson-konsernet, og er et ledd i denne industrikjeden, slik at den totale molybdenglansproduksjon går til konsernets stålverk i Avesta, hvor man fremstiller spesielle stålkaliteter.

Molybdenglans har tidligere vært drevet på i flere gruver på Knabe-heia. Det kan her nevnes Lille-Knaben, Knaben I og Kvina gruver, hvor spesielt de to sistnevnte har hatt en relativt betydelig produksjon. Men siden 1955 har bare den nåværende Knaben II gruve vært i drift. Produksjonen i Knaben II er nå kommet opp i vel 300.000 tonn råmalm pr. år, medregnet dagbruddet, og utvunnet molybdenglanskonsentrat utgjør 450-500 tonn pr. år. Dette til-svarer en gjennomsnittlig MoS_2 -gehalt i råmalmen på ca. 0,180 % (1970). Hovedproblemet i forbindelse med gruvedriften i Knaben II er de lave MoS_2 -gehalter som faktisk befinner seg i nærheten av den marginale grense.

1.2. Tidligere utførte geologiske arbeider.

Det har tidligere vært utført sporadiske geologiske undersøkelses-arbeider ved Knaben, spesielt da av professorene J. Schetelig og A. Bugge, men disse arbeider har hatt mindre karakter av drifts-kontroll i forbindelse med gruvedriften. Et savn i denne for-bindelse har vært oversiktlige gruvekarter med beskrivelser. Dette forhold er det nå blitt en viss bedring i etter at professor F.M. Vokes i perioder gjennom de siste 10 år bl.a. har utført kartleggingsarbeider i aktuelle deler av Knaben II gruve. Disse arbeider må avgjort sies å være det hittil beste bidrag til en geologisk klarlegging av forholdene i gruen, i tillegg til de over 400 diamantborhull med kjernebeskrivelser som hovedsakelig er blitt oppboret i gruen i løpet av årene etter 1940.

Imidlertid har det ikke tidligere vært utført noen systematiske undersøkelsesarbeider med henblikk på å finne kvalitative og

kvantitative lovmessigheter i molybdenglansføringen i forhold til de eksisterende geologiske elementer i gruen. Det har heller ikke skriftlig vært foretatt noen bedømmelse av de beregningsmetoder som har vært anvendt for å bestemme malmens tykkelse og gealter i lys av de mulige lovmessigheter i molybdenglansføringen i gruen. Man har tidligere heller ikke beskrevet hvorvidt det eksisterer regelmessigheter i molybdenglansføringen i forhold til malmkroppens dimensjoner.

Den presserende situasjonen med de lave gealter har lenge gjort det ønskelig med et slikt undersøkelsesarbeide, og den foreliggende avhandling er ment som et forsøk på å oppfylle dette ønsket.

2. GEOLOGISK OVERSIKT.

2.1. Kort om gruvefeltets geologi.

Knaben gruber ligger i Telemark-suitens gneis-granittområde på Knabeheia i Kvinesdal og tilhører det syd-vest-norske grunnfjells-område. Hovedbergarten i Knabeheia er "rød-granitt" - en grov-kornig, forholdsvis massiv, rødlig, porfyrittisk gneisgranitt. Man finner en utpreget liniasjon og foliasjon i bergarten, men foliasjonen kan enkelte steder være vanskelig å bestemme. Strukturen i bergartene har strøk SSV-NNØ og fallet ØSØ, oftest varierende fra 20 til 40°.

De hittil største påviste konsentrasjoner av molybdenglans på Knabeheiene knytter seg til et ca. 6 km langt "fahlbåndparti" fra Kvina gruve i nord, sydover til den såkalte Hommen-forkastningen i Knaben II-området. Fahlbåndene er betegnelsen på kisleførende gneislag som i opptil 1 km bredde danner forgrenede bånd i det ovenfornevnte område. I gneisen, hvor fahlbåndene er dannet, kan man mange steder observere lange amfibolittbånd som tildels er biotittomvandlet. Det sees i disse amfibolittbånd ofte feltspatkrystaller som kan være samlet i slik mengde at båndene viser øyegneis-karakter.

Den bergart som har avgjort størst økonomisk betydning og som danner grunnlaget for molybdenglansproduksjonen i Knaben II, er en gråfarget gneisgranitt, kalt gangfjell. Bergarten har strøk og fall som faller sammen med hovedbergartene i området. I motsetning til rød-granitten som har sin spesielle farge fra et rikt innhold av rød mikrolin, er fargen til det mer lys-grå "gangfjell" bestemt av et betydelig fattigere innslag av rød mikroklin, mens derimot plagioklas ser ut til å være mer dominerende. I området ved Knaben II kommer gangfjellet til syne i dagen som den såkalte "gang-fjell-linsen", hvor den er blottet i en lengde av ca. 700 meter. Det er imidlertid blitt reist endel tvil om hvorvidt denne "gangfjell-linsen" er en kontinuerlig del av det øvrige molybdenglans-førende gangfjell som man finner på dypet i gruen, dels fordi molybdenglansgehaltene i "gangfjellslinsen" er mye jevnere og vanligvis

betraktelig høyere enn hva man finner nede i gruen, og dels fordi mineraliseringen av molybdenglans opptrer på en annen måte i "gangfjell-linsen" enn i gangfjellet lengre nede i gruen. I "gangfjell-linsen" opptrer mineraliseringen mer som en jevn impregnasjon med enkelte MoS_2 -førende kvartsganger, mens man i gruen finner at den opptrer hovedsakelig på kvartsganger, og at impregnasjonen i selve bergarten er svakere og mer ujevn.

Når det gjelder fahlbåndene som opptrer hyppig i området, finner man ofte at de representerer en bergart som har stor likhet med det gråfargede gangfjell både når det gjelder farge og mineralsammensetning, når man ser bort fra fahlbåndenes ofte rustne og forvitrede karakter som følge av oksyderte kismineraler. Det er ikke uvanlig at man i disse bånd finner molybdenglansmineralisering, ofte da i forbindelse med kvartsganger eller kvartslinser i de samme bånd.

I hovedbergartene rødgranitt og gangfjell eller "malmgranitt" har man i tillegg til fahlbånd, amfibolbånd og kvartsganger, også hyppig opptredende pegmatitter og aplitter. Pegmatittene opptrer ofte som uregelmessige ganger og linser og skjærer vanligvis bergartenes struktur, men man finner også enkelte tilfelle hvor de opptrer tilnærmet konformt med den øvrige bergartsstruktur. Dimensjonene varierer sterkt fra små linser med noen cm bredde til store uregelmessige ganger og linser på opptil flere meters bredde på det meste. Slike store pegmatitter finner man imidlertid relativt sjelden. Pegmatittene finner man omtrent like hyppig i rødgranitten som i den grå molybdenglansførende granitt, og mineralsammensetningen består vanligvis av feltspat, kvarts og biotitt. Sonering av mineralene er ikke observert i pegmatittene, og man kan klassifisere dem til den enkle typen, uten kompleks mineralogi.

Aplitt som lagerganger i granitten er alminnelig. Som regel opptrer de konformt med granittens parallellstruktur, men man kan også observere at enkelte skjærer skrått over granittens struktur under en liten vinkel. Tykkelsen varierer fra noen cm opp til flere meter mektige ganger. Årer og ganger av aplitt opptrer også inne i og ved grensen av den grå molybdenglansførende granitt. Aplitt

er en fellesbenevnelse på slike årer og ganger av både finkornig og grovkornig karakter, men som overhode ikke viser plan- eller liniasjons-struktur.

Kvartsganger og kvartslinser forekommer svært alminnelig, både i rødgranitten og den molybdenglansførende grågranitten, spesielt i den sistnevnte. Generelt kan man si at man finner disse kvarts-injeksjoner i hele den malmførende sone i Knabeheia, og de opptrer hovedsakelig parallelt skifriheten. Tykkelsen kan være fra et par cm opp til flere dm, og de er ofte svært utholdende etter strøket og kan følges sammenhengende opptil 1 km og mer (iflg. A. Bugge). Istedet for en lang sammenhengende gang finner man ofte et strøk av tynne langstrakte kvartslinser som kiler ut og avløser hverandre, ofte med litt sprang i nivået. Kvartsen er ofte røkkvarts, sjelden ren hvit melkekquarts.

2.2. Kort beskrivelse av geologisk oversiktskart over Knaben II-Området.

Bilag 1 gir en geologisk oversikt over gruveområdet ved Knaben II.. Tenker man seg et profil Ø-V gjennom dagbruddet, har man følgende bergarter fra vest mot øst:

1. Rødgranitt som inneholder endel aplittganger.
2. Grågranitt (gangfjell-linser), hvor produksjon i dagbrudd pågår.
3. Rødgranitt med amfibolitt-bånd og fahlbånd.
4. Amfibolrik rødgranitt-gneis av relativt sterk skifrig karakter.
5. Rødgranitt.

Det bør her også innskytes at man vanligvis har en mer og mindre bred sone med overgangsbergart mellom rødgranitt og den grå granitt. Skarpe grenser mellom disse to bergarter observeres mer sjelden.

2.3. Kort om tektonikk.

Som man ser av strøk- og fall-tegn på bilag 1, går det fram at strøket i bergartene er omtrent det samme for området uten store variasjoner. Selv om man nok har endel variasjon i strøk og fall, kan man vel neppe snakke om noen foldninger av bergartene i egentlig forstand. Foldeakser er umulig å påvise.

2.3.1. Sprekkesystemer.

Ut fra flybilder kan man iaktta minst tre hovedsprekkesystemer som gjør seg gjeldende i berggrunnen i og omkring området ved Knaben II gruve. Det ene har NØ-lig retning, det andre har NNO-lig retning, mens det tredje nærmest har retning N-S og tilnærmet følger bergartenes strøk. Fallet er relativt steiltstående for de to første, mens det for de N-S-strykende sprekker faller mere skrått, ca. $40-50^{\circ}$ mot øst.

Imidlertid ble det ikke foretatt noe nærmere studium av disse sprekkesystemer utover det å påvise deres eventuelle betydning for molybdenglansmineraliseringen. Dette vil jeg komme tilbake til siden.

2.4. Genetiske teorier.

For at den malmgeologiske problematikken i forbindelse med malmføringen i Knaben II gruve skal komme i et riktig lys, kan det være av betydning kort å komme inn på de genetiske teorier som her er framsatt.

Det hersker i det hele to teorier for malmforekomstens genese. Den første ble framkastet av J. Schetelig og senere stadfestet og offisielt formulert av A. Bugge. Den andre teorien lanseres av H. Borchert i et avsnitt i en artikkel som omhandler sammenhengen mellom lagergangforekomster, magmatisme og geotektonikk.

2.4.1. A. Bugges teori.

Denne teori går i korthet ut på at de gamle gneis- og gabbro-bergarter i området er oppbrutt av en yngre granitt som er injisert under trykk. Etter granittinjeksjonen har det så fulgt en inn-trengning av granittens yngste gangbergarter som er pegmatitt-, aplitt- og kvartsganger. Denne yngste gangdannelse har ført med seg sulfider, med molybdenglans som det mest fremtredende. Molybdenglansen kan enkelte steder observeres som mineral i pegmatitt og aplitt, men som oftest finnes den i forbindelse med kvartsgangene, og er følgelig avsatt som den siste mineralisering i den

pneumatolytiske-hydrotermale fase i erupsjonen.

Videre mener Bugge, ut fra de undersøkelser som han utførte i det store gneisområdet og i selve gruveområdet, på den tid han lanserte teorien, at den eldste bergart var en gneis tilhørende Bambleformasjonen. I denne gneisgruppe fantes granittiske og diorittiske bergarter samt gabbro-bergarter og amfibolitter. Tilstedeværende malmer var hovedsakelig jernmalm og nikkelmalm. Vest for en bruddlinje Kristiansand-Porsgrunn sank feltet ned i en veldig granittsmeltemasse, med den følge at det gamle gneisområde ble oppbrutt og gjennomvevet av granittganger. Enkelte steder er gneisområdet blitt omsmeltet og har helt eller delvis dannet en ny bergart sammen med granittsmelten, mens enkelte andre felter av Bambleformasjonen, f.eks. nikkelfeltet i Evje, er blitt bevart som veldig bruddstykker i granitten.

Når det gjelder den grå, molybdenglansførende "malmgranitt", mener Bugge at denne er å oppfatte som en begynnende greisendannelse av den røde granitt. Han støtter dette på bl.a. at kalkspat alltid synes å ledsage de litt større aggregater av molybdenglans, og at flusspat er observert ved en anledning. Kombinasjonen kalkspat-flusspat sammen med rikelige sekundære kvartsavsetninger blir betraktet som et bevis for at ertsimpregnasjonen i malmgranitten er sekundært tilført under en pneumatolytisk-hydrotermal fase, med tilhørende begynnende greisendannelse.

Konsekvensen av denne magmatiske dannelses teori må da være at sjansen for å finne molybdenglans skulle være tilstede på de områder i sonen hvor man har rikelige sekundære kvartsavsetninger. Det skulle også være grunn til å tro at malmsonen mot dypet skulle gi rike muligheter, i og med at molybdenglansbidraget i den nåværende malmforekomst kommer fra en rik kilde på dypet.

2.4.2. Borchert's teori.

Denne teori tar for seg muligheten for at molybdenglansen og de øvrige forekommende sulfider i det syd-norske grunnfjell kan være mobiliserte bidrag fra tidligere sedimentære formasjoner. Han peker i denne forbindelse på at molybden er et typisk sapropelittisk

element, i og med at det bl.a. er påvist anrikninger av molybden i en rekke skifre av "Kupferschiefer-typen" forskjellige steder i verden. Imidlertid vil neppe slike sekundære anrikninger av molybden i sedimenter med rikt organisk bidrag gi så høye gehalter at de i seg selv har økonomisk betydning.

Borchert mener å ha påvist at man i det sydlige Norge i virkeligheten finner alle overganger fra tynnspaltende krystalline skifre med MoS_2 -innhold som minner om Mansfelder Kupferschiefer, til de tydelig mer metamorfoserte typer med pegmatittiske mobilisater og grovkrystallin molybdenglans. Rekken ender til sist opp med en fullstendig granittisert bergart, som tildels har bibeholdt en svart gjennomskimrende bånding og lagvis molybdenglanstilknytning som minner om en opprinnelig sedimentær bergart.

Denne teori konkluderer med at molybdenglans i forskjellige større disseminerte forekomster, ofte sammen med kopperkis, er å tyde som et resultat av omsmeltede sapropellittiske bergarter hvor molybden så er anrikt ved mobilisering.

Konsekvensen av denne teori for Knaben II gruvers vedkommende vil neppe gi særlig lyse perspektiver for den fremtidige sikring av malmreserver. Molybdenglansens opptreden kan ut fra den ikke knyttes tilbake til noen bestemt kilde, men må ansees som fullstendig erratisk.

Hvilke av de to teorier som er den riktige, er på nåværende stadium vanskelig å uttale seg eksakt om. Til det har det vært utført for lite forskningsmessig arbeid når det gjelder området ved Knaben gruver. En omfattende og detaljert analyse av molybdenglansens konfigurasjon i og omkring malmforekomsten, kunne muligens gi et bidrag til løsning av disse problemer.

Et interessant poeng som kan være verdt å nevne i forbindelse med geneseteorier, har grunnlag i radioaktive målinger som er utført i gruver i Sverige og Norge de siste år. Målinger av radon og radondøtre i de fleste svenske gruver har vist svært høye verdier på disse elementer. De høyeste verdier er her målt i grunnfjellsbergarter som er klassifisert som primært eruptive.

I Norge har det siste året vært foretatt tilsvarende målinger i de aller fleste gruver. Resultatet er ennå ikke offentliggjort, men etter de opplysninger jeg har fått av bergingeniør Tom Myran, som har tatt initiativet til, og har vært med og ledet målingene i Norge, ligger den målte aktivitet av radon og radon-døtre generelt betraktelig lavere i Norge enn i Sverige. I Knaben II, f.eks. lå de gjennomsnittlige målte verdier på ca. 1/15 av de tilsvarende høyeste målte gjennomsnittsverdier i svenske gruver.

Da både Knaben II og de fleste svenske gruver ligger i grunnfjell, mener jeg at det er relevant å trekke sammenlikninger på dette punkt. Man har det faktum at Knaben II viser lave verdier av radon og radon-døtre, mens gruver i Sverige som ligger i grunnfjell av eruptiv opprinnelse, viser høye verdier av de samme elementer.

Man skal imidlertid være forsiktig med å trekke forhastede konklusjoner angående malmbergartenes genese i Knaben II ut fra dette. Andre forhold spiller også inn, bl.a. at målsettingen med de nevnte målinger var en annen enn å finne eventuell sammenheng mellom bergarters genese og aktivitet av radon og radon-døtre.

3. MOLYBDENGLANSFØRINGEN I KNABEN II GRUVE.

3.1. Innledning.

På grunn av den tvil som er reist om hvorvidt "gangfjell-linsen" er type-ekvivalent med den molybdenglansførende formasjon som man finner nede i Knaben II gruve og på grunn av at den malmformasjonen nede i gruve er tilknyttet størst interesse og aktualitet for den fremtidige drift, har jeg valgt å holde "gangfjell-linsen" og dagbruddet utenfor de undersøkelser og vurderinger som omfattes av den foreliggende avhandling. Man regner med at dagbruddet i løpet av de nærmeste få år vil utspille sin produksjonsmessige rolle, da man her begynner å nærme seg slutten på den tilgjengelige malm. Dette betyr at gruve etter hvert må påta seg den totale leveranse av råmalm, med de krav dette stiller til produksjonens størrelse, effektivitet og råmalmsgehalter.

3.1.1. Malmtyper.

Som nevnt i 3.1., mener man at gangfjell-linsen hovedsakelig representerer en annen malmtype enn det molybdenglansførende "gangfjell" man finner på dypet lenger mot sør, og som det idag drives underjords gruvedrift på. Malmtypene er følgende:

1.

Malmen i gangfjell-linsen er vesentlig en impregnasjonsmalm hvor molybdenglansen hovedsakelig opptrer jevnt dissiminert i bergarten. Man finner også relativt hyppig en mineraliseringsform som jeg vil betegne som "plateimpregnasjoner", dvs. at molybdenglansen danner opptil 1-2 mm tykke "plater" som tversover kan måle opptil 10 til 30 cm. Disse plater er oftest parallell gneis-strukturen i bergarten, og man kan ikke se at de har forbindelse med gjennomgående sprekker eller slepestrukturer.

I tillegg opptrer molybdenglans på N-S-strykende slepper og enkelte kvartsganger, samtlige med fall østover. Det ble hevdet fra driftshold at denne impregnasjons-malmtypen viser jevnt høyere analysegehalter for MoS_2 enn den andre malmtypen i gruve, uten at dette vil bli nærmere behandlet i denne avhandling.

2.

Malmen på dypet syd for gangjell-linsen betegnes som en kvarts-gangmalmtypen, idet en stor del av molybdenglansen her er knyttet til tallrike kvartsganger som hovedsakelig stryker N-S med fall østover. Borkjerneanalysene viser store variasjoner og gehaltene er vesentlig lavere her enn i gangfjell-linsen.

Bilag 3 viser lengdesnitt av gruen med de to malmtyper.

3.2. Opplegget for undersøkelsene foretatt i gruen.

Malmtypen under punkt 2 i 3.1.1. danner grunnlaget for de undersøkelser som ble foretatt i forbindelse med den foreliggende avhandling.

Undersøkelsene tok sikte på følgende punkter:

1. Klarlegging av molybdenglansens kvalitative tilknytning til de forskjellige geologiske elementer i malmsonen.
2. Forsøke å klarlegge molybdenglansens kvantitative forhold til de forskjellige geologiske elementer.
3. Klarlegge hvilket element, eventuelt hvilke elementer som kontrollerer molybdenglansføringen.
4. Påvise hvilke bergarter som favoriserer de molybdenglansførende geologiske elementer.
5. Forsøke å skaffe klarhet i de forskjellige geologiske elementers geometri i forhold til den omgivende bergarts struktur.
6. Foreta strøk- og fall-målinger av de molybdenglansførende elementer hvor dette er mulig.
7. Ut fra visuell bedømming forsøke å påvise eventuelle regelmessigheter i molybdenglansmineraliseringen i forhold til malmkroppens dimensjoner.
8. Skaffe en oversikt over hvordan brytningsmetodene blir gjennomført i praksis.

Bilag 2 viser et skjematisk, vertikalt lengdetverrsnitt av Knaben II grue, med angivelse av de deler av gruen hvor undersøkelsene ble foretatt.

3.3. Resultater av undersøkelsene foretatt i gruen.

3.3.1. Malmsonens bergarter.

Det viser seg at malmsonen, i økonomisk betydning, generelt kan lokaliseres til to bergartstyper:

1. Grå gneisgranitt (gangfjell), eller grågranitt.
2. Overgangsbergart mellom gangfjell og rød gneisgranitt.

Man finner sjelden molybdenglansmineralisering i rødgranitten, men det forekommer at slik mineralisering opptrer her som svak og spredt impregnasjon i bergarten, på kvartsganger eller på slepper. I slike tilfelle gjelder generelt at man da befinner seg like i nærheten, dvs. noen få meter fra gangfjell eller overgangsbergart. I ett tilfelle ble det funnet en molybdenglansrik sleppe 20-30 m inn i liggbergarten (rødgranitt), men dette var et enkeltstående tilfelle.

Det ble imidlertid slått fast at malmgrensene prinsippielt ikke kan settes lik grågranittens grenser, hverken økonomisk eller mineralogisk sett.

3.3.2. Molybdenglansførende geologiske elementer.

Molybdenglansen i gruen ble mer og mindre hyppig funnet å være tilknyttet følgende geologiske elementer:

1. Kvartsganger og kvartslinser
2. Bergarten (grågranitt og overgangsbergart) som impregnasjon.
3. Pegmatitter.
4. Aplitter.
5. Slepper.
6. Amfibolittsoner.

3.3.2.1. Kvalitative forhold.

3.3.2.1.1. Kvartsganger og -linser.

Disse opptrer med relativt stor hyppighet i grågranitten og overgangsbergarten mellom grå og rød granitt. I den røde granitt forekommer kvartsganger og -linser med betraktelig redusert hyppighet.

Inntrykket er at denne hyppighet avtar jo lenger inn i den røde granitten man beveger seg i retning bort fra den grå granitt og overgangsbergarten. Dette inntrykk støttes også av eksisterende geologiske gruvekart og borkjernebeskrivelser.

Molybdenglans opptrer svært ofte på kontakten mellom kvartsganger og kvartslinser og den omliggende bergart. Man finner den vanligvis som tynne små skjell som er parallelt eller subparallelt sammenvokst. MoS_2 kan være lokalt impregnert på kvartsgangkontakten i varierende mengde, fra enkeltkrystaller her og der, til tettere ansamlinger med varierende mellomrom. Molybdenglansen kan også danne et mer og mindre kontinuerlig belegg på kvartsgangene som kan følges over lange strekninger. Dette belegg kan variere fra under 1 mm til et par cm i tykkelse fra gang til gang, men også innenfor samme gang.

De mineraliserte kvartsganger varierer også i tykkelse fra gang til gang, og også tildels innenfor den enkelte gang, og dette innebærer variasjoner fra ca. 1 cm opp til ca. 0,5 m på det tykkeste. Dette store variasjonssprang i tykkelse forekommer imidlertid ikke innenfor den enkelte kvartsgang.

Kvartslinsene varierer fra ca. 1 cm til 20-30 cm i bredde, og fra 20-30 cm til 4-5 m i lengde.

Når det gjelder molybdenglansføringens mengde i forhold til kvartsgangenes tykkelse, eksisterer det bestemte inntrykk at jo tykkere kvartsgangen er, desto tykkere molybdenglansbelegg har man på grensene, og desto mere sammenhengende er det. Tykkelsen på molybdenbelegget overstiger imidlertid svært sjelden 2 cm.

Et interessant trekk ved molybdenglansens forhold til kvartsganger er at den som regel alltid opptrer på grensene til kvartsgangene, svært sjelden innen i selve kvartsen. Bare i enkelte av de tykkeste kvartsgangene er det observert molybdenglans inne i kvartsen da hovedsakelig som tynne bånd parallelt med selve gangen.

Kopperkis, svovelkis og magnetkis opptrer svært ofte inne i selve kvartsgangene og kvartslinsene, men mengdemessig er disse mineraler fullstendig underordnet molybdenglansen. Man ser heller aldri sammenvoksninger mellom molybdenglans og de andre sulfidene.

Kvartsgangene synes av og til å stå i kontakt med pegmatitter og aplitter. Man har f.eks. tilfeller hvor kvartsganger fortsetter der hvor en pegmatittgang slutter, eller omvendt. I slike tilfeller er det ikke uvanlig at kvartsgangen fører molybdenglans, mens pegmatittgangen ikke gjør det. Man støter også på tilfeller hvor fine årer av pegmatitt gjennomskjærer kvartsganger. Dette arter seg på en slik måte at det ikke alltid kan avgjøres om kvartsgangen eller pegmatittgangen er eldst. Det synes imidlertid å være en viss samtidighet.

Aplitt-linser kan enkelte ganger være omhyllet av kvartsganger, der hvor aplitten kiler ut i uregelmessige spisser, og kvartsgangene er gjerne molybdenførende fra der hvor de forlater spissene. - se bilag 5, fig. 6.

Når det gjelder kvartsgangenes forhold til strukturen i den omgivende bergart, kan man generelt si at kvartsgangene hovedsakelig synes å følge denne. Men i mange tilfeller ser man også at kvartsgangene skjærer bergartsstrukturen under forskjellige vinkler. Det ble ikke foretatt målinger av disse skjæringsvinkler, da bergartsstrukturen ofte kunne være vanskelig å bestemme eksakt. Kvartsgangene kan også gjøre uregelmessige buktinger uavhengig av den generelle struktur.

I bilagene 3,4,5,6,7,8, fig. 2,3,4,5,6,7,8,10 og 11 er kvartsganger forsøkt illustrert ved hjelp av enkle skisser og fotografier.

3.3.2.1.2. Impregnasjoner i bergart.

Med impregnasjon av molybdenglans i bergarten, siktes det til all mineralisering av dette mineral som er tilfeldig spredt i bergarten som enkeltkrystaller eller som små, spredte mineralaggregater hvor disse opptrer tilfeldig uten systematisk tilknytning til kvartsganger, pegmatitter, aplitter, slepper eller amfibolittsoner.

Det visuelle inntrykk fra gruveen er at slike molybdenglansimpregnasjoner forekommer svært spredt og at store variasjoner faktisk eksisterer fra meter til meter. Bergartene hvor man finner

impregnasjon er grågranitt, overgangsgranitt og rødgranitt. Dessuten opptrer enkelte aplitter med vanligvis svak, disseminert krystallisasjon av svært finkornige MoS_2 -krystaller. I rød-granitt har man mer sjelden impregnasjoner, og der hvor disse påtreffes, befinner man seg som regel nær grensen mot overgangsbergarten etter grågranitten. Disseminert molybdenglans påtreffes omtrent like hyppig i grågranitt som i overgangsbergart, men selv om disse er de rikeste bergarter i så måte, kan man også her ha områder på flere meters lengde hvor det visuelt ikke er mulig å påvise impregnasjon.

Generelt kan man si at molybdenglansimpregnasjoner forekommer på følgende tre måter:

1. Som spredte krystaller i bergarten, eller gjerne noen få mindre krystaller samlet her og der.
2. Som tynne striper, under 1 mm tykke og opptil noen få dm lange, parallelt med gneis-strukturen i bergarten. Diskontinuerlige striper kan av og til følges over noen få meter.
3. Som "plateimpregnasjon" hvor aggregater av molybdenglans-krystaller er arrangert subparallelt som 0,5-2 mm tykke plater, som etter den lengste dimensjonen kan være 5-15 cm i utstrekning. Platene er vanligvis parallell med den øvrige struktur og kan ikke sees å ha sammenheng med synlige sprekker eller slepper. Platene er heller ikke tilknyttet spesielt kvartsrike partier eller soner. Hyppigheten av denne impregnasjonsform er imidlertid ikke så stor her som i gangfjell-linsen.

3.3.2.1.3. Pegmatitter.

Pegmatitter opptrer både i grågranitt, overgangsgranitt og rødgranitt, tilsynelatende med samme hyppighet i de tre bergarter. De kan være konforme med den øvrige struktur, men dette gjelder som regel for mindre pegmatittlinser. Det mest vanlige er at pegmatittganger og linser skjærer bergartsstrukturen, uten at det er enkelt å avgjøre om det foreligger lovmessigheter med hensyn til deres orientering. Som nevnt opptrer pegmatittene som ganger og linser, med svært variable grenser og forløp. Dimensjonene er svært forskjellig, ofte også innenfor samme pegmatitt, men bredden varierer oftest innenfor området 0,1-1 m, mens lengden varierer innenfor langt større områder.

Pegmatittenes mineralogi er enkel med feltspat, kvarts og biotitt som hovedmineraler. Molybdenglans opptrer av og til, mens andre mineraler ikke er påtruffet visuelt. Det er ikke sjelden at pegmatitter går over i kvartsganger, og enkelte ganger er også selve pegmatitten omhyllet av kvartssoner.

Pegmatittenes rolle som molybdenglansførende element er fullstendig underordnet sett i forhold til kvartsgangene. Molybdenglans i pegmatitter påtreffes svært sjelden, og i slike tilfelle er da vanligvis molybdenglansen knyttet til kvartsmineraliseringen som både opptrer inne i og omhyllende pegmatitten. Det ser i det hele tatt ut som om kvartsinnholdet er bestemmende for hvorvidt pegmatitter er molybdenglansførende eller ikke.

Det karakteristiske for pegmatitter som fører molybdenglans er at denne opptrer som større og mindre aggregater spredt her og der hvor det finnes kvartsmineralisering. Man finner sjelden eller aldri utholdende bånd av MoS_2 inne i pegmatitter. Følgelig har man liten sikkerhet for at en pegmatitt som fører molybdenglans på en plass, fortsatt skal gjøre det på andre plasser, i de tilfeller hvor pegmatitten har større utstrekning. Man kan derfor ikke si at pegmatitter i seg selv representerer spesielle malmrike soner.

Molybdenglansførende pegmatitt er forsøkt illustrert i bilag 5, fig. 5 og i bilag 7, fig. 9.

3.3.2.1.4. Aplitter.

Aplitt er som tidligere nevnt en fellesbetegnelse på en gangbergartstype, fin- eller grov-kronet, med granulær tekstur, slik at bergarten er absolutt fri for liniasjonsstrukturer.

Etter de erfaringer som ble gjort, og etter eksisterende geologiske gruvekarter, forekommer aplitter som oftest ved heng- og ligg-grensene til grågranitten. Aplittenes strøkkretning er vanligvis den samme som for bergarten forøvrig, og for fallet gjelder noe tilsvarende. Mektigheten varierer fra ca. 10 cm opp til flere meter fra aplitt til aplitt, men innenfor samme gang er variasjonene betraktelig mindre.

Molybdenglans opptrer sporadisk i aplitter som impregnasjoner av små krystaller, oftest enkeltvis spredt jevnt utover. Dette innebærer i praksis at på langt nær alle aplitter inneholder molybdenglans, ut fra visuell bedømmelse. Et karakteristisk trekk for MoS₂-førende aplitter er imidlertid at molybdenglansen synes svært homogent fordelt uten noen spesielt anrikete soner. Et annet trekk ved aplitter er at enkelte av dem delvis kan være belagt med kvarts på grensene, og at kvartsen kan føre molybdenglans. Dette kan økonomisk sett være et vel så viktig trekk for de aplitter dette angår. Bilag 5, fig. 6 viser et slikt tilfelle hvor en aplitt har kvartsbelegg langs grensene.

3.3.2.1.5. Slepper.

De sprekkesystemer som er nevnt i 2.2.1. ble nøye undersøkt i gruen, for om mulig å påvise eventuell tilknytning til molybdenglansmineralisering. Undersøkelsene ga følgende erfaring av de opptredende sprekkesystemer:

1. De tre sprekkesystemer som er godt synlig på flyfoto, har ingen betydning for molybdenglansføringen.
2. Disse sprekkesystemer er imidlertid rike på leirmaterialer, også svelleleire. Dessuten forekommer også hyppig sekundære kopper- og jern-mineraler som malakitt og jernhydroksyd.
3. Sprekkene opptrer svært ofte som opptil flere meter brede soner bestående av mange parallelle sprekker, enkelte ganger også med breksjekarakter (råtasoner).
4. Det ble under disse undersøkelser påvist et 4. sprekkesystem med orientering tilnærmet lik bergartenes strøk og fall hovedsakelig 30-40° mot øst. Sprekker tilhørende dette system fører ofte molybdenglans i betydelige mengder, mens sekundære avsetninger av leirmaterialer, kopper- og jern-mineraler ikke ble påvist. Disse sprekker er klassifisert under kategorien "slepper" og benevnes senere under denne betegnelse.

Slepper med molybdenglansbelegg er påtruffet i den malmførende grågranitt og overgangsgranitten. Men også på et sted ca. 30 m inn i liggbergarten (rødgranitt) ble det observert en sleppe med rikt molybdenglansbelegg, og i tillegg endel impregnasjon i umiddelbar nærhet. Tykkelsen på molybdenglansføringen i slepper er fra ca. 0,1 mm til ca. 1 cm, og dette variasjonsområdet gjelder fra sleppe til sleppe, og innenfor én og samme sleppe.

Slepper kan også falle sammen med molybdenførende kvartsganger, men i slike tilfelle er de klassifisert under molybdenglansførende kvartsganger. Normalt har man ingen spesielle kvartsanrikninger i de slepper som fører molybdenglans.

Bilag 8 og 9, fig. 12, 13 og 14 viser fotografier av slepper med molybdenglans.

3.3.2.1.6. Amfibolittsoner.

Av disse er påvist to typer:

1.

Spredte, enkeltvis opptredende 0,5-25 cm brede bånd av amfibolitt som helt eller delvis er omvandlet til biotitt. De følger bergartstrukturen, og lengdeutstrekningen kan variere fra et par meter til flere ti-metre. Det er ikke direkte påvist molybdenglansføring i forbindelse med disse bånd, og det kan ikke innsees at de har noen betydning for den økonomiske mineralisering i området, selv om de forekommer relativt hyppig i både grågranitten, overgangsgranitten og rødgranitten.

2.

Av og til treffer man på 0,1-1 m brede soner av feltspatrik amfibolitt hvor amfibolen helt eller delvis er omvandlet til biotitt. I tillegg inneholder disse soner impregnasjoner av molybdenglans, kopperkis, svovelkis og magnetkis, og sonene har en mer utpreget skifrig karakter enn bergartene forøvrig. Et annet trekk som særpreger disse soner, er at de er omhylllet, eller innbakt i grågranitt, selv om den øvrige omliggende bergart er rødgranitt eller overgangsgranitt. Det mest nærliggende er å tolke disse soner som ekvivalente med de soner på dagoverflaten som A. Bugge benevner som "fahlbånd".

Man har inntrykk av at svovelkis, magnetkis og kopperkis er de dominerende sulfider i fahlbåndene, mens opptreden av molybdenglans forekommer mer spredt, ofte tilknyttet kvartsanrikninger med gang- eller linse-karakter.

Disse soner er i gruvekart-beskrivelsene kalt "skifer-rester".

3.4. Statistiske forhold.

De statistiske forhold når det gjelder molybdenglansens mineraliseringshyppighet i de forskjellige geologiske elementer, bygger på eksisterende arkivmateriale ved Knaben Molybdængruber. Følgende materiale ble lagt til grunn:

1. Geologiske gruvekart med beskrivelser (utført av F.M. Vokes).
2. Diamantborkjernebeskrivelser. Det ble her benyttet beskrivelser fra forskjellige deler av gruen, slik at resultatene skulle få størst mulig generell gyldighet.

3.4.1. På grunnlag av geologiske gruvekart med beskrivelser.

Her ble hver angitt mineralisering av molybdenglans benyttet og ført opp under de respektive geologiske elementer de er tilknyttet. Det er ikke tatt hensyn til den kvantitative siden ved mineraliseringen. Alle visuelt observerte molybdenglansmineraliseringer angitt på gruvekart er derfor tatt med.

Følgende resultater framkom:

Tabell 1.

	Ant. observasjoner Fordeling i %	
Kvartsganger og -linser	405	72,0
Impregnasjon i bergart	101	18,0
Slepper	43	7,6
Skifer-rester (Amfib.)	9	1,6
Aplitter	2	0,4
Pegmatitter	2	0,4
Tilsammen	562	100,0

Når det gjelder forholdet mellom molybdenglansførende elementer og den bergart disse opptrer i, kom man fram til følgende:

Tabell 2.

	Ant. observasjoner Fordeling i %	
Grågranitt og overg.granitt	450	84,3
Rødgranitt (heng og ligg)	84	15,7
Tilsammen	534	100,0

3.4.2. På grunnlag av diamantborkjernebeskrivelser.

57 diamantborkjerner er lagt til grunn for de følgende tall. Disse diamanborkjerner er hentet fra forskjellige nivå og profiler i gruen for å gi resultatene et mest mulig representativt grunnlag. Statistikken viser følgende fordeling av molybdenglans:

Tabell 3.

	Ant. observasjoner Fordeling i %	
Kvartsganger og -linser	738	34,1
Impregnasjon i bergart	1.310	60,6
Slepper	29	1,3
Pegmatitt	37	1,7
Aplitt	19	0,9
Skifer-rest (amfibolitt)	30	1,4
Tilsammen	2.163	100,0

Stikkprøver fra en rekke andre diamantborkjernebeskrivelser ble tatt, og resultatene fra disse lå i omtrent samme område, med hensyn til relativ fordeling, som resultatene i tabell 3 viser.

Når det gjelder molybdenglansmineraliserte elementer i forhold til den berhart disse befinner seg i, har man vanligvis bare opplysninger fra grågranitt og overgangsgranitt. Diamantboringene har som regel blitt stoppet så snart man har merket at man har

nådd fram til rødgranitten. Man sitter i så måte inne med sparsomme opplysninger herfra. Imidlertid peker de tilfeller hvor man med diamantboring har påtruffet molybdenmineraliseringer i rødgranitt, dithen at disse utgjør mindre enn 1 % av samtlige påtrufne mineraliseringer. Men man bør ta dette med det forbehold som den ovenfor nevnte begrensning tilsier.

For å få et tallmessig bilde av hvor viktige, eller hvor effektive de forskjellige geologiske elementer er med hensyn til molybden-glansmineraliseringen, kan det være av interesse å se på hvor stor andel av de enkelte elementer som er observert å føre molybden-glans. Slepper er holdt utenfor i denne forbindelse, da borkjernebeskrivelsene som regel bare rapporterer slepper som fører molybden-glans, hvilket ikke gir et riktig bilde av de reelle forhold. Likeså har man holdt impregnasjoner i bergart utenfor de følgende vurderinger.

Man har i tabell 4 benyttet seg av både geologiske gruvekart med beskrivelser og en rekke tilfeldig valgte diamantborkjernebeskrivelser fra borhull på forskjellige nivå og profiler i gruen.

Tabell 4.

Element	Med MoS_2	Uten MoS_2	Tilsammen	% Med MoS_2
Kvartsganger	856 (92,1%)	514	1.370	62,5
Pegmatitter	29 (3,1%)	345	374	7,8
Aplitter	21 (2,2%)	59	80	26,3
Amfibolitter	24 (2,6%)	15	39	61,5
Sum observasj.	930 (100 %)	933	1.863	50,0

3.4.3. Begrensninger ved det statistiske grunnlagsmateriale.

Dersom man sammenligner resultatene i tabell 1 og tabell 3, finner man at den prosentvise fordeling av de forskjellige molybdenførende geologiske elementer viser tildels svært forskjellige tall. Årsaken til dette ligger sannsynligvis i begrensninger i de to typer grunnlagsmateriale som er brukt og at disse to typer grunnlagsmateriale innebærer to vidt forskjellige måter å observere detaljerte geologiske trekk på. Dette skal behandles litt nærmere.

3.4.3.1. Geologiske gruvekart med beskrivelser.

Følgende begrensninger gjør seg her gjeldende:

1. Subjektive vurderinger under selve kartleggingen (eks. hva er verdt å ta med på kartet?).
2. Subjektiv tolkning av de gruvegeologiske kart under utarbeidelse av statistikk.
3. Vanskelig å observere samtlige av de minste detaljer under kartleggingen i gruen på grunn av støv og skitt på veggene, selv etter vasking.
4. Under kartleggingen får man ofte bare et to-dimensjonalt inntrykk av bergartene.

En naturlig konsekvens av disse begrensninger blir bl.a. at man neppe får med alle detaljerte mineraliseringer av molybdenglans på et gruvekart, og at de mineraliseringer som er blitt påtegnet i enkelte tilfelle kan bli feiltolket med hensyn til hvilket geologisk element de representerer.

3.4.3.2. Diamantborkjernebeskrivelser.

Følgende begrensninger gjør seg gjeldende her:

1. Kjernetap. Spesielt i forbindelse med slepper og svakere soner gjør dette seg gjeldende. Beskrivelsene sier ingen ting om hvor slike tap finner sted.
2. Subjektiv vurderinger under beskrivelsen.
3. Beskrivelsene er for det meste utført av flere personer, de fleste uten spesiell geologisk bakgrunn, f.eks. stigere. På forespørsel oppga f.eks. en stiger at han hadde beskrevet alle bergarter som inneholdt molybdenglansmineralisering, som gangbergart (grågranitt).

Når det gjelder mulighetene til å observere geologiske detaljer, så er disse betydelig bedre når det gjelder borkjerner enn ved vanlig gruvekartlegging i støvbelagte orter, først og fremst fordi man har rene flater å betrakte og fordi man får et tre-dimensjonalt inntrykk av bergartene.

Ved å sammenligne tabell 1 og 3 ser man at spesielt forholdet mellom kvartsganger, impregnasjoner og slepper er forskjøvet i de to tabeller, mens de øvrige elementer viser omtrent samme tall.

Når det gjelder forskyvningen for kvartsganger og impregnasjoner, ligger det nær å tro at dette først og fremst skyldes at man har observert relativt flere impregnasjoner i borkjerner enn ved direkte gruvekartlegging. Dette skyldes igjen det faktum at man i en borkjerne er istand til å påvise selv den minste impregnasjon, mens dette er vanskelig nede i en gruve under vanlige forhold. Dermed har impregnasjoner oppnådd et større prosentforhold i tabell 3 enn i tabell 1, på bekostning av kvartsganger.

Når det gjelder slepper som i tabell 3 viser et lavere tall enn i tabell 1, reelt sett, kommer dette muligens av at slepper i borkjerner er mistet som kjernetap. Dette er imidlertid vanskelig å fastslå eksakt, da bevismaterialet for dette er gått tapt.

3.4.4. Kvalitativ konklusjon.

Med utgangspunkt i tabellene 1,2,3 og 4 har man et visst grunnlag for å kunne trekke en konklusjon med hensyn på molybdenglansens kvalitative tilknytning til forskjellige geologiske elementer i malmsonen.

Tabell 1 viser at molybdenglansen i klart største grad er tilknyttet kvartsganger, mens den dernest opptrer hyppigst som vanlig bergartsimpregnasjon. Nå bør man her ha klart for seg at man ved gruvekartlegging, som tabell 1 representerer, neppe får med seg enhver liten impregnasjon som finnes på det kartlagte området. Det er gjerne de større impregnasjoner av MoS_2 man er istand til å oppdage under slike forhold. På dette grunnlag er det fristende å anta at tabell 1 mer gir uttrykk for kvantitative forhold når det gjelder molybdenglansens tilknytningsform.

I diamantborkjerner har man langt bedre muligheter til også å påvise svært små impregnasjoner, og man ser også i tabell 3 at impregnasjoner i bergart har overtatt som det viktigste tilknytningsselement for molybdenglans, nettopp som følge av dette faktum. Ut fra dette skulle tabell 3 gi det mest representative bilde av molybdenglansens kvalitative tilknytning til de forskjellige geologiske elementer, og de relative forhold som tabell 3 gir uttrykk for, skulle da være gjeldende.

En annen viktig konklusjon som fremkomer under de kvalitative undersøkelser, er at malmgrensene ikke kan defineres ut fra grågranittens eller overgangsgranittens grenser, men ofte må trekkes også inne i rødgranitten. Dette er en viktig erkjennelse som bør tas hensyn til under de fremtidige diamantboringer i gruen.

3.4.5. Kvantitative forhold.

Som grunnlag for vurdering av disse forhold er benyttet følgende.

1. Visuelle inntrykk fra gruen med hensyn på molybdenglansens kvantitative tilknytning til de forskjellige geologiske elementer.
2. Geologiske gruvekart med beskrivelser.
3. Inntrykk fra diamantborkjernebeskrivelser med påtegnede kjemiske analyser for MoS_2 .
4. Analysefordelingskurve for MoS_2 i borkjerner, bilag 20 og bilag 10.

3.4.5.1. Visuelle inntrykk fra gruen.

Det ble her forsøkt med en systematisk nedtegning av de kvantitative trekk ved molybdenglansens tilknytningsform, men dette ble tidlig oppgitt da mer og mindre tykke støvbelegg i strosser og orter gjorde en slik fremgangsmåte vanskelig. Svært ofte var det bare de sterkt molybdenglansmineraliserte områder som lot seg oppdage, såfremt ikke storstilt vannspyling av vegger ble foretatt.

Imidlertid var forholdene på denne måten gunstige for å fastlegge de kvantitativt største MoS_2 -mineraliseringer og hvilke geologiske elementer de var tilknyttet. Det avgjorte hovedinntrykk var at

kvartsganger førte de største mengder molybdenglans, og deres store antall gir grunn til å anta at kvartsgangene muligens er bærere av størsteparten av det totale kvantum MoS_2 i malmen.

Dernest var inntrykket at vanlige bergartsimpregnasjoner står for den nest største andel av molybdenglansen, ikke minst på grunn av deres relativt store hyppighet. Herunder regnes også impregnasjoner i aplitter med, da disse i sin natur regnes å stå på lik linje med vanlige bergartsimpregnasjoner. A. Bugges påstand om at aplitter i seg selv skulle være kontrollerende for molybdenglansføringen, kan ikke innsees å gjelde her.

Videre må slepper komme som nummer tre på den kvantitative listen over molybdenglansførende elementer, mens de resterende må regnes som underordnede i denne sammenheng.

3.4.5.2. Geologiske gruvekart med beskrivelser.

Disse baserer seg i hovedsaken på de samme forutsetninger som under 3.4.5.1., men her har man i større utstrekning benyttet seg av forutgående vannspyling av de kartlagte områdene. Imidlertid er de resulterende inntrykk de samme her som under 3.4.5.1.

3.4.5.3. Inntrykk fra diamantborkjernebeskrivelser.

Det ble forsøkt å korrelere borkjerneloggene med de tilhørende kjemiske analyser med hensyn på MoS_2 -innhold, men det viste seg svært vanskelig å få noe eksakt kvantitativt bilde av de forskjellige geologiske elementers molybdenglansføring. Årsaken til det er først og fremst at hver kjemiske analyse representerer en borkjernelengde på 3 meter, hvilket innebærer at man oftest har mer enn ett geologisk element innenfor hver analyse. Spesielt for kvartsganger, pegmatitter, slepper og amfibolitters vedkommende forekommer som regel vanlige bergartsimpregnasjoner i tillegg innenfor hver 3-meter borkjerne. Dette gjør at det er vanskelig å få et eksakt begrep for det enkelte geologiske elements betydning for den kvantitative molybdenglansføring.

Imidlertid har man her et visst grunnlag for å gjøre seg opp en subjektiv vurdering av forholdene. Man ser f.eks. at analyse-

verdiene som regel gjør et kraftig hopp oppover så fort man har en eller flere kvartsganger innenfor en analyse. Ettersom kvartsganger forekommer relativt hyppig, fristes man til å anta at størstedelen av molybdenglans i malmen føres av disse. Nå skal man imidlertid ikke se bort fra at vanlige impregnasjoner som utgjør et betraktelig større antall enn kvartsganger, kan representere en større andel av den totale molybdenglansmengde.

Det er på dette grunnlag vanskelig å ta et endelig standpunkt til hvorvidt kvartsganger eller bergartsimpregnasjoner representerer den største andel molybdenglans.

3.4.5.4. Analysefordelingskurve for MoS_2 i borkjerner.

Denne kurven er oppført i bilag 20. Dersom man gjør denne kurven om til en kurve for kummulativ frekvensfordeling, får man en kurve slik som vist i bilag. 10. I dette bilag har man eksempelvis satt at impregnasjoner representerer området 0,000 - 0,100 % MoS_2 , og kvartsganger og slepper representerer området fra 0,040 % MoS_2 og oppover. Det er rimelig å anta at de virkelige områder ikke avviker svært langt fra de som er foreslått i bilag 10. Fra fordelingskurven i bilag 20 ser man at modalverdien tilsvarende 0,065 % MoS_2 . Dersom man bruker denne verdi som grense mellom impregnasjoner og kvartsganger, kan man si at impregnasjonene utgjør 48 % av det samlede antall analyser. Dette betyr i virkeligheten at 48 % av malmen utgjøres av impregnasjoner. Resten av malmen utgjøres av molybdenglans knyttet til kvartsganger og slepper.

3.4.5.5. Kvantitativ konklusjon.

Den endelige konklusjon ut fra vurderingene foran innbefatter ikke tallmessige begreper for molybdenglansens tilknytning til de forskjellige geologiske elementer. Grunnlagsmaterialet er i det hele tatt for spinkelt til det.

Dersom man skulle oppnå mere eksakte tall for de kvantitative forhold, måtte man ha borkjerner tilgjengelige slik at man kunne foreta selektive målinger av molybdenglansens tilknytningselementer og videre selektive kjemiske analyser. Tilgjengelige borkjerner forelå

imidlertid ikke i det tidsrom disse undersøkelser pågikk ved Knaben II.

Man kan dog på grunnlag av vurderingene som er foretatt si at kvartsganger har omtrent samme kvantitative betydning som bergarts-impregnasjoner når det gjelder totalt molybdenglansinnhold. Molybdenglansførende slepper har også en viss kvantitativ betydning, mens de øvrige geologiske elementer er av underordnet betydning i så måte.

3.4.6. Kontrollerende elementer for molybdenglansføringen.

Med kontrollerende elementer for molybdenglansføringen forstås her de geologiske elementer som har som karakteristisk trekk at de generelt fører større konsentrasjoner av molybdenglans enn det som er vanlig for bergarten forøvrig. Man ser altså her bort fra den malmholdige bergart i seg selv som eventuelt kontrollerende element.

De geologiske elementer som oppfyller disse kriterier, er følgende etter deres kvalitative og kvantitative omfang:

1. Kvartsganger og kvartslinser,
2. Molybdenglansførende slepper.

Pegmatitter, aplitter og amfibolittsoner kan ikke innsees å oppfylle de nevnte krav til kontrollerende elementer, da de generelt ikke kan sies å føre konsentrasjoner av molybdenglans som er større enn konsentrasjonene i den omliggende bergart.

3.5. Målinger av kontrollerende geologiske elementer.

Det ble foretatt strøk- og fall-målinger av kvartsganger, kvartslinser, molybdenglansførende slepper og pegmatitter der hvor dette lot seg gjøre. Hensikten med disse målinger var å påvise eventuelle lovmessigheter ved disse elementers orientering i rom, og ut fra dette forsøke å påvise de retninger som de respektive elementdannende tektoniske krefter har virket i.

3.5.1. Kvartsganger og kvartslinser.

Da disse representerer det hyppigst forekommende element i malmsonen, er det naturlig at det var mulig å ta flest målinger av disse. De 175 målinger som ble tatt, er hentet fra de deler av gruvnen som er angitt i bilag 2.

Målingene ble plottet på Schmidt nett. Strøket varierer mellom $N 40^{\circ}V$ og $N 90^{\circ}\emptyset$, altså et variasjonsområde på 130° . Fallet varierer mellom ytterverdiene 5° og 85° , alle mot øst. Fallets variasjonsområde er totalt 80° . Videre har man at både strøk og fall er relativt jevnt spredt i området mellom $0^{\circ}N$ og $N 60^{\circ}\emptyset$ for strøkets vedkommende, og mellom $20^{\circ}\emptyset$ og $50^{\circ}\emptyset$ for fallets vedkommende. Utenfor disse områder har man de tildels ekstreme ytterverdier.

Bilagene 11 og 12 viser kvartsganger og kvartslinser plottet på Schmidt nett, hvor de plottede punkter er skjæringspunktene mellom normalene til plan gjennom kvartsgangene og kvartslinsene, og undersiden av kuleskallet. Punktene viser i fig. 12 størst tetthet rundt et punkt som tilsvarer et strøk ca. $N 24^{\circ}\emptyset$ og fall ca. $31^{\circ}\emptyset$. Dette punkt representerer en modalverdi for det samlede antall strøk og fall tatt av kvartsganger, dvs. at det angir det punkt hvor hyppigheten av en spesiell strøk- og fallverdi er størst. Imidlertid trenger ikke dette punkt nødvendigvis å representere det gjennomsnittlige strøk og fall. Etter min mening er det riktigst å la det gjennomsnittlige strøk og fall representere det samlede antall målinger, da gjennomsnittsverdien er det aritmetiske tyngdepunktet for disse.

For å få eliminert ekstreme ytterverdier er det her naturlig å ta gjennomsnittet av de interkvartile områder. Dette vil si at man ser bort fra 25 % av det samlede antall verdier som viser de laveste tall, og tilsvarende 25 % som viser de høyeste tall. Man bør samtidig her være klar over at man med dette har foretatt en viss tilnærming. På grunnlag av de interkvartile områder kan man så regne ut "gjennomsnittlige" verdier for strøk og fall, som man her kan kalle hovedstrøk og hovedfall for kvartsganger og kvartslinser.

Hovedstrøk og hovedfall blir her bare påvirket av målte verdier i området henholdsvis N 10° Ø til N 60° Ø og 24° Ø til 36° Ø.

Ut fra dette får man:

Hovedstrøk: N 29° Ø, Hovedfall: 31° Ø.

3.5.2. Slepper.

Det ble foretatt 28 målinger av molybdenglansførende slepper. Disse er plottet på Schmidt nett slik som vist i figurene 13 og 14 på samme måte som målingene for kvartsganger.

Sleppenes strøk varierer fra N 72° V til N 76° Ø med et tyngdepunkt omtrent i N-S-retningen. Dette gir et variasjonsområde på 148° . Sleppenes fall varierer fra 2° Ø til 68° Ø, dvs. et variasjonsområde på 66° .

Når det gjelder beregninger av sleppenes hovedstrøk og hovedfall, gjør de samme retningslinjer seg gjeldende som under 3.5.1. Det interkvartile området for strøket blir dermed fra N 1° Ø til N 25° Ø og for fallet fra 33° Ø til 45° Ø.

Dette gir:

Hovedstrøk: N 16° Ø Hovedfall: 39° Ø.

3.5.3. Pegmatitter.

Disse forekom relativt hyppig, men førte ytterst sjelden påviselig molybdenglans. Tre tilfeller hvor pegmatitter førte molybdenglans ble imidlertid målt. Resultatet foreligger i bilag 13 sammen med slepper:

Gj.sn. strøk: N 2° V Gj.sn. fall: 34° Ø

Da pegmatitter må regnes som underordnet med hensyn på den kvantitative molybdenglansføring, vil ikke disse målinger få noen innflytelse på de totale verdier for strøk og fall.

3.5.4. Endelig strøk og fall for molybdenglansførende elementer.

Det endelige hovedstrøk og hovedfall blir et samlet resultat av hovedstrøk og hovedfall for kvartsganger og slepper. Forskjellen i hovedstrøk er 13° og i hovedfall 8° .

For å komme frem til de tilnærmet riktige verdier for det endelige hovedstrøk og fall har man her benyttet seg av relasjonene i tabell 3 for å få fram de riktige interpolasjoner. I tabell 3 utgjør kvartsganger 34,1 % og slepper 1,3 %.

Sleppers innvirkning på kvartsgangenes hovedstrøk:

$$\frac{-13^{\circ} \cdot 1,3}{34,1 + 1,3} = -0,5^{\circ}.$$

Sleppers innvirkning på kvartsgangenes hovedfall:

$$\frac{8 \cdot 1,3}{34,1 + 1,3} = 0,3^{\circ}.$$

Disse innvirkninger er så små at man i realiteten kan anse kvartsgangenes hovedstrøk og fall som det endelige hovedstrøk og hovedfall for de molybdenglansførende geologiske elementer.

Altså:

Endelig hovedstrøk er $N 29^{\circ} \emptyset$

Endelig hovedfall er 31° mot øst.

Standardavvik på hovedstrøk er $\pm 26,03^{\circ}$.

Dette gir 95 % sannsynlighet for at hovedstrøket er $N 29^{\circ} \emptyset \pm 3,66^{\circ}$.
=====

Standardavvik på hovedfallet er $\pm 12,36^{\circ}$.

Dette gir 95 % sannsynlighet for at hovedfallet er $31^{\circ} \emptyset \pm 1,74^{\circ}$.
=====

Man skal merke seg at det endelige hovedstrøk skjærer gruven diamantbore-profiler under en vinkel på $88,5^{\circ}$. Dette vil i praksis si at profilene skjærer hovedstrøket tilnærmet vinkelrett.

3.6. Tektonisk forklaring på kvartsgangers og sleppers dannelse.

1. Molybdenglansførende kvartsganger og slepper ansees som epigenetiske dannelser.
2. Deres orientering i rom faller nokså nær sammen.
3. Det er nærliggende å tro at de tektoniske krefter som har forårsaket de mineraliseringskontrollerende strukturer har hatt retninger som nær har vært de samme.

Når det gjelder dannelsesrekkefølgen for kvartsganger og slepper, er det grunn til å tro at kvartsganger ble først dannet. Dette baseres hovedsakelig på to ting:

1.

Slepper kan i flere tilfelle sees å ha sitt glideplan i den MoS_2 -mineraliserte grenseflaten til kvartsganger, som i seg selv representerer en svakhetssone. Det skal i parentes her nevnes at denne kategorien slepper ikke omfattes av de strøk- og fall-målinger som er utført på molybdenglansførende slepper, da molybdenglans i dette tilfelle først og fremst ansees å være knyttet til de tilstøtende kvartsganger.

2.

De molybdenglansførende slepper er prinsippielt fri for spesiell kvartsmineralisering. Det vil være naturlig å anta at også disse slepper ville føre rikelig med kvarts dersom de var dannet før kvartsgangene.

Nå skal det også tilføyes at det ikke ble observert MoS_2 -førende slepper som skar over kvartsganger, men til gjengjeld ble heller ikke det omvendte observert. Dermed er det ut fra dette ikke mulig å si noe om disse elementers relative alder.

Den foreløbige konklusjon må da bli at kvartsgangene og sleppene som det her gjelder, må være dannet i to perioder av omtrent samme tektoniske krefter. Kvartsgangene er da dannet i en periode med kvartsrik hydrotermal virksomhet, mens sleppene er dannet uten det kvartsrike bidrag.

Bilag 15 viser skjematisk kvartsganger sett i forskjellige retninger

slik de ofte synes å opptre. Det er også tegnet på piler som viser de tilhørende skjærkrefters antatte retninger.

Når man skal tolke de tektoniske krefter som har ført til dannelsen av de strukturer hvor kvarts siden har avsatt seg i ganger, bør man samtidig være klar over at de bergarter det her er snakk om, har mekaniske egenskaper som er lite homogene. Dette gir seg spesielt til kjenne i enkelte kvartsganger og kvartslinser med orienteringer som ikke passer inn i det øvrige mønster. Det er imidlertid trolig at de kvartsganger som er skissert i bilag 15 er representative, da det mønster de viser til stadighet gjentar seg på forskjellige steder i gruen.

De skjærkrefter som har dannet de åpninger som siden er blitt fylt med kvarts er, ut fra en mekanisk forklaring, prinsippielt forårsaket av hovedspenninger som har hatt en vertikal og en horisontal komponent. Det er videre grunn til å tro at den horisontale kraft har hatt retning vinkelrett på kvartsgangenes hovedstrøk, og at den er blitt påført fra VNV. Dersom man tenker seg at denne horisontale kraften forsøker å dreie bergartene mot ØSØ om en N-S-gående horisontal akse på dypet, så vil man oppnå skjærspenningssituasjoner slik som vist i bilag 15. Den horisontale kraftkomponent var representert ved bergartenes egen tyngde.

Denne forklaring synes å være svært enkel og plausibel, men det er imidlertid fristende å anta at den er riktig, i og med at slike horisontale krefter fra VNV kan være påført det syd-vest-norske grunnfjell f.eks. i forbindelse med den kaledonske orogenese.

Hvorvidt gneis-strukturen i bergartene er dannet som resultat av de samme trykkpåkjenninger, er vanskelig å uttale seg om. På den ene side kan gneis-strukturen være dannet samtidig, da kvartsgangene hovedsakelig opptrer parallelt med denne. Men på den andre siden er det tenkelig at en tidligere dannet gneis-struktur har representert en svakhetsretning i bergartene som har favorisert sprekkedannelser eller skjærsonedannelser, dersom det hele har foregått på større dyp under mere plastiske forhold som har virket kontrollerende på kvartsdannelser. Når det gjelder de molybdenglansførende slepper som ikke er tilknyttet kvartsganger, så må

disse tilskrives senere tektoniske hendelser av lignende karakter som ved dannelsen av kvartsgangene.

Bilag 16 viser skjematisk hvordan dannelsen av sprekker i malmsonen i Knaben II kan ha foregått. Man går da ut fra at Mohr's ligning for skjærkrefter gjelder:

$$\text{Skjærspenningen } \tau = \frac{1}{2}(\sigma_3 - \sigma_1) \sin 2 \phi$$

σ_3 = normalkraften som virker fra VNV

σ_1 = normalkraften som virker vertikalt (bergartenes tyngdekraft)

ϕ = vinkelen mellom det plan skjærspenningen virker i og horisontalplanet.

Når σ_3 ble så stor at skjærkraften τ oversteg bergartens skjærfasthet, oppsto brudd i bergartene i et plan som under dagens forhold danner 31° med horisontalplanet.

Av ligningen for skjærspenningen fremgår det at denne er størst når $\phi = 45^\circ$. Men dersom gneis-strukturen i bergartene var dannet før de sprekkedannende krefter satte inn, er det imidlertid **tenkelig** at skjærbrudd opptrådte parallelt denne struktur, dvs. under en vinkel mindre enn 45° , - i dette tilfelle 31° , - som følge av den tidligere nevnte svakhetsretning som gneis-strukturen representerer.

Nå skal man heller ikke se bort fra at de molybdenglansførende kvartsganger opprinnelig hadde et plan som dannet 45° med horisontalplanet, men at bergartene siden kan ha vippt 14° ned mot VNV.

Når det gjelder de molybdenglansførende slepper, er det mye som tyder på at disse hovedsakelig har fulgt det svakhetsplan som gneis-strukturen representerer.

4. BEDØMMELSE AV ANVENDTE METODER FOR BESTEMMELSE AV MALMENS TYKKELSE OG GEHALTER.

4.1. Innledning.

Da de beregnede tall for malmens tykkelse og gehalter har stor betydning for gruvedriften generelt, både når det gjelder det daglige brytningsopplegg og langtidsplanlegging, er det av interesse at man kommer fram til beregningsmetoder som kan gi et så riktig bilde av de virkelige forhold som mulig.

I det følgende tas de metoder som er anvendt ved Knaben II til kritisk bedømmelse.

4.2. Anvendte metoder for fastsettelse av malmgrenser.

Grunnlaget for metodene er svært enkle og bygger i hovedsaken på subjektivt skjønn. Det ble opplyst følgende om disse metoder:

1. Man baserer seg på rene borkjerneanalyser. Hver 3. meter borkjerne utgjør en analyse.
2. Borkjerneanalysene tegnes inn på parallelle borprofiler som står tilnærmet vinkelrett på malmsonen med 28,5 meters mellomrom.
3. Malmgrensen settes på bakgrunn av de inntegnede analyseverdier på en slik måte at man generelt prøver å unngå å trekke grensene utenfor verdier under 0,100 % MoS_2 . I prinsippet vil dette si at man forsøker å sette grensen ved 0,100 % MoS_2 .
4. I liggen tas det også brytningstekniske hensyn, idet brytningsopplegget tar sikte på at malmen skal være selvtransporterende i størst mulig grad. Malmgrensen blir også satt ut fra disse hensyn.

4.2.1. Begrensninger ved anvendte metode for fastsettelse av malmgrenser.

Det skal her gis en førstehånds oppsummering av de begrensninger de anvendte metoder er belastet med:

1. Usikkerheter i forbindelse med borkjerneanalysene.
2. Man har ikke tatt hensyn til borslam og analyser av dette.
3. Det er ikke justert for eventuell borhullsavlenkning.

4. Man har ikke trukket inn forholdet mellom marginalgehalter og de tilsvarende gjennomsnittsgehalter. Man mister derved et lovmessig definert grunnlag for fastsettelsen av malmgrenser.
5. Da man i liggen delvis tilpasser malmgrensen etter brytningsmetoden, er det fare for gråberginnblanding eller at god malm blir stående igjen, eller begge deler samtidig.
6. Malmgrensene er fastlagt ut fra subjektive vurderinger.

Det skal i denne omgang ikke utdypes videre hvilke faktorer disse begrensninger avhenger av, og hvilke konsekvenser de har for resultatene.

4.3. Anvendte metoder for fastsettelse av gehalter.

Det skal også her gis en kort oppsummering av de metoder som legges til grunn for beregningene av gehalter:

1. Man baserer seg også i dette tilfellet på rene borkjerneanalyser hvor hver 3. meter borkjerne utgjør materialet for hver analyse.
2. Analyseverdiene summeres og divideres med antallet analyser. De verdier som da fremkommer, utgjør aritmetriske middelveier. Dette gjøres for hele profil eller for de deler av de profiler man ønsker å beregne.
3. Alle analyser er likeverdige.

4.3.1. Begrensninger ved anvendte metoder for fastsettelse av gehalter.

Det vil også her bare bli gitt en foreløpig oppsummering av de begrensninger som gjør seg gjeldende ved de anvendte metoder for beregning av gehalter. Følgende kan påpekes:

1. Usikkerheter i forbindelse med borkjerneanalysene.
2. Hensyn til borslam er ikke tatt.
3. I og med at alle analyser er likeverdige, har man ikke tatt hensyn til diamantborhullets retning i forhold til den prinsipielle mineraliseringsretning. Man har heller ikke tatt hensyn til det areal hvert diamantborhull utgjør for i de profiler hvor gehaltene er beregnet.

Hvilken betydning disse begrensninger har for resultatet av de beregnede gehalter, er spørsmål som vil bli tatt til nærmere vurdering.

4.4. Vurdering av usikkerheter i forbindelse med borkjerneanalyser.

Analyseresultatene fra borkjerner danner grunnlaget for beregningen av både malmgrenser og gealter. Det er av stor betydning å ha oversikt over de mulige feil som dette grunnlag er belastet med. Normalt har disse feil to opprinnelser:

1. Analysefeil ved den kjemiske analyse.
2. Feil påført analysematerialet på veg fra dets posisjon in situ til det via borkjerner foreligger ferdig preparert for den kjemiske analysen, dvs. feil ved prøvetakingsmetoden.

4.4.1. Analysefeil ved den kjemiske analyse.

Det skal ikke her gis noen bredere vurdering av den kjemiske metode som er benyttet på analysene, men noen generelle kommentarer til pålitelighet ved analysering av Mo skal knyttes til.

Molybdeninnholdet i prøvene ved Knaben Gruver fastsettes ved en volumetrisk (titrimetrisk) bestemmelse. For å få et generelt begrep om de vanskeligheter man arbeider med for å oppnå riktige analyseresultater, skal jeg her ta med noen resultater hentet fra en undersøkelse der man tok sikte på å undersøke hvilke resultater en hel rekke kompetente laboratorier kom fram til for samme analysemateriale (se litteraturhenvendelse).

For molybden kom man fram til følgende:

Antall lab. som deltok	Antall resultater	$\bar{x}$ % Mo	S	V %
23	55	0,145	0,059	40,8
24	58	1,210	0,163	13,5
21	47	56,860	1,27	2,2

$\bar{x}$ = aritmetrisk middelgehalt

S = standard avvik ($S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$)

V = varians-koeffisienten ($V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\%$)

Videre fant man:

$\bar{X}$	Virkelig Mo-innhold %	Variasjons-område	Variasjonsområde i % av virkelig Mo-innhold
0,145	0,145	0,032 - 0,500	323
1,210	1,240	0,691 - 1,440	60
56,860	57,000	50,600 - 58,500	14

Disse resultater er framkommet på grunnlag av forskjellige analysemetoder. Tallene gir et bestemt inntrykk av at molybden er et vanskelig element å oppnå pålitelige analyser på. Ved sammenligninger med andre elementer i samme forbindelse, får man også styrket dette inntrykk.

Det prøvemateriale som det ovenfor er referert til, består av molybden som er fortynnet med ren kvarts. Når det gjelder prøvematerialet på Knaben, så har man i tillegg andre elementer som f.eks. Cu som kan virke forstyrrende på selve analysen. Dette faktum bidrar sterkt til å anta at prøvemateriale fra Knaben er mer komplisert å analysere enn de standardprøver som er blitt benyttet under den refererte undersøkelse, hvilket skulle gi enda større usikkerhet med hensyn til analyseresultatene. De lave Mo-gehalter i malmen i Knaben II, skulle følgelig tilsi at man opererer med relative analysefeil på Mo, som kan gå opp i størrelsesorden $\pm 150\%$ og mer, beroende av hvor stort Mo-innhold prøvematerialet har. Som naturlig kan være, er det prøvemateriale med de laveste gehalter som er utsatt for de største, sannsynlige, relative feil.

Undersøkelsen kom også fram til en rangering av de forskjellige kjemiske analysemetoder, etter deres godhet med hensyn til pålitelige analyseresultater. Rangeringen ble følgende:

1. Kolorimetrisk bestemmelse
2. Gravimetrisk bestemmelse
3. Volumetrisk (titrimetrisk) bestemmelse.

Denne rangering gjelder spesielt for prøvemateriale med lave gehalter. Gravimetrisk bestemmelse kan under visse forhold gi samme pålitelighet som kolorimetrisk bestemmelse. Volumetrisk bestemmelse er avgjort upålitelig, spesielt ved lave gehalter, og brukes derfor generelt svært sjelden under slike forhold.

Det er likevel klart at et stort antall analyser vil gi tilnærmede riktige gjennomsnittsgehalter, da analysefeilene trekker i begge retninger, men usikkerhetene gjelder når man betrakter de enkelte analyser. Det siste vil ha konsekvenser for fastsettelse av malmgrenser, da man her må ta i betraktning de enkeltstående analyseverdier.

4.4.2. Feil i forbindelse med prøvetakingsmetoden.

Prøvetakingsmetoden er diamantboring hvor man er utstyrt med oppfangningsrør for borkjernen.

Det første problem man støter på, er molybdenglansens lave hardhet. Etter Mohr's skala har molybdenglans hardhet 1-1,5, mens kvarts og feltspat har hardhet henholdsvis 7 og 6. Dette innebærer at molybdenglans er mer utsatt for mekanisk påkjenning enn de øvrige mineraler i bergarten. Dermed er det muligheter for at diamantborkronen river med seg mer materiale i en molybdenglanssone enn i granitt. Erfaringer for at slike ting kan skje, er beskrevet av C. Zeschke. Dersom dette er tilfelle ved diamantboringen i Knaben II gruve, betyr det at de borkjerner som inneholder molybdenglansbånd og soner med sterkere impregnasjon, vil vise for lave analyser på MoS_2 .

Det neste problem står for så vidt i sammenheng med det forannevnte, i og med at molybdenglansbånd representerer svakhetssoner i bergarten. I tillegg virker molybdenglans som et smøremiddel. Resultatet kan bli at kjernen ryker tvert av i et slikt molybdenglansbånd og kjernen begynner å rotere slik at molybdenglansen slites helt eller delvis bort. Det ble ikke opplyst noe om slike erfaringer ved Knaben II, men erfaringer fra andre diamantbøringsarbeider hvor endog de svake soner var hardere enn molybdenglans, tyder på at slik rotasjon av kjernen kan forekomme, på tross av

at man er utstyrt med kjernefangerutstyr.

Det neste trinn hvor feil ved borkjerneprøvene kan oppstå, er under transportprosessen fra borkullet til laboratoriet. Det som i første rekke her kan inntreffe, er at molybdenglans som det svake mineral det er, kan rives eller falle ut fra kjernen, selv om transporten foregår med stor forsiktighet. Man skal ikke se bort fra at borkjerne-kassene neppe i alle tilfelle blir behandlet med den forsiktighet som er nødvendig under transporten.

De feil det hittil har vært snakk om i forbindelse med prøvetakingsmetoden, har virket negativt på analyseresultatene, slik at tallene for disse gir mer og mindre for lave verdier. Man har også muligheter for å få påført prøvematerialet feil under prepareringen av hver enkelt prøve. Hvilken utslagsretning prepareringsfeil eventuelt har på analyseverdiene, avhenger også til en viss grad av prepareringsmetoden, men denne skal ikke diskuteres nærmere her.

4.4.3. Feil påført beregningsresultatene ved utelukkelse av slamanalyser.

Ved beregningene av gehalter og malmgrenser benytter man bare analyseverdiene for borkjernene. Dette innebærer at borslammets mengder og gehalter ikke tas med i beregningene. På denne måten har man ikke muligheten til å kunne korrigere for kjernetap av molybdenglans under boringen. Som nevnt i 4.4.2. er det store sjanser for at slike tap av molybdenglans i kjernen finner sted.

Dersom man diamantborer med borkrone som gir en kjernediameter lik 2,86 cm (AX), vil det teoretiske volum av slammet som fremkommer under boringen utgjøre ca. 178 % av den tilsvarende borkjernes volum. Dette gir et bilde av borslammets rolle. Den teoretisk riktigste analyseverdi fremkommer når man benytter både kjerne og slam som grunnlag, og man benytter formelen.

$$C = \frac{C_1 \cdot V_c + C_2 \cdot V_s}{V_b}$$

hvor

C_1 = kjernens analyseverdi i %

C_2 = slammets analyseverdi i %

V_c = volum av kjernen

V_s = volum av slamm

V_b = volum av den gjenvundne del av borhullet

For å illustrere hvilken virkning denne formel har i en gitt situasjon skal det her tas med et par eksempler:

Volum av borhull = 100 %

Volum av borkjerne = 36 % (av hele borhullet, teoretisk)

Volum av slam = 64 %

Det benyttes AX-borkrone

Man ser her bort fra gjenvinningstap.

Analyse av borkjerne = 0,050 % MoS_2

Analyse av slam = 0,110 % MoS_2

Dette gir riktig analyse lik :
$$\frac{36 \cdot 0,050 + 64 \cdot 0,110}{100} = 0,088\% \text{MoS}_2$$

Ved å ta slamm i betraktning ble analyseverdien 0,038 % bedre eller 76 relative % høyere enn av borkjernen alene.

Dersom man tar den aktuelle gjenvinning av borkjernen med i betraktning, kommer man eksempelvis fram til:

Volum av borhull = 100 %

Volum av borkjerne = 32 % (89 % gjenvinning)

Volum av slam = 68 % (100% gjenvinning)

Analyser av borkjerne og slam er henholdsvis 0,050 % og 0,110% MoS_2

Dette gir riktig analyse lik:

$$\frac{32 \cdot 0,050 + 68 \cdot 0,110}{100} = 0,091 \% \text{MoS}_2$$

Her er den relative analyseøkning hele 82 % i forhold til borkjernens analyseverdi.

Dersom man tar med i betraktning aktuell gjenvinning av både kjerne og slam, får man eksempelvis:

Analyse av kjerne og slam er 0,050 % og 0,110 % MoS_2 .

Volum av borhull = 100 %

Volum av borkjerne = 32 % (89 % gjenvinning)

Volum av slam = 34 % (50 % gjenvinning)

Riktig analyse blir da:
$$\frac{32 \cdot 0,050 + 34 \cdot 0,110}{32 + 34} = 0,082 \% \text{ MoS}_2$$

Den relative analyseøkningen i forhold til borkjernens analyse blir i dette tilfelle lik 64 %.

Disse eksempler skulle i sterk grad belyse hvilken betydning slammet kan ha for det videre beregningsgrunnlag. For Knaben Grubers vedkommende er det av stor viktighet at man tar slammet med i beregningene, først og fremst fordi kjernetapet her vanligvis er over 2 %, men også fordi malmens beskaftenhet gjør at kjernetapet sannsynligvis blir uforholdsmessig stort på molybdenglansens bekostning.

Litteraturen viser også til andre ligninger som man mener skal gi den viktige totale analyseverdi: Lewis og Clark (1964) har følgende formel:

$$\text{Total analyseverdi: } \frac{\Sigma(TW \cdot D \cdot \text{OR}\%) \cdot \left(\frac{CW \cdot CV\% + (SW \cdot SV\%)}{CW + SW} \right)}{\Sigma(TW \cdot D \cdot \text{OR}\%)}$$

hvor

TW = virkelig lengde av kjernen (teoretiske lengde)

D = spesifikk vekt av analysematerialet

OR% = gjenvinning av kjerne og slam

CW = kjernens vekt

SW = vekt av slam

CV = analyseverdi av kjernen

SV = analyseverdi av slam

I realiteten skulle denne formelen tilsvare den som tidligere er beskrevet. Forskjellen er i hovedsaken bare at man her benytter vekt, mens man i den første formel benyttet volum.

Når det gjelder mulighetene til fullstendig gjenvinning av slam, så er Knaben II i en litt uheldig stilling. Sprekkesystemene som hersker i området med stor intensitet, reduserer ofte mulighetene til å få fullstendig gjenvinning av slam. Enkelte ganger har man til og med mistet alt slam i slike sprekker.

4.4.4. Begrensninger ved slamprøvetaking.

Den største vanskeligheten ved slamprøvetaking består i å få oppsamlet alt fast stoff. Dette krever oppsamlingskar av slik art og slike dimensjoner at fullstendig sedimentasjon av det faste stoff finner sted relativt hurtig. I virkeligheten vil man miste endel av de fineste kornfraksjoner, samtidig som man får en oppkonsentrering av de tunge mineraler. Denne kjennsgjerning har blant annet ført til at enkelte forfattere (Zeschke) ikke anbefaler at slamanalyser blir tatt med i beregningene. I og med at slammet utgjør størstedelen av et borhull, er det innlysende at feilaktige analyseverdier av slam vil ha skadevirkninger på det totale resultat som kan overskygge de fordeler man mente å oppnå. Dette er imidlertid ting som må nøyer undersøkkes i forbindelse med hvert enkelt diamantborprogram før man kan ta standpunkt til hvorvidt slamanalyser bør være med eller ikke.

Det er ikke kjent hvorvidt undersøkelser er gjort ved Knaben II for å belyse hva slags pålitelighet man kan vente å oppnå i slamanalyser i forbindelse med diamantboring. Det er imidlertid tvilsomt at slike undersøkelser er blitt gjort, da det i arkivet ikke foreligger skriftlige beretninger som tyder på dette. Videre utdyping av dette tema vil heller ikke bli foretatt her.

Derimot kan man som konklusjon på akkurat disse problemer peke på at slike undersøkelser bør gjøres i forbindelse med fremtidige diamantboringer, da man med slamanalyser kan ha en mulighet til å forbedre grunnlagsmaterialet for beregningen av gehalter og derigjennom malmgrenser.

4.5. Undersøkelse av borhullsretningens betydning.

På bakgrunn av at kvartsganger og slepper som fører molybdenglans har et hovedstrøk lik N 29° Ø og et hovedfall lik 31° Ø, vil det være av betydning å undersøke hvilken rolle diamantborhullets retning har for analyseverdiene av borkjernene. Av borprofilene kan man se at borhullene skjærer hovedmineraliseringsretningen under vinkler fra ca. 30° til 90° . Spørsmålet er om man kan regne alle borhull som likeverdige, eller om man må justere borkjerneanalysene i forhold til den vinkel borhullet skjærer planet for hovedmineraliseringsretningen under. Det teoretisk ideelle ville være at samtlige borhull skar dette plan vinkelrett. Nå har man den situasjon ved Knaben II at borprofilplanene skjærer hovedmineraliseringsstrøket under en vinkel lik $88,5^{\circ}$, dvs. tilnærmet vinkelrett, slik at man ikke trenger å ta hensyn til annet enn borhullenes fallvinkel.

Teoretisk har man at en borkjerne som skjærer en mineralisert sone under en skrå vinkel vil inneholde større volum av den mineraliserte sone enn en borkjerne som skjærer den samme sone vinkelrett. I praksis må man vanligvis multiplisere verdien for den mineraliserte sone som fremkommer i den skråstilte borkjerne, med sinus til skjæringsvinkelen, for at verdiene skal bli de samme i de to borhull. For å få klarlagt dette forhold i Knaben II ble det gjort følgende:

1.

Borhull som helt eller bortimot helt gjennomskar malmsonen, ble plukket fram, og den gjennomsnittlige analyseverdi på MoS_2 for hvert enkelt borhull ble plottet inn på et diagram hvor ordinat viser vinkel mellom hovedmineraliseringsretning og borhull, og abscisse viser gjennomsnittlig analyse for hvert borhull. Dette er vist i bilag 17. Av bilag 17 ser man at spredningen er svært stor, selv innenfor den samme skjæringsvinkel. Ut fra diagrammet kan man ikke innse noen sammenheng mellom gjennomsnittlige analyseverdier i det enkelte borhull og den retning borhullet har. 43 borhull ble benyttet.

2.

For å forsøke å påvise en eventuell sammenheng mellom analyseverdier i borhull og borhullenes retning ble det videre foretatt tre statistiske regresjonsanalyser for å få fram matematiske begreper om forholdet. Verdiene som ble benyttet, er de samme som er plottet inn i bilag 17. Den første metoden tok sikte på å finne en lineær sammenheng etter ligningen: $y = ax + b$

$$r = \frac{\sum (x_1 - \bar{x}) (y_1 - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_1 - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_1 - \bar{y})^2}} = \text{korrelasjonskoeffisienten}$$

hvor

y_1 = gjennomsnittlig analyseverdi for hvert borhull
 $\bar{y}$ = gjennomsnittlig analyseverdi av alle 43 borhull
 x_1 = skjæringsvinkel for det enkelte borhull
 $\bar{x}$ = gjennomsnittlig skjæringsvinkel for alle 43 borhull

Til orientering kan det opplyses at $r = 1$ betyr at man har fullstendig sammenheng mellom analyseverdi og skjæringsvinkel. Jo mer verdien for r nærmer seg null, desto mindre er sammenhengen.

I dette tilfelle ble $r = 0,086$, som betyr at man tilnærmet ikke har sammenheng. Det lineære uttrykk man kom fram til, hadde formen:

$$y = 0,123 x + 109,17$$

hvor

y = gehalt
 x = skjæringsvinkel

Den andre metoden tok sikte på å finne en sammenheng etter ligningen: $y = ax^b$

hvor

$$r = \frac{N \sum \ln x \ln y - (\sum \ln x) (\sum \ln y)}{\sqrt{[N \sum (\ln x)^2 - (\sum \ln x)^2] [N \sum (\ln y)^2 - (\sum \ln y)^2]}}$$

Her ble korrelasjonskoeffisienten $r = 0,105$, hvilket betyr at man også ut fra denne metode kan fastslå at det ikke eksisterer sammenheng mellom analyseverdier og borhullenes stupningsvinkel.

Den tredje metode tok sikte på å finne sammenheng etter eksponential-ligningen $y = a \cdot c^{bx}$. Her ble $r = 0,102$, som i realiteten også uttrykker uavhengighet mellom analyser og borhullenes stupningsvinkel.

Det kan nevnes at regresjonsanalysene ble kjørt på datamaskin.

3.

Borhull som skjærer MoS_2 -mineraliseringens hovedfall under vinklene 30° , 60° og 90° ble plukket ut og gruppert under den respektive vinkel de tilhørte. Det ble bare tatt med borhull som gjennomskar hele eller det aller meste av malmsonen, slik at de geologiske betingelser skulle være så like som mulige. Følgende resultater fremkom:

Skjærings- vinkel °	Antall analyser	Aritmetisk middel % MoS_2	Standard avvik
30	424	0,152	0,513
60	426	0,107	0,225
90	495	0,142	0,203

Som ventet ga borhullene med 30° skjæringsvinkel de høyeste middelgehalter, på bakgrunn av at borkjernene fra disse hull teoretisk inneholder større volum av hvert molybdenglansbånd enn borkjerner som skjærer de samme bånd vinkelrett.

Det bemerkelsesverdige i denne forbindelse er at de vertikalstilte borhull som skjærer MoS_2 -mineraliseringen under en vinkel på 60° , viste de gjennomsnittlige laveste analyseverdier. Teoretisk ville man vente at "60°-hullene" ville ligge et sted mellom "30°-hullene" og "90°-hullene", og nærmest de sistnevnte, med hensyn til gjennomsnittlige analysegehalter.

Årsaken til at "60°-hullene" viser de laveste gjennomsnitts-

analyser kan vanskelig tenkes å ligge på det geologiske plan, da alle borhull gjennomskjærer de samme bergarter. Det kan derimot tenkes at det ligger skjult en mekanisk forklaring som man ikke kjenner, men som kan ha sammenheng med prøvetakingsmetoden. Jeg skal i det videre ikke begi meg ut på noen gjetninger om hva selve årsaken til dette fenomen kan vært, men bare slå fast at den eksisterer.

Ut fra de fakta som fremkom under forsøket på å finne sammenheng mellom analyseverdier og diamantborhullenes retning kan man trekke den klare konklusjon at en rasjonell lovmessig sammenheng ikke eksisterer. Man trenger derfor ikke å ta i betraktning borhullenes retning under beregninger av gjennomsnittsgehalter, hvilket man tidligere heller ikke har gjort ved Knaben II.

En mulig forklaring på hvorfor en slik lovmessig sammenheng ikke eksisterer kan ligge i det geologiske faktum at ca. halvparten, kanskje mer, av molybdenglansen i malmen foreligger som spredt bergartsimpregnasjon, og at virkningen av molybdenglansbåndene tilknyttet kvartsganger og slepper på denne måten blir dempet. Noen annen geologisk forklaring er neppe mulig å gi.

4.6. Sammenligning mellom profildata (borkjerneanalyser) og produksjonsdata.

Produksjonstallene er hentet fra månedsrapporter i perioden 1958-1969, i de måneder av året da produksjonen av råmalm bare foregikk i gruve under dagen. Separate tall for gehalter i råmalmen i hvert profil foreligger ikke. Man har i produksjonsrapportene bare oppgitt hvor stor produksjonen har vært i de forskjellige strosseprofiler og på hvilke etasjer produksjon har foregått. Ut fra den månedlige produksjon har man så beregnet den tilhørende gjennomsnittgehalt i råmalmen.

De sammenligninger som her skal gjøres, er følgelig basert på store tilnærminger, da jeg har kommet fram til en total gjennomsnittsgehalt for den samlede produksjon i gruva i den ovenfornevnte periode på følgende måte:

Gjennomsnittlig produksjonsgehalt:

$$\frac{\Sigma(\text{månedlig gehalt} \times \text{månedlig tonnasje})}{\text{samlet tonnasje fra gruven i perioden}} = 0,187 \% \text{ MoS}_2$$

Produksjonen i denne periode foregikk hovedsakelig i strosser i borprofil 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38. og 39 på etasjene 8 til 10, slik at 0,187 % MoS₂ uttrykker gjennomsnittsgehalten for produksjonen i disse profiler samlet under ett i den oppgitte periode.

De tilhørende tall fra borkjerneanalyser er hentet fra berging. Graff's beregninger av gealter og tonnasje i de samme profiler og på de samme etasjer som ovenfor nevnt. Det dreier seg her om uveide aritmetriske middelgehalter. Gjennomsnittsgehalten ut fra borkjerneanalyser blir da lik 0,155 % MoS₂.

På grunnlag av disse metoder finner man at produksjonstallene gir en gjennomsnittsgehalt som er 0,033 % MoS₂ høyere enn tilsvarende gjennomsnittsgehalt ut fra borkjerneanalyser. Dette betyr da at man må multiplisere gjennomsnittsgehalten ut fra borkjerne analyser på 0,155 % MoS₂ med en faktor lik 1,207 for å komme opp på produksjonstall-nivå.

Nå skal man imidlertid være forsiktig med å ta disse tall alt for bokstavelig, da man har med grove beregninger og store tilnærmelser å gjøre. Med store tilnærmelser tenker jeg i første rekke på at man lar profil-gehaltene representere gealtene i 20 m brede strosser, og at man bruker analysetall fra profilene uten helt å være klar over hvor i profilene malmbrytningen har foregått i perioden 1958 - 1969. Men da det ikke har vært foretatt systematisk gehaltkontroll av produksjonen i de enkelte strosser i noen periode, er det vanskelig å komme fram til mere eksakte metoder for beregning av forskjell mellom profildata og produksjonsdata.

Imidlertid var det ventet at produksjonstallene kom til å vise høyere gehalt enn gehalten ut fra borkjerneanalyse, ut fra det

som tidligere er nevnt i 4.4.2. om tap av molybdenglans i borkjerner.

Litteraturen vet også å berette om at de samme forhold er tilstede også ved andre molybdengruver. Det kan være av interesse å ta med i korthet hvilke erfaringer man gjorde i Questa molybdengruve (New Mexico). Malmtypen i Questa er på enkelte måter svært lik Knabens, da MoS_2 hovedsakelig opptrer som opptil 6-7 mm tykke bånd på kvartsganger. Det er ikke nevnt noe om hvorvidt MoS_2 også kan opptre disseminert i sidebergarten. Hovedprøvetakingsmetoden var her diamantboring, hvor hver analyse representerte 10 feet (3,07 m) borkjerne. For å undersøke godheten av diamantboring som prøvetakingsmetode, foretok man i tillegg bulkprøvetaking i de drifter hvor man fulgte de enkelte diamantborhull nøyaktig. Av bulkprøvene ble så beregnet veide gjennomsnittsgehalter ved å veie med avstanden som korresponderte med de på forhånd oppborede 10-feet-inndelte borkjerner, og resultatene ble sammenlignet. Den aritmetiske middelgehalt i bulkprøver var høyere enn den tilsvarende i borkjerner. Det kan også nevnes at kjernegjenvinningen i Questa var mellom 40 og 80 % og at slamanalysene som generelt ga nye høyere verdier enn de tilsvarende kjerner, var fullstendig erratiske. Bilag 18 viser hvordan fordelingen for bulkprøvene er forskjøvet mot høyre i forhold til borkjerneprøvene.

Grafisk sett viste det seg at man fikk den beste korrelasjon mellom de to sett av verdier ved en logaritmisk behandling, idet begge sett av verdier viste en log-normal fordeling (se bilag 18). Ved å oppskrive alle borkjerneverdier med faktoren $\bar{X}/\bar{x}$, kom man fram til at de to klokkeformede kurvene ikke dekket hverandre fullstendig, hvilket bevirket at den prosentvise oppskrivning av borkjerneverdier avtok mot null ved ca. 1 % MoS_2 kjerneverdi, hvorpå den ble negativ. Dette skulle vise at man ikke kan oppskrive borkjerneverdiene med en fiksert konstant, men at oppskrivningen må beregnes for hver borkjerneverdi. Slike korrigerte borkjerneverdier blir benyttet i Questa ved beregninger av malmreserver.

For Knaben Grubers vedkommende kunne det være aktuelt med en tilsvarende undersøkelse for å få fastlagt borkjerneverdienes forhold til produksjonstall på en bedre måte. En slik fastleggelse ville utvilsomt føre til en sikrere bestemmelse av de faktiske gehalter i malmsonen, samtidig som man fikk et mer realistisk grunnlag for fastsettelsen av malmgrenser.

4.7. Vurdering av metoder for bestemmelse av gehalter.

Den metode som benyttes ved Knaben for å bestemme gehalter i boreprofilene innebærer som tidligere nevnt at man kommer fram til aritmetiske middelgehalter. For at en slik metode kan anvendes er det imidlertid et statistisk krav at de enkelte borhull og analyser er likeverdige med hensyn til retning og plassering i forhold til hverandre. Nå er det tidligere vist at borhullenes retning ikke har noen definert lovmessig sammenheng med borhullenes gjennomsnittlige gehalter, slik at man i denne sammenheng kan se bort fra borhullenes retningsvariasjon. Derimot varierer avstanden mellom de enkelte borhull betraktelig. I litteratur finner man at vanlig praksis i slike tilfelle er å veie gjennomsnittsverdien for hvert enkelt borhull med det areal som er tilknyttet borhullet. Dette areal strekker seg til midtlinjen mellom borhullet og naboborhullene. På denne måten får man en slags tilnærmet justering for variasjonene i avstanden mellom hullene. Man oppnår på denne måten å få fram gehalter for profil eller deler av profil som er tilnærmet mere representative enn tilsvarende aritmetiske middelgehalter.

For å få fram en sammenligning mellom veide gjennomsnittsgehalter og aritmetiske gjennomsnittsgehalter, har jeg tatt med en tabell hvor verdiene fra profilene 28, 29, 30 og 31 er tatt med. Hver av disse profiler er delt inn i fire omtrent like store "blokker" etter midtlinjene, og gehaltverdiene for hver blokk er beregnet. Da beregningene av areal-veide gjennomsnittsgehalter innebærer relativt mye arbeid, er det her bare utført beregninger på fire profiler. Bilag 34 viser forøvrig hvordan et tilfeldig valgt profil er delt inn i blokker.

Tabell 5.

Profil	Blokk	Veid gj.sn.gehalt, % MoS ₂	Aritm. middelgehalt, % MoS ₂	Avvik
28	Øvre heng	0,157	0,158	+0,001
	Øvre ligg	0,075	0,073	-0,002
	Nedre heng	0,078	0,074	-0,004
	Nedre ligg	0,068	0,065	-0,003
29	Øvre heng	0,149	0,148	-0,001
	Øvre ligg	0,124	0,104	-0,020
	Nedre heng	0,100	0,106	+0,006
	Nedre ligg	0,185	0,144	-0,041
30	Øvre heng	0,141	0,143	+0,002
	Øvre ligg	0,092	0,095	+0,003
	Nedre heng	0,083	0,076	-0,007
	Nedre ligg	0,096	0,082	-0,014
31	Øvre heng	0,137	0,150	+0,013
	Øvre ligg	0,114	0,128	+0,014
	Nedre heng	0,141	0,110	-0,031
	Nedre ligg	0,077	0,083	+0,006
Elle blokker		1,817	1,739	0,168

Midlere totalt avvik $0,168/16 = 0,011 \% \text{ MoS}_2$

Midlere veid gj.snittsgehalt $1,817/16 = 0,114 \% \text{ MoS}_2$

Midlere aritm. gj.snittsgehalt $1,739/16 = 0,109 \% \text{ MoS}_2$

Midlere totalt avvik i % $\frac{0,011 \cdot 100}{0,114} = 9,65 \%$

% avvik mellom midlere gj.snittsgehalter $\frac{0,114 - 0,109}{0,114} \cdot 100\% = 4,4 \%$

Korrelasjonskoeffisienten er her lik 0,904, hvilket tyder på relativt god lineær sammenheng mellom de to forskjellige typer gjennomsnittsgehalter.

Se man ser av tabell 5, så har man tildels betydelige forskjeller. Nå skal man imidlertid være klar over at dersom man hadde tatt med tilstrekkelig mange beregninger, er det statistisk sannsynlig at det midlere totale avvik ville blitt lik null etter som

de negative avvik sannsynligvis ville oppveie de positive. 16 tilfelle gir for lite grunnlag til at man kan trekke noen endelig konklusjon for en fullstendig gjennomført beregning av alle profiler. Imidlertid gir tallene i tabellen et lite bilde av den forskjell man kan vente å finne i den enkelte blokk og i det enkelte profil.

Til tross for den tilnærming veide gehalter innebærer, er det sannsynlig at disse gehalter er de mest representative for de enkelte profiler. Det er derfor et forslag fra min side at man ved Knaben II går over til å benytte areal-veide gjennomsnittsgehalter ved malmberegninger ut fra de eksisterende borprofiler.

5. STATISTISK ANVENDELSE AV BORKJERNEANALYSER.

I profilene 28 - 46 er det tilsammen diamantboret ca. 7.500 m borkjerner som har dannet grunnlaget for ca. 2.500 analyser. Dette innebærer i praksis at malmsone's breddeutstrekning tildels er godt dekket i disse profiler ned til etasje 15, og at lengdeutstrekningen med 28,5 m profilavstand er dekket i ca. 540 m lengde. Dette betyr videre at man sitter inne med analysedata som skulle gi et relativt godt bilde av molybdenfordelingen i størstedelen av malmsonen i Knaben II. I alle fall skulle man her ha grunnlag for å få fram de mest elementære statistiske trekk ved gehalten. Man har i denne forbindelse sett bort fra de diamantboringer som er gjort i profilene 47 - 55 på etasje 11, da man her på grunn av malmkroppens stupning mot sør bare finner seg i den øvre del av malmsonen.

Den statistikk-metode som benyttes, er relativ elementær og baserer seg på Gauss' normalfordeling, der ligningen for normalfordelingen er:

$$f(w) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{w-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Her er

w = den enkelte borkjerneanalyse

μ = gjennomsnittsverdien av alle analyser

σ = standard avvik

Den grafiske fremstilling av analysenes normalfordeling har et forløp som minner om en klokkeformet kurve.

Standard avvik er lik

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (w - \bar{w})^2}{n - 1}}$$

hvor

$\bar{w} = \frac{\sum w}{n}$, dvs. aritmetisk middel av alle analyser.

Bilag 19 viser i prinsippet hvordan den grafiske fremstilling av normalfordelingen forløper.

5.1. Gjennomsnittsgehalt, standard avvik og varians.

Det kan være av interesse å se hvilken gjennomsnittsgehalt man kan vente å ha i malmsonen i Knaben II. Som grunnlag for en slik beregning ble det benyttet analyser fra borkhull som teoretisk vil gi de mest representative verdier. I den forbindelse ble alle borkhull som skjærer molybdenglansens hovedmineraliseringsplan rettvinklet eller tilnærmet rettvinklet i profilene 28 til og med 46, plukket ut og benyttet. Alle analyser fra disse borkhull ble brukt, fra heng til ligg. Tilsammen utgjorde dette 495 analyser.

Resultatet ble følgende:

Aritmetisk gj.snittsgehalt i malmsonen $\bar{w} = 0,142 \% \text{ MoS}_2$

Standardavvik i analysene ble beregnet til $s = \pm 0,203$

Variansen i analysene ble beregnet til $s^2 = 0,041$

Feilen på gj.sn.gehalten er $m = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{\pm 0,203}{\sqrt{495}} = \pm 0,009$

Varianskoeffisienten er $V = \frac{s}{\bar{w}} \cdot 100\% = 141 \%$

Ut fra dette har man videre:

53 % sannsynlighet for at gjennomsnitts-			
gehalten i malmsonen er			$0,142 \pm 0,009 \% \text{ MoS}_2$
95,46 %	"	"	$0,142 \pm 0,018 \% \text{ MoS}_2$
99,73 %	"	"	$0,142 \pm 0,027 \% \text{ MoS}_2$

Som man ser av tallene for standardavvik og varianskoeffisient, fremgår det tydelig at variasjonene i analyseverdier er svært store. Dette gir altså en pekepinn om at det stilles store krav til metoden for å beregne gjennomsnittsgehalter, dersom man ønsker representative tall.

5.2. Frekvensfordeling av analyser.

Denne er basert på de samme 495 borkjerneanalyser som er omtalt i 5.1. Grafisk fremstilling av frekvensfordelingen er vist i bilag 20, hvor kurven er trukket på grunnlag av utarbeidet histogram med intervaller langs ordinataksen lik $0,040 \% \text{ MoS}_2$.

Som man ser av bilag 20, minner kurven lite om en normalfordeling slik som i bilag 19. Kurven stiger raskt fra origo og til høyeste frekvens ved ca. 0,065 % ^{MoS₂}, hvorpå den synker like raskt inntil 0,120 % for deretter å flate langsomt ut mot høyre. Nå er imidlertid dette fordelingsmønster nokså vanlig sammenlignet med andre lignende malmforekomster.

En måte å undersøke hvorvidt analysene er normalfordelte, er å plote den kummulative frekvens/analyseverdi på et dobbel-logaritmisk sannsynlighetspapir slik som vist i bilag 21. Logaritmisk normalfordeling av verdiene vil nemlig her gi en rett linje. Som man ser, oppnår man også en tilnærmet rett linje for analysene, noe som bekrefter at analyseverdiene i malmen er log-normalfordelte. Dette er også funnet å være tilfelle ved flere andre malmforekomster av impregnasjonstypen. Som man ser av bilag 20, er det de høyeste analyseverdier som trekker opp gjennomsnittsgehalten i betraktelig grad.

5.3. Nødvendig antall analyser for å oppnå pålitelige gjennomsnittsgehalter.

Dersom man vil komme fram til en ønsket sannsynlighet for at den beregnede gjennomsnittsgehalt i malmsonen er riktig, er det nødvendig med et teoretisk minste antall analyser. For å beregne dette antall, tar man utgangspunkt i tall som angir spredningen av analyseverdiene, i dette tilfelle varianskoeffisienten. En ligning som benyttes til beregning av antall nødvendige analyser, er følgende:

$$n = \left(\frac{t \cdot v}{p} \right)^2$$

hvor

n = nødvendig antall analyser

t = sannsynlighetsfaktor

v = variasjonskoeffisienten for analysene (141%)

p = største tillatte feil på analysene uttrykt i % av gjennomsnittsgehalten.

Man kan her sette tillatte feil lik $\pm 0,010$ % MoS₂ på bakgrunn av de usikkerheter som råder i forbindelse med hver analyse, omtalt i 4.4.1. Dermed får man:

$$p = \frac{0,010}{0,142} \cdot 100 \% = 7,04 \%$$

For å gi et bilde av sammenhengen mellom sannsynlighetsfaktor t og sannsynligheten som korresponderer med hver verdi av t , er det tatt med følgende:

Verdi av t	:	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,5	3,0
Sannsynlighet, %	:	68,3	77,0	87,0	91,0	95,0	98,8	99,7

Ut fra dette velges $t = 2$ tilsvarende 95 % sannsynlighet for at man oppnår riktig gjennomsnittsgehalt.

$$n = \left(\frac{t \cdot v}{p} \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 141}{7,04} \right)^2 = 1.650 \text{ analyser}$$

For å få en tilfredsstillende prøvetaking av malmsonen, kreves det altså minst 1.650 analyser fordelt på hele sonen, dersom man ønsker 95 % sannsynlighet. Dette viser at malmkroppen mellom profil 28 og 46 er tilstrekkelig oppboret med hensyn på gjennomsnittlig gehalt.

Nå er det imidlertid vanlig å akseptere 68,3 % sannsynlighet ved prøvetaking, slik at man tilsvarende får $t = 1$. Dette gir

$$n = \left(\frac{141}{7,04} \right)^2 = 401 \text{ analyser}$$

Ut fra dette tall er det benyttet tilstrekkelig mange analyseverdier ved beregningen av gjennomsnittsgehalten for malmsonen som ble funnet lik 0,142 % MoS_2 .

5.4. Bortetthet i profiler.

Ut fra samme metode som er beskrevet foran i 5.3. er det foretatt beregning for å komme fram til nødvendig bortetthet i borprofilene. Som grunnlag er benyttet aritmetiske gjennomsnittsanalyser for de enkelte borhull som helt eller bortimot helt skjærer malmsonen

for å få fram spredningen i borhullsværdiene. Det ble benyttet 43 borhull som delvis skjærer malmsonen under forskjellige vinkler.

Ved å benytte borhullenes gjennomsnittsanalyser kan man beregne spredningen i disse på tilsvarende måte som man tidligere beregnet spredningen i de enkelte borhullsanalyser.

Beregningene med 43 borhull fra forskjellige profiler ga følgende tall:

Gj.snittlig analyseverdⁱ i borhull er lik $\bar{w} = 0,121 \% \text{ MoS}_2$

Standard avvik er lik $s = 0,054$

Varianskoeffisienten $v = \frac{s}{\bar{w}} \cdot 100 \% = 44,6 \%$

Tillatte feil på gj.sn.analyse

settes her til $0,010 \% \text{ MoS}_2$ dvs. $p = 8,25 \%$

Dette gir ved 95 % sannsynlighet

$$n = \left(\frac{t \cdot v}{p} \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 44,6}{8,25} \right)^2 = 112 \text{ borhull}$$

Ved 68,3 % sannsynlighet, som vanligvis blir akseptert:

$$n = \left(\frac{t \cdot v}{p} \right)^2 = \left(\frac{44,6}{8,25} \right)^2 = 29 \text{ borhull}$$

Dette innebærer at man for å få 68,3 % sannsynlighet for at gjennomsnittsgehaltene i borprofilene skal være riktige, må bore 29 hull i hvert profil.

Malmsonens lengde etter fallet mellom etasje 3 og etasje 15 er ca. 320 m. Ved å sette 29 parallelle diamantborhull vinkelrett på fallet, blir avstanden mellom dem 11 meter.

Ved utførte diamantboringer i Knaben II er det i hvert profil mellom etasje 3 og etasje 15 boret fra 7 til 13 borhull, hvorav ca. halvparten kan sies å gjennomskjære malmsonen helt. Grovt regnet kan man si at 7 og 13 borhull pr. profil tilsvarer hen-

holdsvis ca. 39 % og 52 % sannsynlighet for at borhullsanalyse gir riktige gjennomsnittsgehalter i hvert profil.

Videre har man at den utførte oppbøringsgrad er fra 24 % til 45 % av den minste teoretisk akseptable oppboring som gir 68 % sannsynlighet. I tillegg gjennomskjærer en rekke av borhullene ikke malmsonen fullstendig, slik at man i disse tilfelle ikke kan si å ha funnet malmsonens grenser.

I praksis betyr dette at man i fremtiden for det første bør sette et borhull for hver 11. meter etter fallet, for å oppnå akseptabel sannsynlighet for riktige gehalter. For det andre bør borhullene være mest mulig parallelle og skjære fallet tilnærmet vinkelrett. Og for det tredje bør man forsikre seg om at hvert borhull dekker hele malmsonens bredde.

Praksis ved Knaben II har vært å avslutte hvert borhull så fort man har kommet til rødgranitt, ut fra den mening at rødgranitt ikke fører drivverdige mengder av molybdenglans. Men ut fra mine undersøkelser kan man ikke alltid sette malmgrensen lik bergartsgrensen, da molybdenglansmineralisering gjerne forekommer i rødgranitt i mer og mindre kort avstand fra bergartsgrensen. Det skulle følgelig være berettiget å la borhullene gå noen meter inn i rødgranitten for å få fastlagt de økonomiske forhold også her. Samtidig får man utnyttet diamantbormaskin-utstyret maksimalt i forhold til den oppriggingsposisjon det har. En slik forlengelse av borhullene vil derfor være sterkt å anbefale.

5.5. Avstanden mellom borprofilene.

Den anvendte avstand mellom borprofilene er 28,5 m. For å undersøke hvorvidt denne avstand er tilstrekkelig for å gi et riktig bilde av gehaltene i malmsonen, er det foretatt beregninger av tilsvarende type som under 5.3. og 5.4.

I dette tilfellet er imidlertid grunnlaget for beregningene tatt i den aritmetiske gjennomsnittsgehalt for hvert profil, og videre den spredning i gehalter som disse fremviser. Man har her benyttet profilene 28 til og med 46, med unntak av profil 43 (sjakt-

profil) hvor boring ikke er utført. Ved beregningene av ge-
halter i profilene er grensene for malmsonen satt generelt der
hvor borkjerneanalysene går over fra positive verdier for MoS_2
til å vise gjentakende "spor" eller "ikke spor". Dette er vist
i bilag 34 som gjengir et tilfeldig valgt borprofil.

Bilag 22 viser aritmetiske gjennomsnittsgehalter for de profiler
som er tatt med i beregningen. Beregningen viste:

Middelgehalt for profilene $\bar{w} = 0,120 \text{ \% MoS}_2$

Standard avvik $s = 0,029$

Variasjonskoeffisienten $v = \frac{0,029}{0,120} \cdot 100 \text{ \%} = 24,2 \text{ \%}$

Ut fra dette får man ved 68,3 % sannsynlighet for at ge-
haltene er riktige når man tillater feil i ge-
haltene på 0,005 % MoS_2 , til-
svarende $p = 4,2 \text{ \%}$:

$$n = \left(\frac{t \cdot v}{p} \right)^2 = \left(\frac{24,2}{4,2} \right)^2 = 33 \text{ profiler}$$

Akseptert feil i profilenes ge-
halter er satt ned til $\pm 0,005 \text{ \% MoS}_2$
da feil i disse ge-
halter får større konsekvenser for de videre
malmberegninger.

Ut fra de nevnte premisser fant man at 33 profiler måtte oppbores
for at 68,3 % sannsynlighet skulle være oppfylt i den etter strøket
540 m lange del av malmsonen fra profil 28 til profil 46. Dette
innebærer en profilavstand på 16,5 m i stedet for 28,5 m.

Dersom man ønsker 95 % sannsynlighet for at profilene skal vise
malmsonens riktige ge-
halter, kommer man på tilsvarende måte til
at den 540 m lange strøksonen må inneholde 133 profiler med 4,1 m
mellom hvert profil. Dette vil imidlertid overskride enhver
rimelig økonomisk ramme, slik at man kan se bort fra disse tall
som urealistiske i praktisk-økonomisk sammenheng.

Med bakgrunn i de ovenfor nevnte forutsetninger tilsvarer en pro-
filavstand på 28,5 m en sannsynlighet på ca. 54 % for at malmsonens
gehalt skal få riktig verdi. Dette er under den sannsynlighet som
vanligvis aksepteres.

Generelt kan man dermed si som konklusjon at det tilrådes at man skjærer ned profilavstanden fra 28,5 m til 16,5 m, dersom man er villig til å bekoste en heving av sannsynligheten til et akseptabelt nivå.

5.6. Cut-off-gehalt.

Et av de beste hjelpemidler ved fastsettelse av malmgrenser i malmforekomster, er cut-off-gehalt som baserer seg på økonomiske kriterier. Dermed er dette hjelpemiddel det mest benyttede og mest aksepterte over alt i denne forbindelse.

Cut-off-gehalt er generelt definert som den laveste gehalt i en malmforekomst som kan bære økonomiske utgifter, - med andre ord den laveste gehalt som er lønnsom å bryte.

For bedre å illustrere hva cut-off-gehalt i praksis innebærer, er det her tatt med et enkelt beregningseksempel med tall fra A/S Knaben Molybdængruber. Tallene gjelder tilnærmet for driftsåret 1970.

Beregningene baserer seg på en fast årsproduksjon på 300.000 tonn råmalm, hvorav dagbruddets produksjonsandel er ca. 50 %.

Driftskostnader	25,00 kr/tonn
Avskrivninger	3,0 "
Samlede kostnader	28,00 kr/tonn

Under driftskostnader er også tatt med administrasjonskostnader og oppredningskostnader. Kapitalkostnader er holdt utenfor, men burde egentlig vært tatt med. Konsentratpris er oppført med kr. 16,68 pr. kg, - eller kr. 16.680,- pr. tonn. Dette gir videre den marginale effektive gjennomsnittsgehalt i råmalmen lik x:

$$\frac{x}{100} \cdot 16680 = 28,00$$

Marginalgehalt

$$x = 0,168 \% \text{ MoS}_2$$

Med effektiv gjennomsnittsgehalt på 0,168 % MoS_2 mener man den teoretiske gjennomsnittsgehalt i råmalmen fra et oppredningsmessig synspunkt, dersom utvinningen av MoS_2 i oppredningsprosessen var 100 %. I virkeligheten kan man ved Knaben sette denne utvinning til 93 %. Dette betyr at den virkelige gjennomsnittsgehalt i råmalmen må være $0,168 \cdot (100/93) = 0,181$ % MoS_2 for å oppveie tapet i oppredningsprosessen.

Ved en gjennomsnittlig råmalmgehalt på 0,181 % MoS_2 vil man altså ha balanse i regnskapet slik at inntekter akkurat dekker utgiftene. Man er under de gitte forhold et stykke på veg til å finne grensene for den økonomisk brytbare del av malmen.

Cut-off-gehalten i denne sammenheng er den laveste gehalt i malmen som kan brytes uten at den gjennomsnittlige gehalt i den brutte råmalm synker under 0,181 % MoS_2 .

Ved hjelp av tallene for frekvensfordelingen av analysene i malmsonen (se bilag 20), kommer man fram til sammenhengen mellom cut-off-gehalt og den tilsvarende gjennomsnittsgehalt. Denne sammenheng er funnet for malmen i Knaben II gruve, og er framstilt i bilag 23. Her framgår det at en gjennomsnittsgehalt på 0,181 % MoS_2 krever en cut-off-gehalt på 0,054 % MoS_2 . Dette innebærer at malmgrensene i dette tilfelle må settes ved 0,054 % MoS_2 .

Nå bør det tilføyes at beregninger av cut-off-gehalt ofte er betraktelig mer kompliserte enn det som ovenfor er skissert. Vanligvis trekkes en hel rekke parametre inn i disse beregninger, som f.eks. optimalt produksjonsnivå, som på sin side igjen er en funksjon av gruveselskapets målsetting, horisontale malmareal og malmens avbygningstid. På denne måten kan man uttrykke cut-off-gehalten ved ligninger som inneholder opptil 10-12 forskjellige parametre, noe som krever hjelp av datamaskiner ved utregningen.

Anvendelse av cut-off-gehalt ved fastsettelse av malmgrenser i Knaben II gruve kan synes å by på visse problemer, hovedsakelig på grunn av de store variasjonene i molybdenglansinnholdet i selve malmsonen. Av profiler med påtegnede analyseverdier ser man at man ofte vil få felter i selve malmsonen som ligger under den

økonomiske grense, og som følgelig heller ikke kan brytes. Dette problem kan imidlertid løses på to uavhengige måter:

1. Man kan stille det krav til malmbrytningsmetode at den tillater selektiv brytning av malmen i malmsonen. Dette betyr omlegging av den benyttede brytningsmetode.
2. Man kan justere opp cut-off-gehalten generelt, slik at man på denne måte kompenserer for gråberginnblanding fra uholdige partier i malmsonen. Dette medfører at nåværende brytningsmetode i prinsippet kan beholdes. Denne oppjustering krever imidlertid at man nøyaktig skaffer seg kjennskap til den innvirkning disse fattige partier i malmsonen har på den øvrige gehalt, noe som vil innebære relativt enkle regneoperasjoner dersom man benytter borkjerneanalysene riktig.

5.6.1. Forholdet mellom cut-off-gehalter og malm-mengder.

Den økonomiske karakteristik av en malmforekomst kan til en viss grad uttrykkes ved forholdet mellom cut-off-gehalter og de malm-mengder disse representerer. Man får dermed et bilde av hvor stor del av malmforekomsten som er av økonomisk interesse ved en gitt cut-off-gehalt, samtidig som man får et tallmessig begrep om den konsekvens en forandring av cut-off-gehalt innebærer for den økonomiske malmmengde.

Da beregninger av disse forhold tidligere ikke er foretatt ved Knaben II, så jeg det som en oppgave å bringe klarhet på dette punkt, - ikke minst ut fra at disse forhold har relevans til problematikken omkring beregningen av malmgrenser og gehalter.

Ved beregningene ble kurven for den kummulative frekvensfordeling, vist i bilag 21, benyttet. Man bygger her på den teori at de 495 analyser som kurven gir et bilde av, representerer hele malmforekomsten. I og med at absissen (y-aksen) uttrykker analysenes kummulative frekvens i %, har man hele tiden et begrep om hvor stor prosentandel av det samlede antall analyser hver analyseverdi står for. Ved å overføre disse tall til malmforekomsten,

får man f.eks. at den analyseverdi hvor 90 % av analysene har lavere verdi, utgjør cut-off-gehalten for 10 % av den samlede malm-mengde. Den analyseverdi hvor 60 % av analysene har lavere verdi, utgjør cut-off-gehalten for 40 % av den samlede malm-mengde osv.

Bilag 24 viser grafisk hvordan sammenhengen mellom cut-off-gehalt og tilsvarende malm-mengde i % av hele malmforekomsten, forløper. Eksempelvis ser man at den økonomiske andel av malmforekomsten reduseres fra 67,3 % til 43 % ved å øke cut-off-gehalten fra 0,050 % MoS₂ til 0,100 % MoS₂.

Matematikeren Henning har påvist at dette forhold ofte kan uttrykkes ved ligningen

$$R = C \cdot e^{a-bx} \quad \text{for impregnasjonsforekomster,}$$

hvor

R = malm-mengde ved cut-off-gehalt lik x

C = konstant = a/b

e = grunntallet i den naturlige logaritme

a og b er konstanter.

Ved å sette inn verdier fra kurven i bilag 24 i Hennings ligning, kom man fram til den funksjon som gjelder for Knaben II:

$$R = 0,602 \cdot e^{5,12-8,5x}$$

Kurven for denne ligning er trukket opp i bilag 24 med bruddt strek og viser seg å falle relativt godt sammen med kurven funnet ut fra kummulativ frekvensfordeling av analyser på sannsynlighets-papir.

6. VURDERING AV MALMBRYTNINGSMETODER.

Det skal her tas med noen korte betraktninger om de anvendte brytningsmetoder i Knaben II gruve. De rent gruvetekniske problemer vil ikke bli berørt her, da disse er ivaretatt av fagfolk på området. Imidlertid kan det være av betydning å se litt nærmere på brytningsmetodenes effekt.

Den brytningsmetode som ut fra et rent malmøkonomisk synspunkt skal være den mest effektive, må helt eller delvis tilfredsstille følgende krav:

1. Stor produksjon må kunne oppnås. Dette innebærer at høy mekanisering og store maskinenheter må kunne benyttes.
2. Små malmtap og liten gråberginnblanding.
3. Metoden må være fleksibel.
4. Selektiv bryting må være mulig.
5. Metoden må være mulig ved 30-35° fall når mektigheten i malmsoner er 20-50 m.

Dersom man vurderer den hittil benyttede brytningsmetode ved Knaben II mot disse krav, kommer man fram til følgende karakteristiske trekk ved den:

1. Muligheten for stor produksjon er begrenset i og med at høy mekanisering og større maskinenheter vanskelig kan benyttes.
2. Store malmtap i pillarer (28,6 %) i og med at disse ikke kan røves. I tillegg har man det inntrykk at betydelige mengder malm blir stående igjen mot liggen i øvre del av strossene som følge av at man prøver å gjøre malmen mest mulig selvtransporterende. Dermed øker malmtapet.
3. Ytterligere fare for gråberginnblanding i nedre del av strossene som følge av at man lar strosse-liggen stupe opptil 40-50° for å oppnå selvågende selvtransporterende malm her.
4. Lite fleksibel metode.
5. Begrensede muligheter for selektiv bryting.
6. Metoden er ikke svært god ved 30-35° fall.

Det bør nevnes at metoden er rom- og pillar-brytning og at man benytter pall-strossing i de åpne rom. Rommene er 20 m brede

etter malmsonens strøkretning, og de er avdelte med 10 m brede pillarer på tvers av malmsonen.

Disse trekk ved brytningsmetoden tilsier i realiteten lav effektivitet. Dette har spesielt konsekvenser for Knaben II hvor man må ha stor produksjon og høy effekt for å være levedyktig ved de lave gehalter man arbeider med.

Nå er man imidlertid her i ferd med å gå over til en ny brytningsmetode som det stilles store forhåpninger til med hensyn til effekt. Denne metode er en modifisert form for tversgående skivebrytning som er tillempet forholdene i Knaben II.

Etter å ha studert en rekke forskjellige brytningsmetoder, kommer man faktisk fort fram til at tversgående skivebryting er den metode som i størst grad tilfredsstiller de krav som forholdene ved Knaben II stiller. Tversgående skivebryting anvendes generelt på malm-mektigheter fra 20 til 50 m. Skiveorter drives vinkelrett på strøket, og mellom hvert brytningsrom gjensettes midlertidige pillarer som siden røves. Bilag 25 viser generelt og skjematisk metoden.

Noen øvrig beskrivelse av metoden vil ikke bli foretatt her, men noen generelle trekk bør fremheves summarisk:

Fordeler:

1. Produktiv metode.
2. Høy mekanisering og store maskinenheter mulig.
3. Små malmtap (ca. 10-20 %), vesentlig i pillarer.
4. Lite gråberginnblanding (5-10%), vesentlig fra brytning av pillarer.
5. Elastisk metode.
6. Selektiv bryting mulig.
7. Uavhengig av fallet ved større mektigheter (20-50 m).

Ulemper:

1. Normalt omfattende tilredning påkrevet.
2. Store investeringskostnader påkrevet.

Ut fra dette skulle metoden ha mye å tilby i forbindelse med malm-bryting ved Knaben II, dersom man er villig til å satse den nødvendige kapital som kreves.

7. REGELMESSIGHETER I MOLYBDENGLANSFØRINGEN I FORHOLD TIL MALMKROPPENS DIMENSJONER.

Med regelmessigheter i molybdenglansføringen forstås her den kvantitative regelmessighet i molybdenglansens gehaltfordeling i forhold til malmkroppens dimensjoner.

Det beste utgangspunkt for påvisning av eventuelle regelmessigheter på dette punkt, er borkjernebeskrivelser og de tilhørende borkjerneanalyser fra borprofilene, og dette er da benyttet her.

Forsøk på å korrelere borkjerneanalysenes gehaltnivå med de tilsvarende geologiske forhold munner ut i de samme konklusjoner som ble trukket under avsnittene 3.3. og 3.4. Det er nemlig tydelig at de relativt høye analyseverdier er tilknyttet kvartsgangrike partier i malmsonen, mens de lavere analyser fra 0,100 % MoS_2

og nedover hovedsakelig er knyttet til områder med bergarts-impregnasjoner i grågranitt, overgangsgranitt, aplitt og i enkelte tilfelle rødgranitt. Kvartsganger er i disse områdene vanligvis i fåtall. Enkelte mindre områder av malmsonen viser ekstremt lave gehalter ned mot null i enkelte profiler. Dette gjentar seg relativt ofte, spesielt i ligg-delen av malmsonen. Nå er imidlertid hengdelen av malmsonen som regel dårligere oppboret enn ligg-delen, slik at man ikke med sikkerhet kan si at lavgehalt-områder bare er karakteristiske for ligg-delen.

Slike ekstreme lavgehalt-områder i malmsonen kan i de fleste tilfelle lokaliseres til apofyselignende utstikkere av rødgranitt som kiler seg inn. Nå har man også eksempler på at grågranitt eller overgangsgranitt på sine steder kiler ut som apofyser i rødgranitten. Dermed står man overfor det problem at man ikke vet hva som egentlig er apofyse i hva, - noe som bringer inn den genetiske problematikk. De genetiske problemer skal imidlertid ikke tas opp igjen, slik at en diskusjon om dette tema ikke føres videre her.

Imidlertid er det også holdepunkter for at enkelte områder i grågranitt og overgangsgranitt er svakt MoS_2 -impregnert og samtidig fattig på MoS_2 -førende kvartsganger, slik at man her oppnår svært lave gehalter.

7.1. Gehaltens forløp i profilblokker.

En metode for om mulig å påvise regelmessigheter i molybdenglansføringen i forhold til malmkroppens dimensjoner er forsøkt ved hjelp av gjennomsnittlige gehaltberegninger i profilblokker. Metoden er nokså enkel og grov, men skulle likevel gi et visst tredimensjonalt bilde av gehaltforløpet i malmsonen.

Framgangsmåten er følgende:

Heng- og ligg-grensene for malmsonen i profil 28 til og med profil 46 trekkes opp. Generelt settes disse grenser ved 0,001 % MoS_2 . Det forekommer at analyser som ikke viser spor av MoS_2 kommer innenfor grensene, men disse analyser blir da regnet å tilhøre malmsonen som følge av lokaliseringen. Videre trekkes den tilnærmede midtlinje mellom de to grenser i heng og ligg. Der nest trekkes en linje på tvers av fallet slik at malmsonen blir delt i en øvre og nedre del ved nivå ca. 10 m over etasje 10. På denne måten inndeler man hvert profil i fire noenlunde like store blokker: øvre heng, øvre ligg, nedre heng og nedre ligg. Bilag 34 viser hvordan et tilfeldig utvalgt profil er inndelt i fire blokker.

Den aritmetiske gjennomsnittsgehalt og standard avvik blir beregnet for hver blokk ut fra borkjerneanalysene. Bilag 26 viser både tabellarisk gjennomsnittsgehaltene for hver blokk og et vertikalt lengdeprofil av malmsonen hvor de beregnede deler av tverrprofilene er avmerket etter sine vertikale utstrekninger.

Bilag 27 viser diagramatisk gjennomsnittsgehalter i profilblokkene, mens bilag 28 viser standard avvik i analyseverdiene i de samme profilblokker.

Som bilag 27 viser, har man tildels svært store variasjoner i gjennomsnittsgehaltene i blokkene fra profil til profil. Øvre heng-serien viser gjennomsnittlig de høyeste gehalter med den høyeste verdi i profil 38. Det ser forøvrig ut som verdiene viser en stadig avtakende tendens fra profil 38 og utover, men dette kan skyldes at man her nærmer seg den øvre grense for malmsonen som styper svakt sydover (se forøvrig bilag 3, fig. 1.).

Det samme gjør seg gjeldende for øvre ligg-serien som også har sin høyeste verdi i profil 38.

Nedre heng- og ligg-serier viser ikke like store sprang i gehalt-nivå fra profil til profil som de øvre blokk-serier, men også her er variasjonene stort sett betydelige. Det ser imidlertid ikke ut som om gehaltene viser noen generell tendens til å avta utover i profilene, i den nedre del av malmen.

Når det gjelder malmsone's heng- og ligg-deler, ser man tydelig at hengen gjennomsnittlig representerer de høyeste gehalter i sonens øvre del, mens ligg-delen gjennomsnittlig viser høyere gehalter enn hengdelen i malmens nedre del. Generelt viser øvre del av malmsonen høyere gehalter enn den nedre del. Dette kan muligens tyde på at man har avtakende gehalter mot dypet, da spesielt i hengen.

Ved å sammenholde bilag 27 og 28 får man fram standard avvik i de forskjellige profilblokker i forhold til den respektive gjennomsnittlige gehalt i blokkene. Ut fra dette ser man generelt at de høyeste gehalter gir de høyeste standardavvik. De laveste gehalter gir også relativt høye standardavvik. Spredningen i analyseverdiene er med andre ord størst i blokker som har de høye og lave gehalter. Dette innebærer at disse gehalter ikke er et resultat av en generell økning eller senkning av analyseverdinivået i de respektive blokker, men at gehaltnivået trekkes i den ene eller den annen retning som følge av enkelte spredte ekstremale analyseverdier.

Bilagene 29, 30, 31 og 32 viser statistiske kontrollkart for de fire blokkserier. Standardavvik i disse bilag er beregnet ut fra gjennomsnittsgehaltene i den enkelte blokkserie. Bilagene uttrykker de samme kurvene som i bilag 27, men man får her lokalisert hver enkelt blokk statistisk i forhold til ± 1 , 2 og 3 standardavvik for den respektive blokkserie. Man får dermed fram spredningen i blokk-gehaltene i forhold til den forventede gehalt i hver enkelt blokkserie. Spesielt i strøkretningen gir spredningen inntrykk av å være betydelig, men også i blokkene innenfor samme profil merker man seg relativt store variasjoner i gehaltene.

Ut fra de framgangsmåter jeg har benyttet er det ikke mulig for meg å innse noen virkelig regelmessighet i molybdenglansføringen i forhold til malmkroppens dimensjoner. Variasjonene er såvidt store og usystematiske fra blokk til blokk og fra profil til profil at det er umulig å trekke noen lovmessigheter ut av tallene med hensyn til trend-tendenser i gehaltene. For meg ser molybdenglansen ut til å være erratisk fordelt i malmsonen.

7.1.1. Vurdering av framgangsmåten.

De metoder som er benyttet for å påvise eventuelle regelmessigheter i molybdenglansføringen må i høy grad betraktes som grove metoder, i første rekke fordi tverrprofilene bare deles i fire deler. Ved å dele profilene inn i mindre arealenheter ville derimot mulighetene for å finne lokale trendtendenser i gehaltverdiene teoretisk sett være større. Man ville dermed ha et grunnlag for å kunne tegne en serie nivåkart som viste et mer detaljert bilde av gehaltkonfigurasjonen i malmsonen. Begrunnelsen for at ikke dette ble gjort, er følgende.

1.

Feil ved de enkelte analyser gjør seg sterkere utslag for gjennomsnittsgehalten ved mindre arealenheter fordi antall analyser pr. enhet avtar med arealets størrelse. Dermed svekkes den statistiske sannsynlighet for at hver enhets gehalt gir riktig verdi.

2.

Deler av tverrprofilene er mindre godt dekket av diamantboringer. Ved inndeling i mindre arealenheter av profilene ville dette resultere i enkelte enheter som viser uriktige null-gehalter. Man får følgelig store variasjoner i gehaltenes sannsynlighetsnivå fra enhet til enhet, i takt med det antall analyser hver enhet inneholder.

I den videre vurdering kan det være verdt å peke på at den benyttede framgangsmåte baserer seg på aritmetiske gjennomsnittsgehalter i stedet for veide gjennomsnitt. Man får dermed ikke utført en tilnærmet justering for variasjoner i oppboringstettheten i profilene, hvilket kan betraktes som en svakhet. Men samtidig

unngår man de usikkerheter som en slik tilnærmet justering må ansees å representere.

Konklusjonen må bli at framgangsmåten i grov målestokk gir et forholdsvis riktig bilde av molybdenglansfordelingen i forhold til malmkroppens dimensjoner.

7.1.2. Forslag til videre behandling.

Under forutsetning av at man aksepterer de usikkerheter som hver enkelt borkjerneanalyse tidligere er vist å være belastet med, kan man benytte andre og mer avanserte metoder for å påvise eventuelle regelmessigheter i molybdenglansføringen.

Ved hjelp av en større datamaskin som raskt er istand til å behandle store datamengder har man muligheten til å finne molybdenglansens konfigurasjon i tre dimensjoner. Utgangspunktet her er de enkelte borkjerneanalyser som må koordinatbestemmes i rom, slik at man på datamaskinprogrammet får å behandle parametrene analyseverdi - respektive plassering i rommet. Ved en egnet programoppsetting skulle det så være mulig å få fram det fullstendige konfigurasjonsmønster for molybdenglansen i tre dimensjoner. Dermed ville eventuelle regelmessigheter straks kunne påvises.

Det kreves imidlertid betydelige kunnskaper i datamaskinprogrammering for å sette opp et program som vil gi en oversiktlig resultatpresentasjon.

Dersom man kjente molybdenglansens konfigurasjon så fullstendig som det ovenfor skisseres, ville man samtidig muligens ha ervervet seg et hjelpemiddel til løsningen av de malmgenetiske problemer. Teorien her går ut på at den primære molybdenkonfigurasjon i malmsonen i hovedtrekkene sannsynligvis vil være bibeholdt selv etter sterk metamorfose og betydelig mobilisering av det aktuelle element. Ved å sammenligne den framkomne MoS_2 -konfigurasjon med tilsvarende konfigurasjonsmønstre i andre kjente forekomster hvor man har fastlagt geneseforholdene, skulle det være visse muligheter for å komme fram til en malmgenetisk konklusjon for malmforekomster på Knaben. I tillegg har man de geologiske faktorer å støtte seg til. Slike

omfattende regresjonsanalyser er i de senere år blitt mulige ved hjelp av datamaskiner.

Da en løsning av geneseproblemet i forbindelse med molybdenglansforekomsten i Knaben II vil ha store konsekvenser for vurderingen av potensielle malmreservemuligheter, vil jeg bare tilslutt i den forbindelse få konkludere med at bestrebelser på å komme fram til en løsning på dette punkt bør intensiveres.

7.2. Malmens mektighet i profiler.

På bakgrunn av borprofilkarter ble det gjort en undersøkelse for om mulig å fastslå malmsoneens mektighetsforløp i strøkretningen mellom profil 28 og profil 46. Malmsoneens grenser i heng og ligg er generelt satt ved 0,001 % MoS_2 , og profilene er inndelt i en øvre og en nedre del, slik som tidligere er beskrevet i 7.1.

Malmsoneens gjennomsnittlige mektighet for øvre og nedre del av profilene er så tilnærmet beregnet. Bilag 33 viser grafisk hvordan de gjennomsnittlige mektigheter har sitt forløp gjennom profilene. Det minnes her om at avstanden mellom hvert profil er 28,5 m og at avstanden mellom profil 28 og profil 46 da er ca. 540 m.

Bilag 33 viser videre at mektigheten har markant økning fra profil 28 til profil 30 i øvre del av profilet, og fra profil 28 til profil 32 i den nedre del. Deretter viser både øvre og nedre del en generell tendens til å avta i mektighet utover i profilene. Hvorvidt denne tendens skal antas å fortsette videre sydover fra profil 46, er vanskelig å ha noen eksakt formening om, men man skal ikke se bort fra muligheten.

Videre ser man at nedre del av profilene generelt viser større mektigheter enn øvre del. Dette kan imidlertid tyde på at malmsoneen vider seg ut mot dypet.

Det ser forøvrig ikke ut som om man har noen fullstendig sammenheng mellom malmsoneens mektighet i profiler og de tilsvarende gjennomsnittsgehalter. Imidlertid bør det pekes på at øvre del av profilene

som generelt har de minste mektigheter, viser de høyeste gjennomsnittsgehalter, mens det omvendte gjelder for profilenes nedre del. Dette kan til en viss grad tyde på at det eksisterer en sammenheng mellom relativt høye gjennomsnittsgehalter i malmsonen og mindre mektigheter. Det omvendte gjelder da også.

8. SUMMARISK OVERSIKT OVER FORSLAG TIL FORBEDRING AV METODENE FOR BEREGNING AV GEHALTER OG MALMGRENSER.

På bakgrunn av at beregningen av gehalter og malmgrenser baserer seg på samme borkjerneanalyser, vil forslag til forbedring av metoder ofte angå både gehalter og malmgrenser.

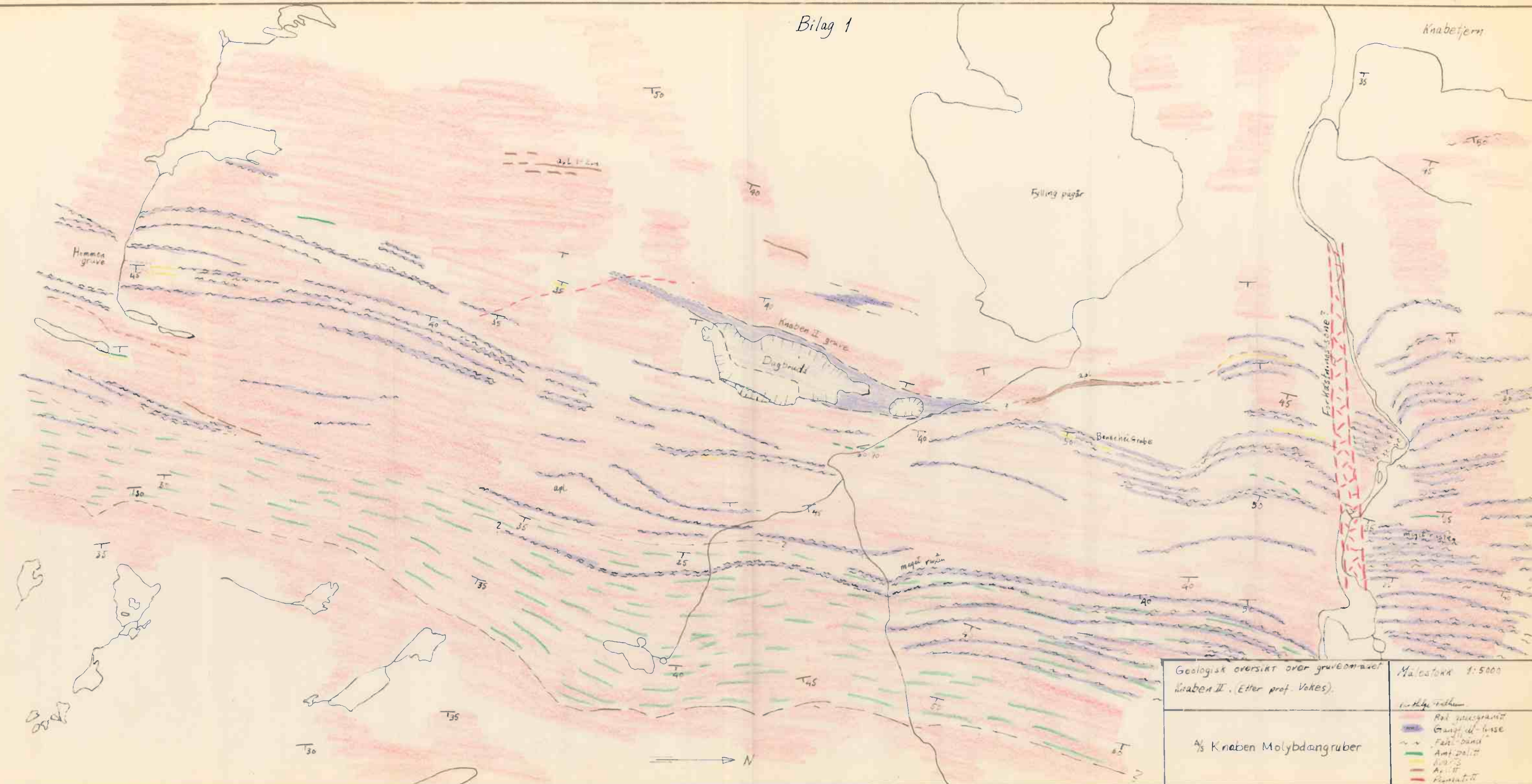
Ut fra de retningslinjer som tidligere er skissert opp ved vurderingen av de forskjellige punkter, kan man summere opp forslagene til forbedring av metodene som følger:

1. Diamantborings-mannskapet bør gjøres oppmerksom på de muligheter man har for tap av MoS_2 i borkjerner fra in situ posisjon til laboratoriet. Det bør her legges stor vekt på kravet til forsiktig behandling av borkjernene.
2. Diamantborhullene bør settes vinkelrett på hovedplanet til molybdenglansmineraliseringen. Det bør tilstrebes en konstant avstand lik 11 m mellom hvert borhull i profiler. Avstanden mellom hvert profil bør ikke være større enn 16,5 m. På denne måte vil man oppnå 68,3 % sannsynlighet for at de beregnede gehalter i profilene er representative, hvilket regnes for å være den nedre akseptable grense for sannsynlighetsnivået. Ved at diamantborhullene er parallelle og har lik innbyrdes avstand, oppnår man tilnærmet maksimal likeverdighet i borkjerneanalysene, og man slipper å veie gehaltene med det areal hvert enkelt borhull omgir seg med.
3. Borkjerneanalyser bør korrigeres for respektive slamanalyser. Man bør på forhånd generelt undersøke forholdene omkring slamprøvetakingen og slamanalysene.
4. Den nåværende volumetriske (titrimetriske) analysemetode bør forlates og kolorimetrisk analysemetode bør anvendes i stedet, ved lavgehalt-prøver, for å senke analysefeil-nivået.

5. Ved det nåværende diamantboringsopplegg bør man veie gehaltene i borhullene med det areal det enkelte borhull omgir seg med. Man oppnår dermed en bedre tilnærming av gehaltene til et mer representativt nivå.
6. Man bør forsøke å klarlegge forholdet mellom gehalter i borkjerner, og gehalter fremkommet ved produksjon i de samme områder, slik at man om mulig oppnår et grunnlag for å korrigere borkjernegehalter til et riktigere nivå. Dette har betydning ved malmberegninger.
7. Det foreslås at grade-control innføres, slik at man kan oppnå bedre og sikrere oversikt over gehalt- og tonnasjesituasjon på hvert enkelt produksjonssted i gruen.
8. Malmgrensene bør generelt settes ut fra den aktuelle cut-off-gehalt. Man har på denne måten en viss kontroll for at man holder seg innenfor en økonomisk grense.
9. Ved produksjon bør man tilstrebe en brytningsmetode som gir muligheter for selektiv brytning.

9. LITTERATURHENVENDELSER.

A/S Knaben Molybdængruber	Arkivmateriale
Bolidens Gruvaktiebolag, Gruvförvaltningen, Central arbetsstudie - och Utveck- lingsavdelning	Beräkning av brytvärdhets- gränser.
Berge, Nielsen, Myran	Kompendieutkast til brytnings- metoder.
Borchert, H.	Lagerstättenbildung, Magmatismus und Geotektonik (Geologische Rund- schau, 50, 1960).
The Canadian Institute of Mining and Metallurgy	Ore Reserve Estimation and Grade Control.
Koch & Link	Statistical analysis of geological data.
Kreiter, V.M.	Geological Prospecting and Exploration.
Lister & Gallagher	An inter-laboratory survey of the accuracy of analysis (Extract from Transactions/Section B of the Institution of Mining and Metallurgy: Applied earth science, vol.79,1970).
Li, Bjørn	Kompendium i bergmekanikk.
McKinstry, H.E.	Mining Geology
Mineralium Deposita	Vol. 6, Number 3, September 1971, s. 177-195.
Newhouse, W.H.	Ore Deposits as Related to Structural Features.
NGU nr. 217	Norges molybdenforekomster
Truscott	Mine Economics
Zeschke, G.	Prospektion und feltmässige Beur- teilung von Lagerstätten.



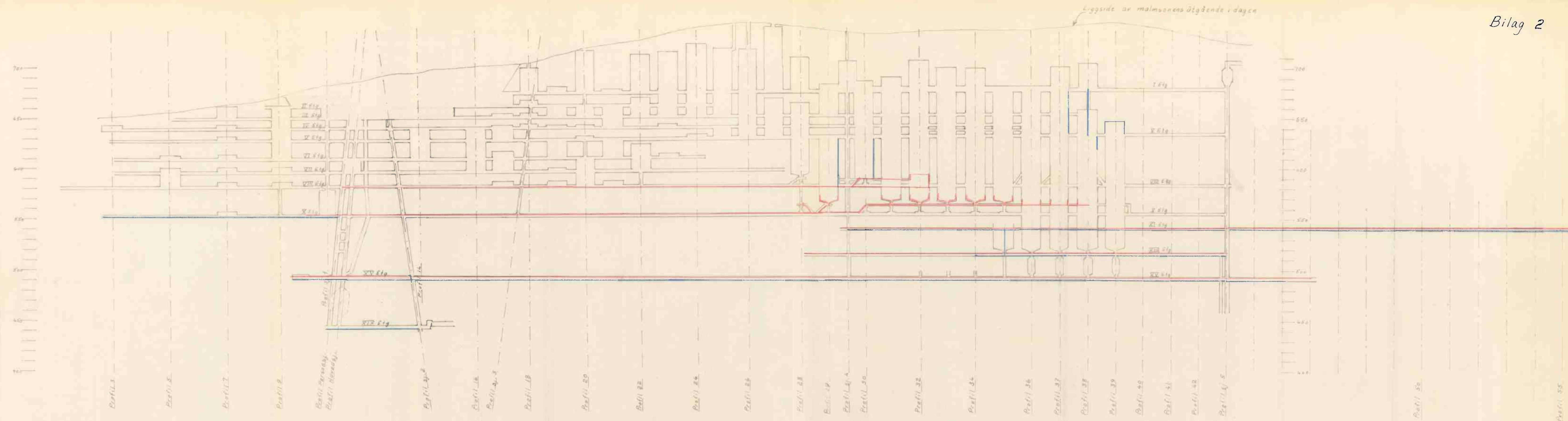
Geologisk oversikt over gruveområdet
Knaben II. (Efter prof. Vokes).

Målestokk 1:5000

1/2 Knaben Molybdangruber

Legende:

- Red microgranite
- Green and yellow amphibolite
- Purple and blue gneiss
- Amphibolite
- Amphibolite
- Amphibolite
- Amphibolite



— Områder av gruvens hvor nyere geologisk kartlegging er utført med beskrivelse (Prof. Vokes).
 — Områder av gruvens hvor jeg har gjort undersøkelser og foretatt målinger av MoS_2 -førende elementer.

13-11-70
 15-1-69
 24-5-68
 20-1-68
 14-4-67
 11-8-66
 10-3-65

Ajourført 20-11-66. Ragnvald Flakum

Skjematisk lengdeprofil Knaben i Grube	Skisse av	Tegnet	20.11.66
Lengdeprofilen er laget iaddrevet på	1:2000	Prosjektør	10.11.66
tegnprofilene			
Is Knaben Molybdængruben		Estat for	
28 Oktober 1955		01.114	
Tegnstaten		Estat av:	
		Format 5 A4	

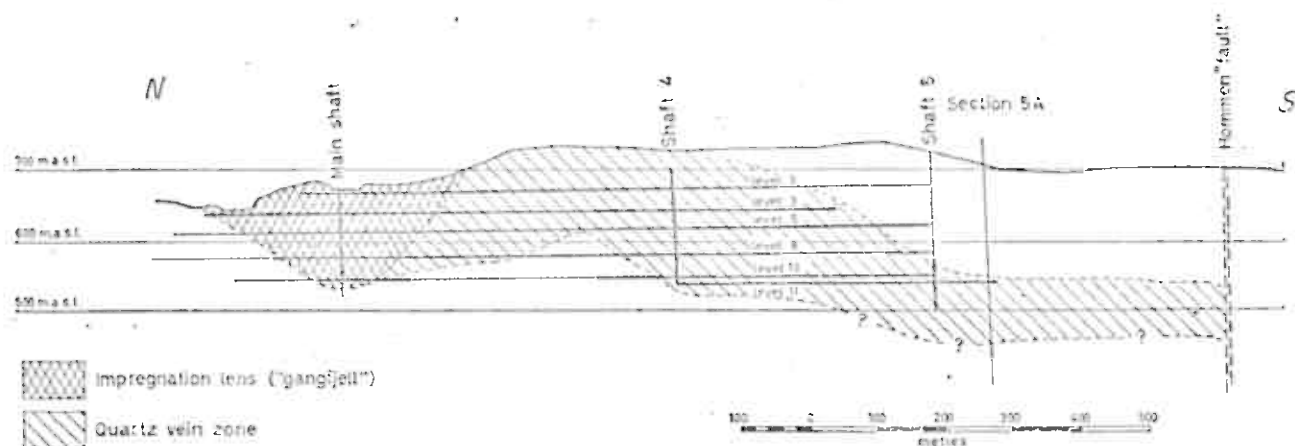


Fig. 1.

Fig. 1 viser et vertikalt lengdesnitt av Knaben II (skjematisk) med de to malmtypene inntegnet. (N.G.U. nr. 212, m, side 47).

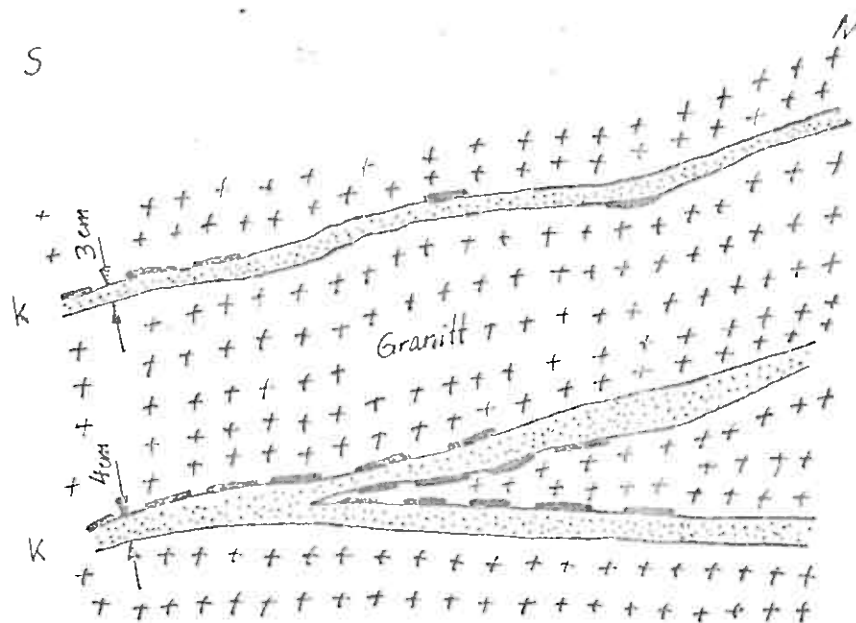


Fig. 2 :Figuren viser hvordan molybdenglans (grove brudte streker) opptrer på kvartsganger (k) på vest-veggen i en N-S-gående ort.

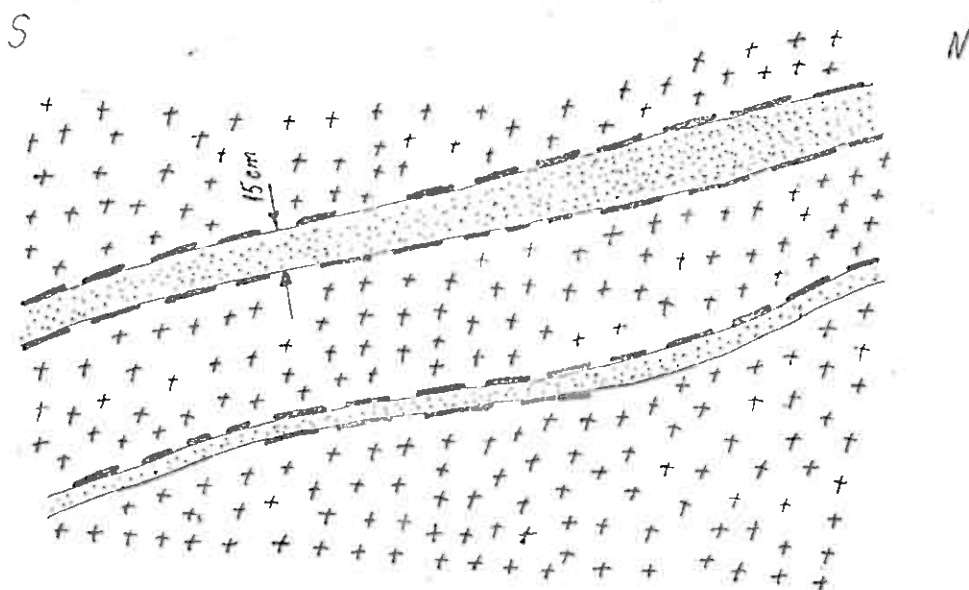


Fig. 3: Viser kvartsganger (små prikker) med molybdenglans på grenseflatene (grove, brudte streker).

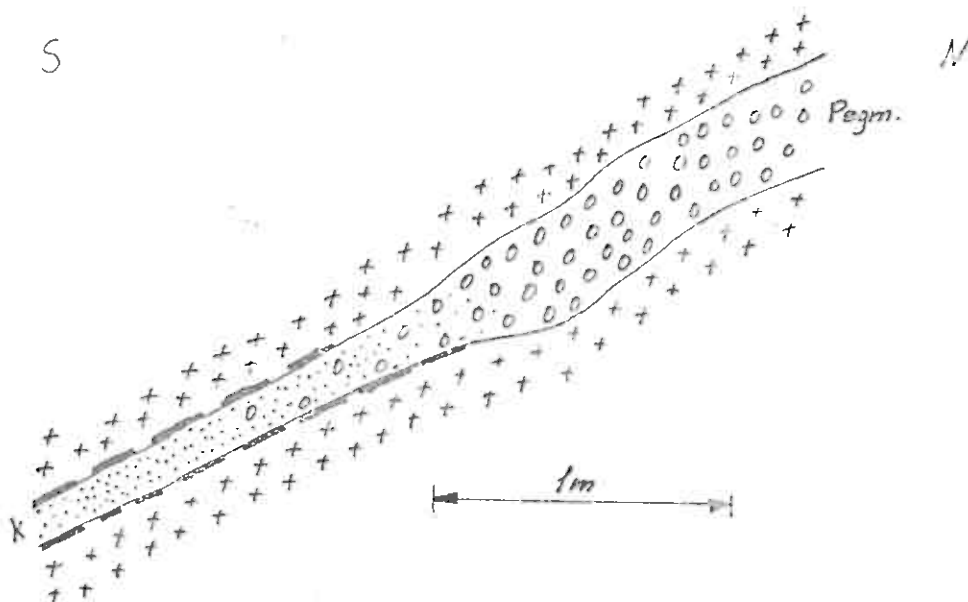


Fig. 4: Pegmatitt- gang som går over i en molybdenførende kvartsgang (k).

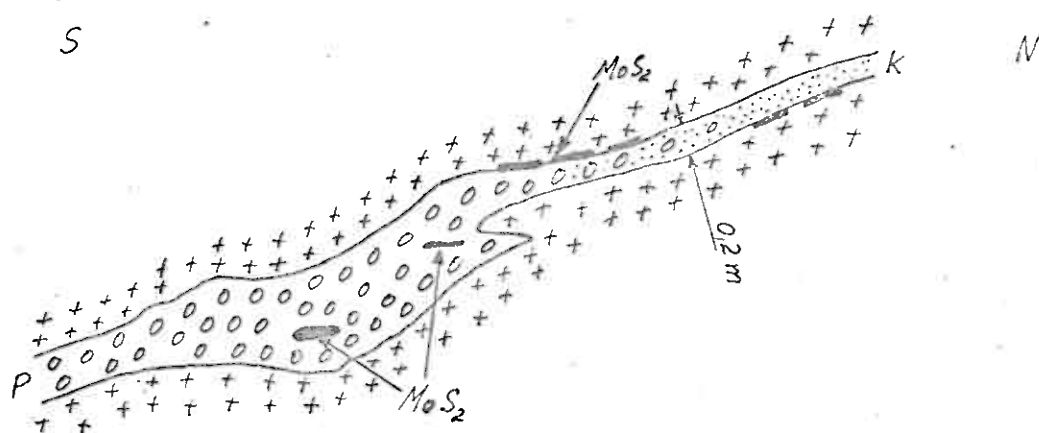


Fig. 5 : Pegmatitt (P) med aggregater av molybdenglans som går over i en kvartsgang med molybdenglans.

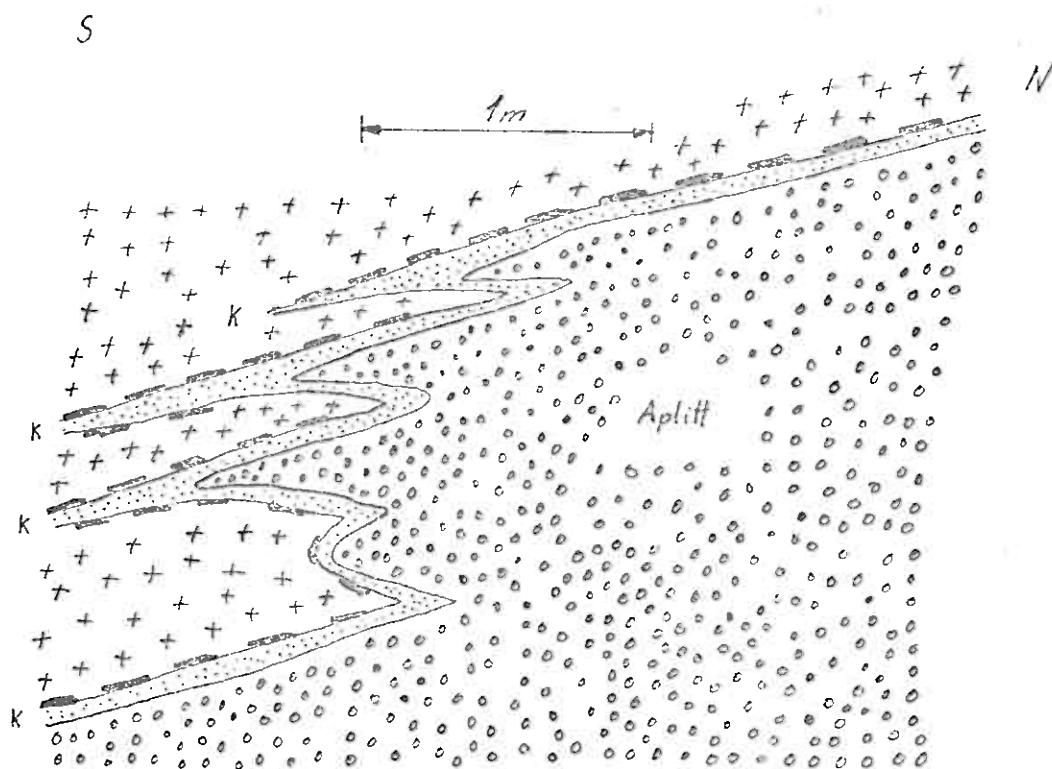


Fig. 6 : Finkornig aplitt med molybdenførende kvarts langs grensene. Ved aplittens forgreininger og utkilinger fortsetter kvartsbeleggene som vanlige kvartsganger.



Fig. 7 : Bildet viser en ca. 60 cm bred kvartsgang med molybdenglans som belegg på grenseflatene og som bånd inne i selve kvartsgangen. Hammerens totale lengde er 62 cm. (Etg. 10 + 10, strosse 35).



Fig. 8 : Bildet viser samme kvartsgang som fig.7, men fra en litt annen vinkel.

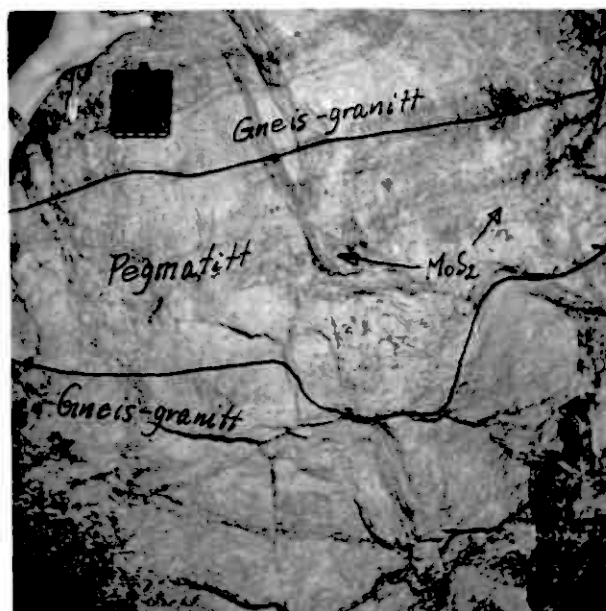


Fig. 9 : Bildet viser pegmatitt-gang som inneholder relativt store aggregater av molybdenglans. (Etg. 10, tverrslag østover fra hovedsjakt).

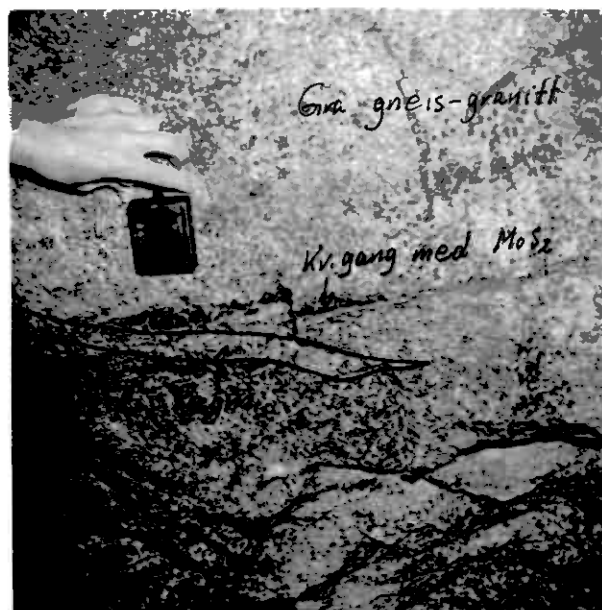


Fig. 10 : Bildet viser en smal pegmatitt-linse uten MoS_2 som skjærer en tynn molybdenglansførende kvartsgang. (Etg. 10 + 10, ved profil 32).

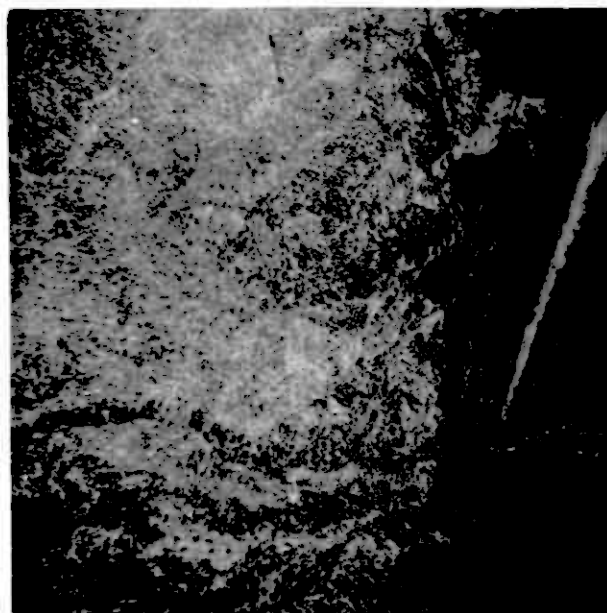


Fig. 11 : Bildet viser kvartsgang med molybdenglans på grenseflatene. Hammerens totallengde er 62 cm. (Etg. 10 + 10, i nærheten av profil 32).



Fig. 12 : Bildet viser en N-S-gående sleppe med MoS_2 -belegg. (Etg. 10 + 10).



Fig. 13 : N-S-gående sleppe med molybdenglansbelegg.
(Etg. 10 +10, i nærheten av profil 34).

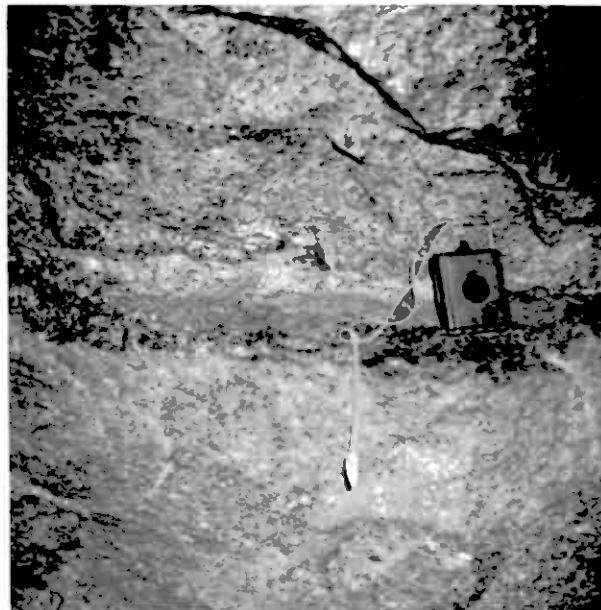
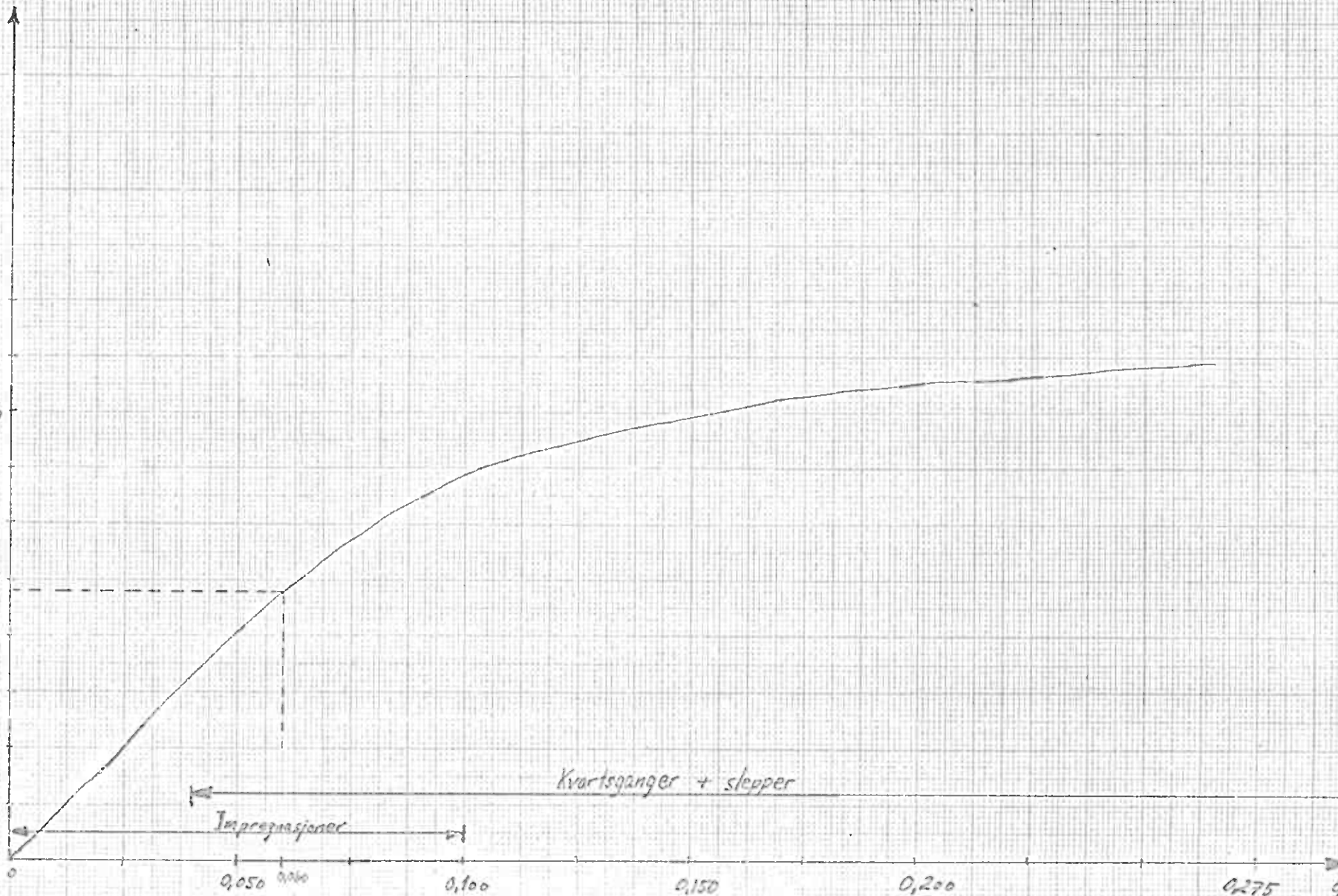
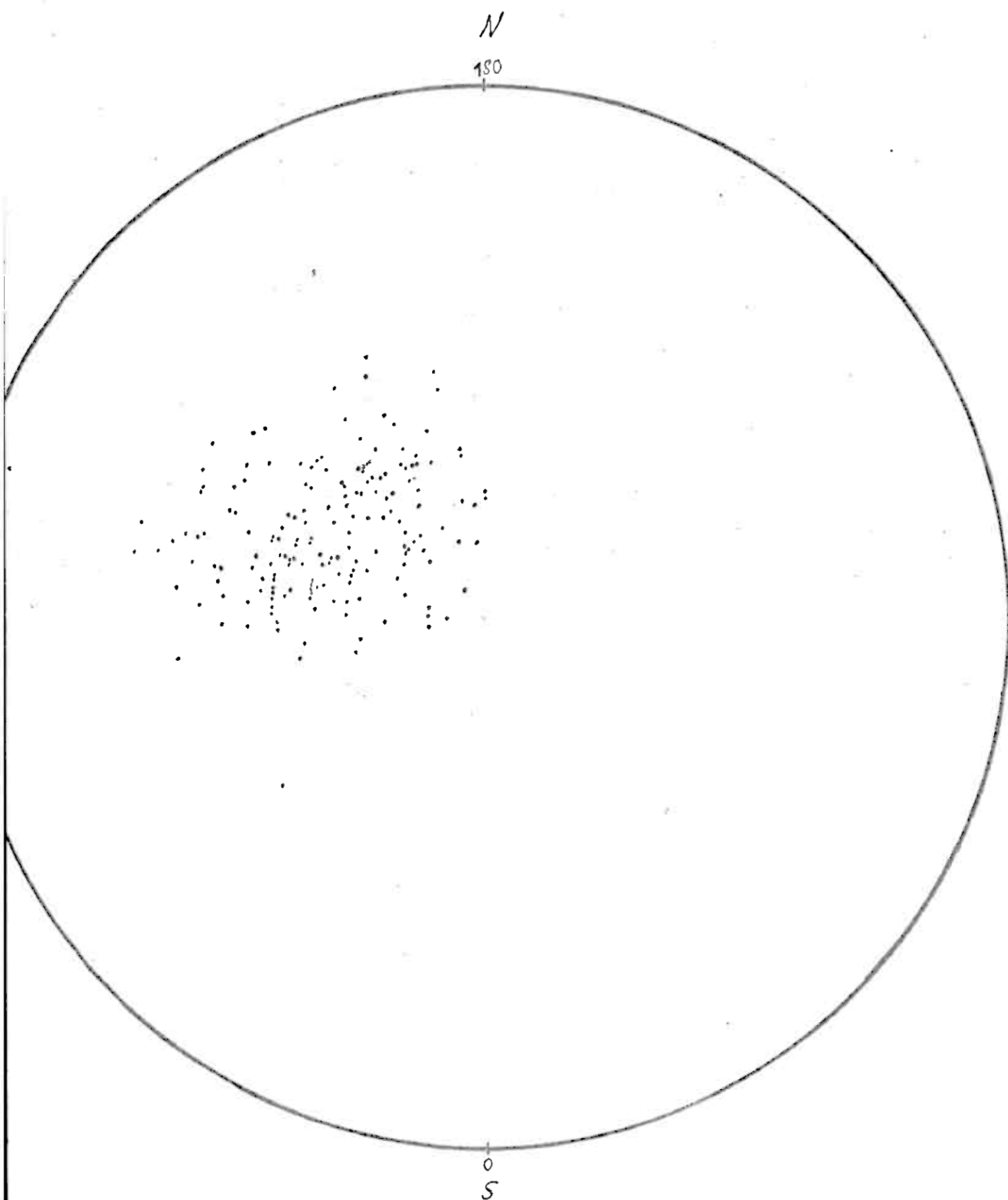


Fig. 14 : Samme sleppe som under fig. 13.

kumulativ frekvens i %

100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

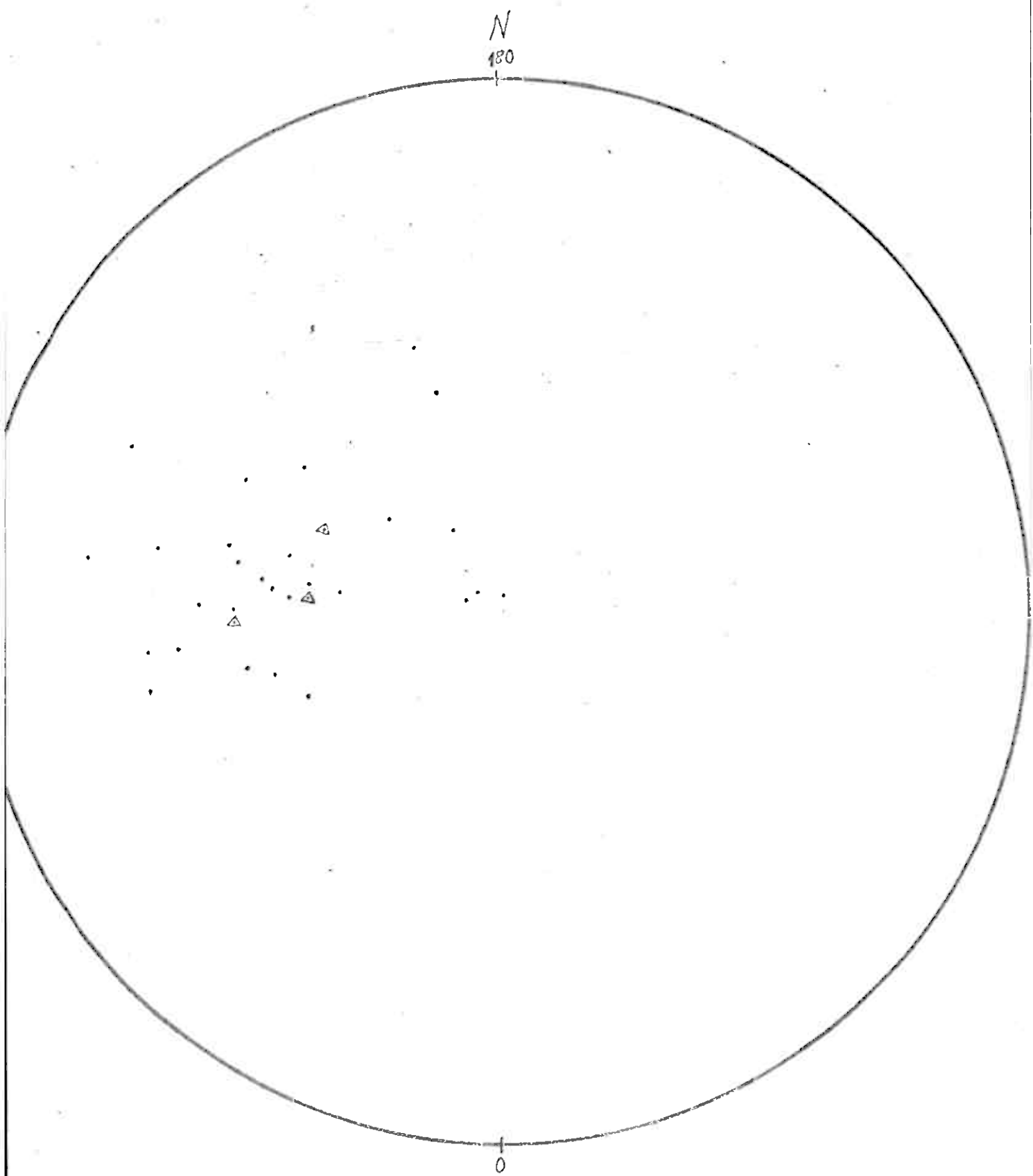




Kvaritganger og -linser (Schmidt)

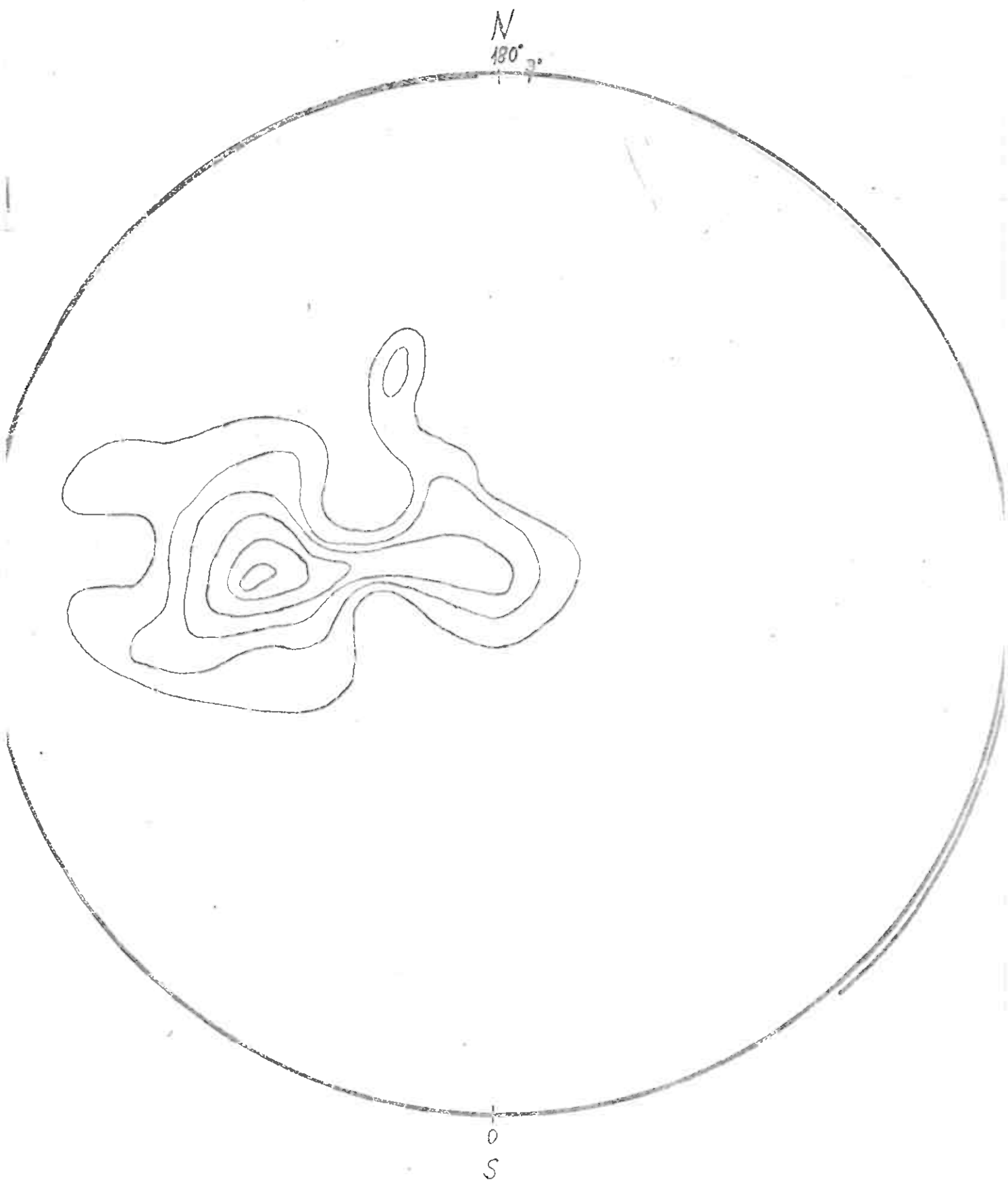


Kvartsganger og -linser (Schmidt).



• Slepper

△ Pegmatitter



Slepper (med MoS_2) (Schmidt).

Skjematiske skisser av kvartsganger i Knaben II med påtegnede piler som viser antatte skjerspenningsretninger.

Sett mot vest:

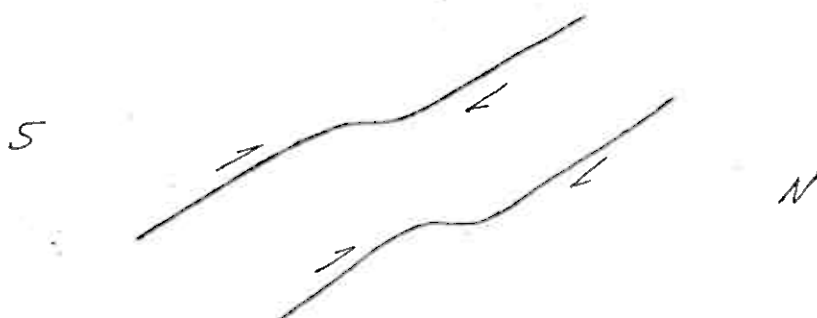


Fig. 15.

Sett i plan:



Fig. 16.

Sett mot sør:

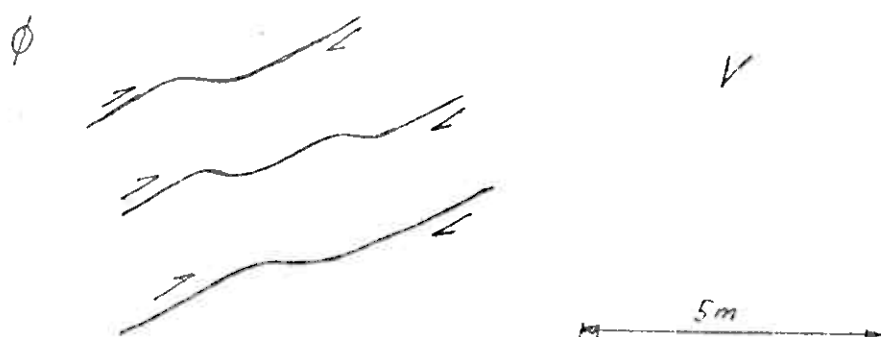
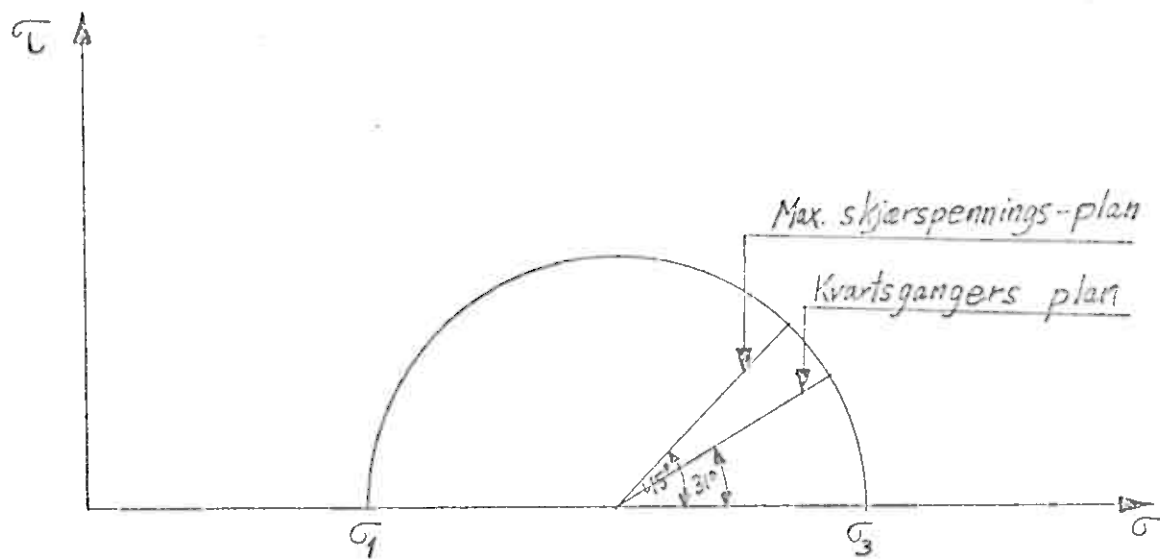
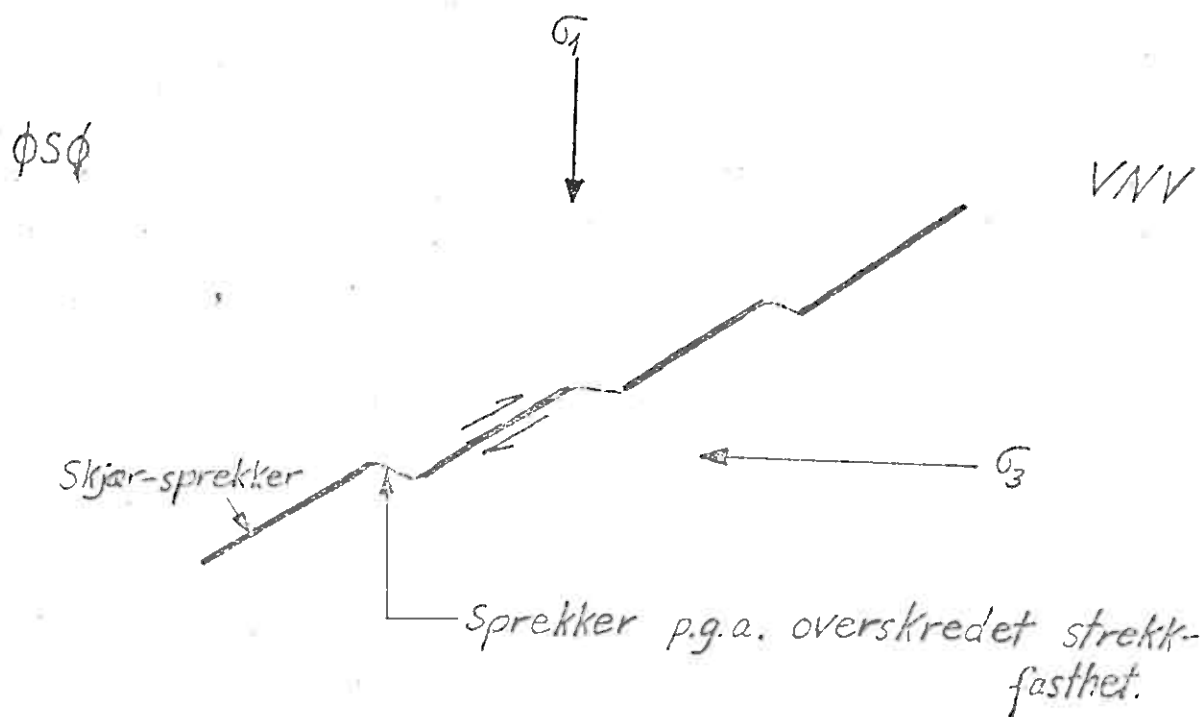
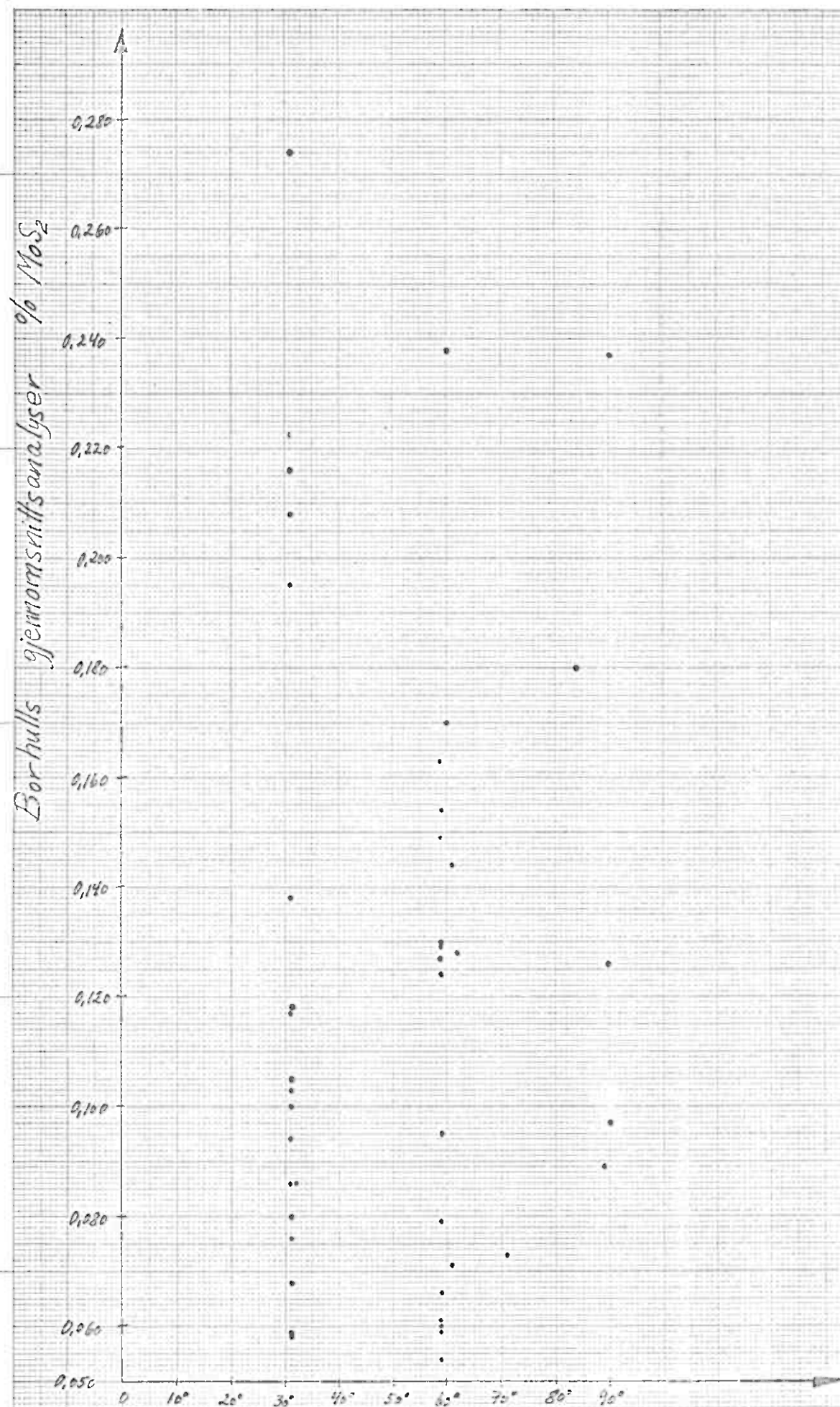


Fig. 17.



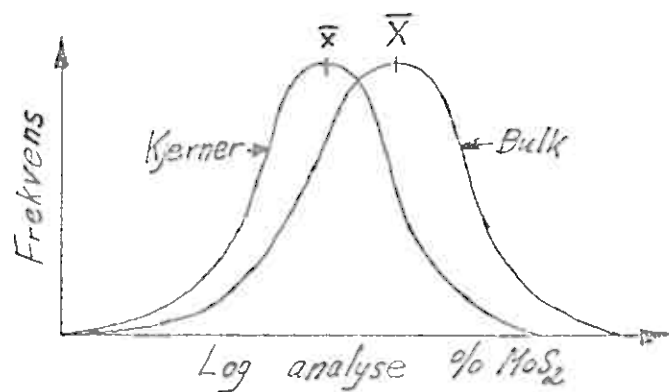
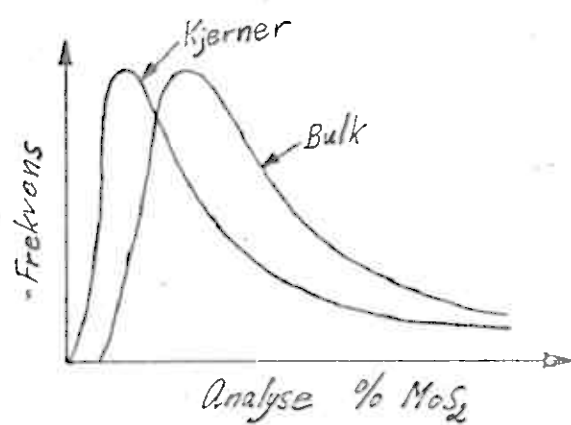
σ_1 = vertikal hovedspenning

σ_3 = horisontal hovedspenning



Borhullenes skjæringsvinkel med hovedmineraliseringsretningen.

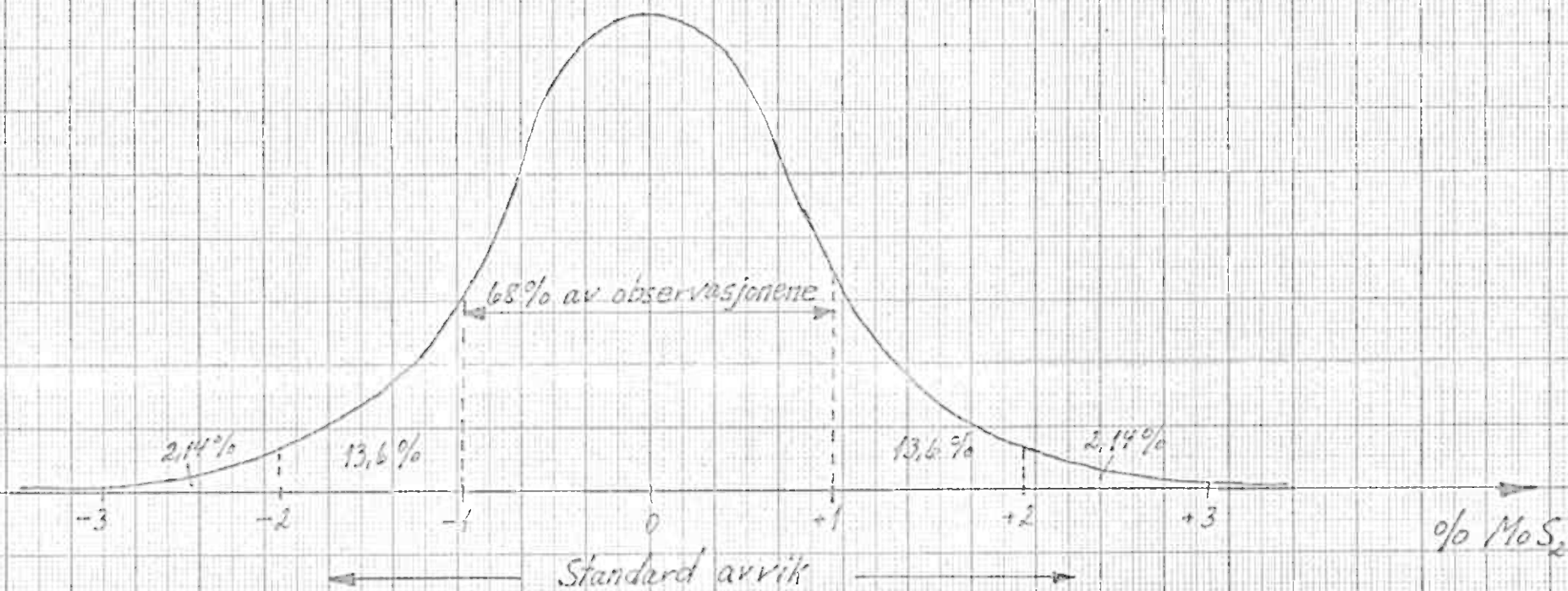
Ordinaten har $\frac{1}{2}$ målestokk i forhold til den som er benyttet som grunnlag for regresjonsanalysen.



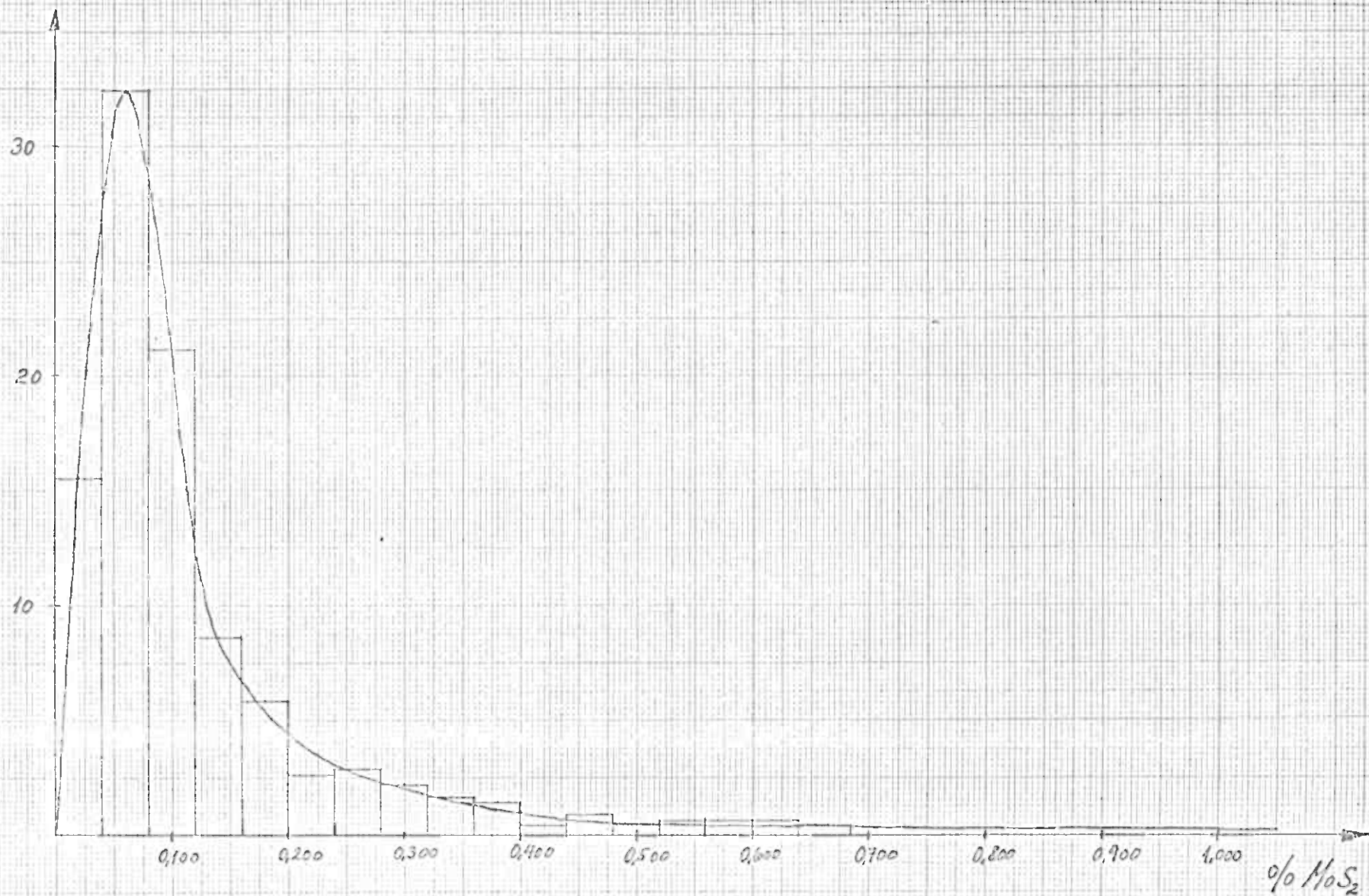
Analysefordeling i barkjerner og bulk-prøver
i Questa Molybdenite Mine (New Mexico).

Normalfordelingskurve (Gauss)

Frekvens

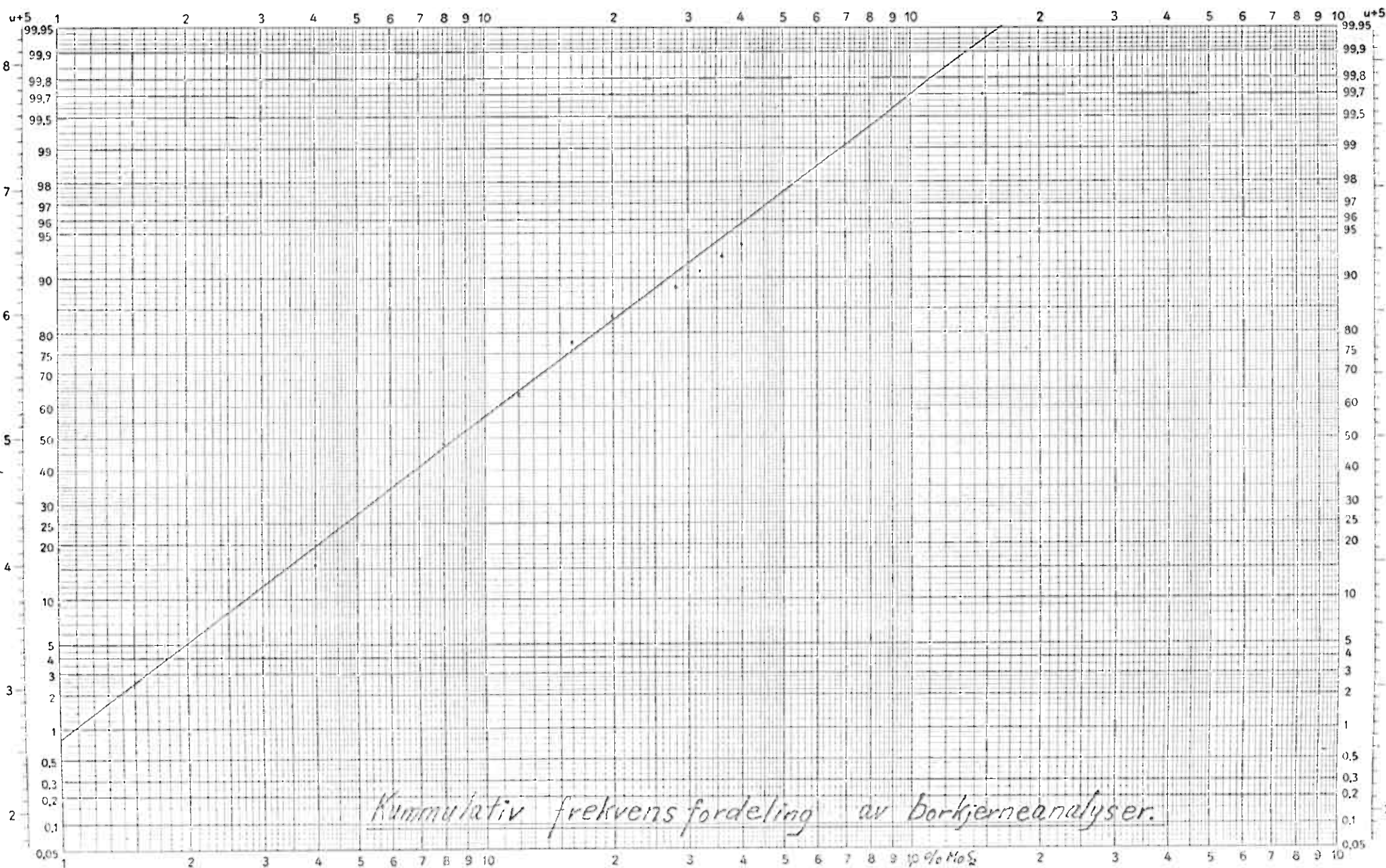


Relativ hyppighet i %



Analysefordeling i barkjerner, Knaben II grube.

Kummulativ frekvens i %

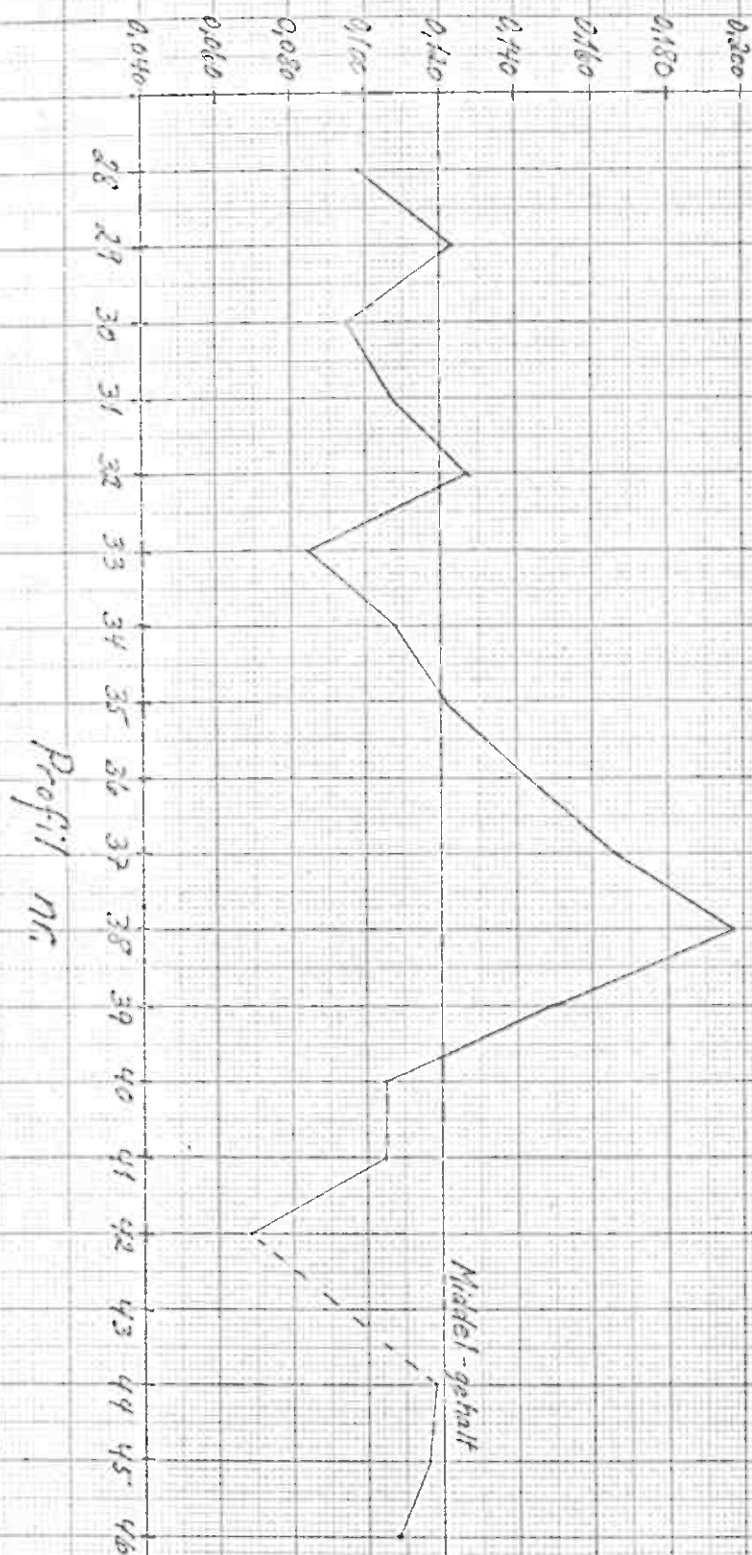


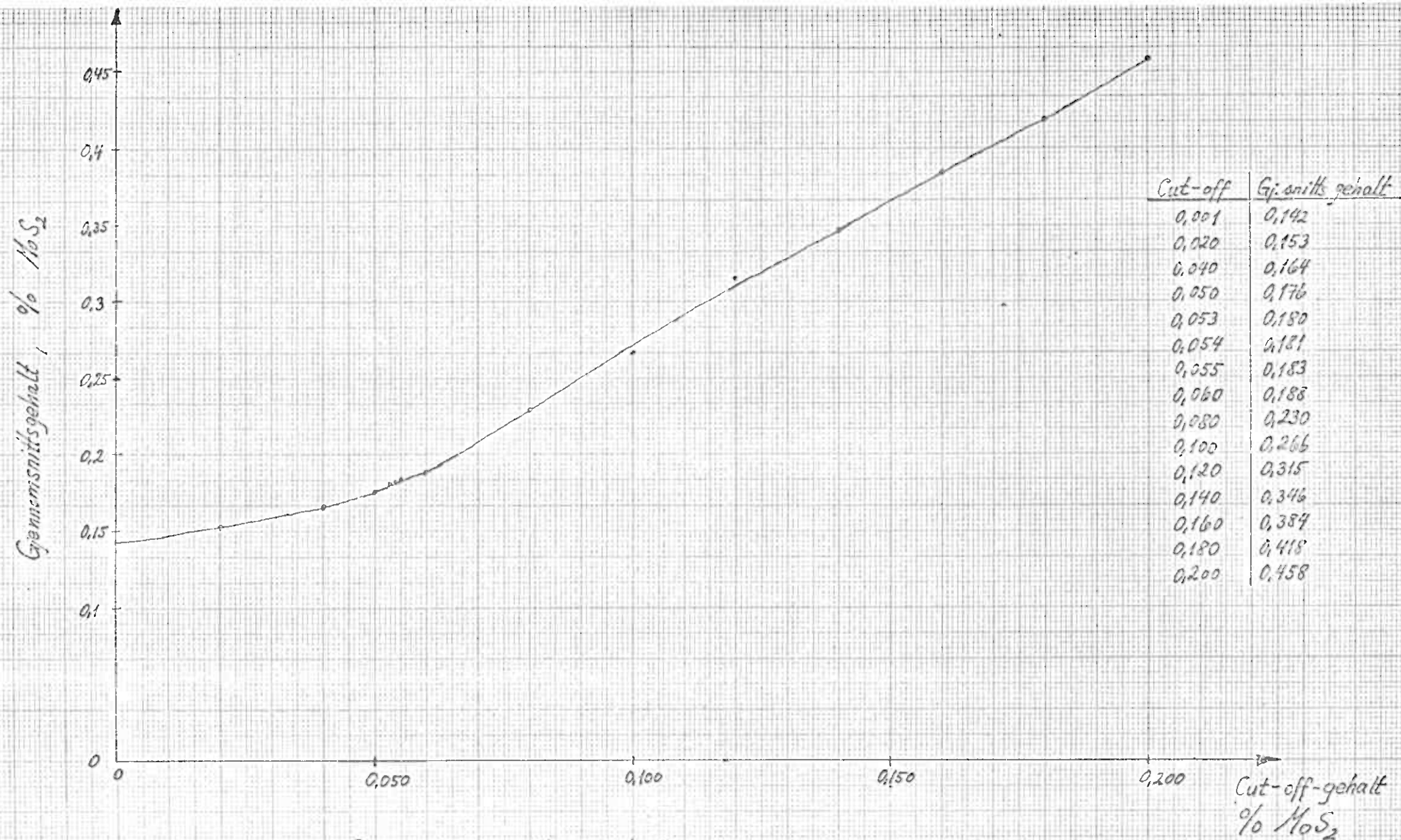
Kummulativ frekvensfordeling av barkjerneanalyser.

Analyseverdi: % MoS₂ →

Bilag 21

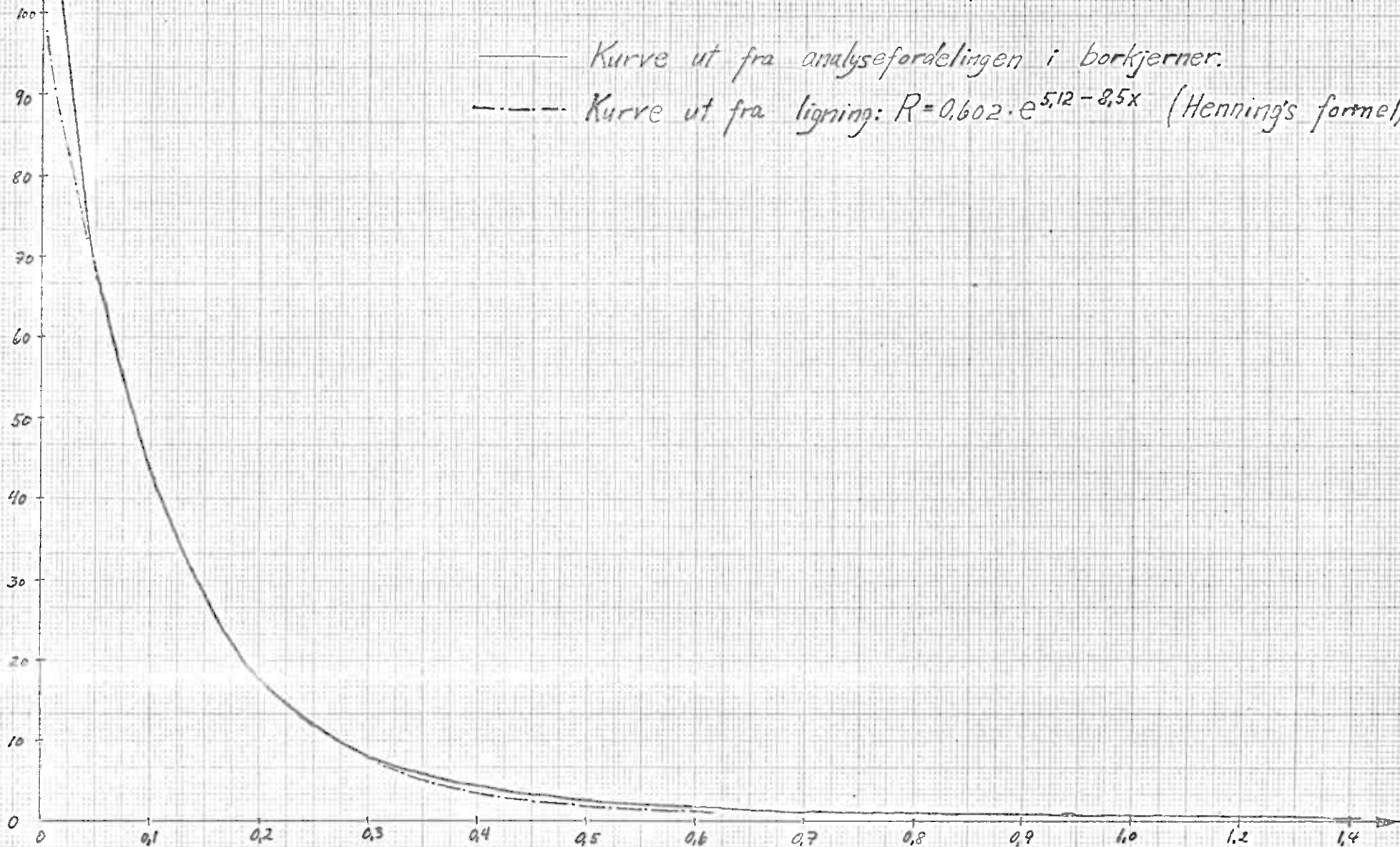
Aritmetisk middelgehalt i hele profiler, % MoS_2





Sammenheng mellom cut-off-gehalt og gjennomsnittsgehalt
for Knaben II grube.

Relativ malmengde i %

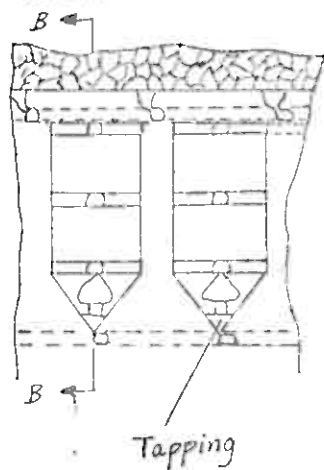


Marginalgehalt (cut-off)

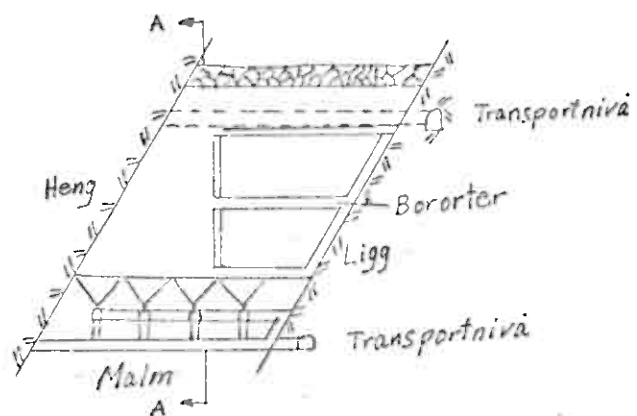
% MoS₂



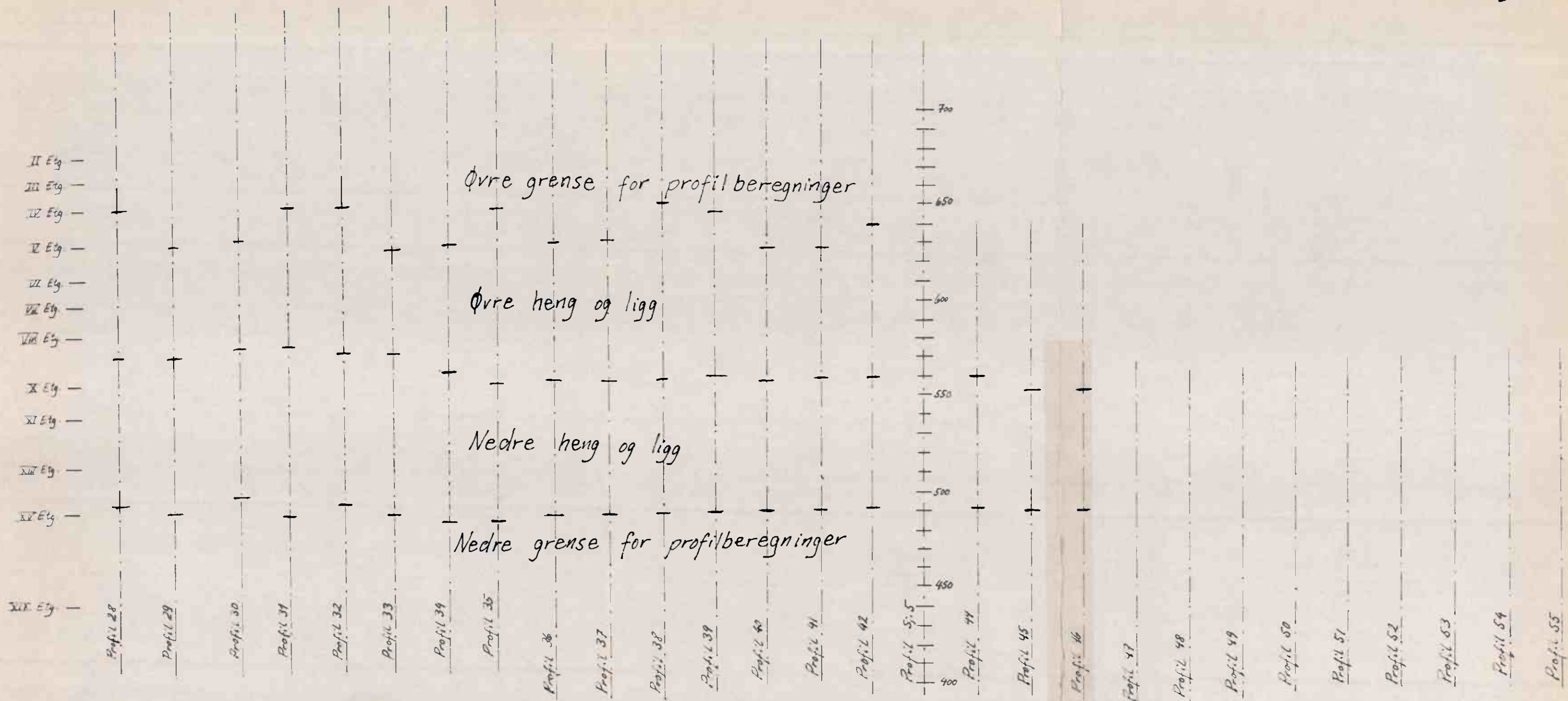
Snitt A-A:



Snitt B-B:



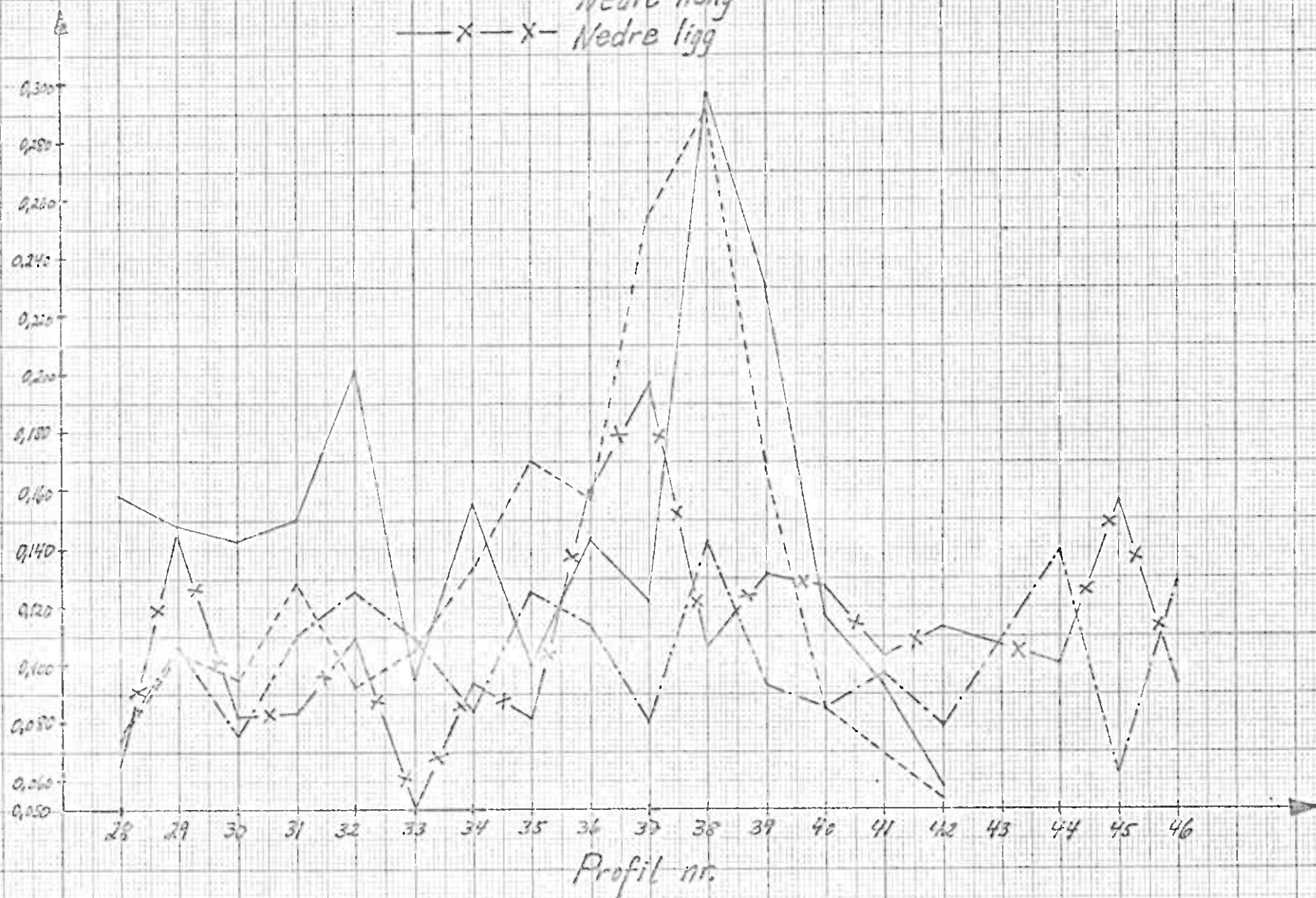
Generelle og skjematisk snitt av tversgående skivebryting.



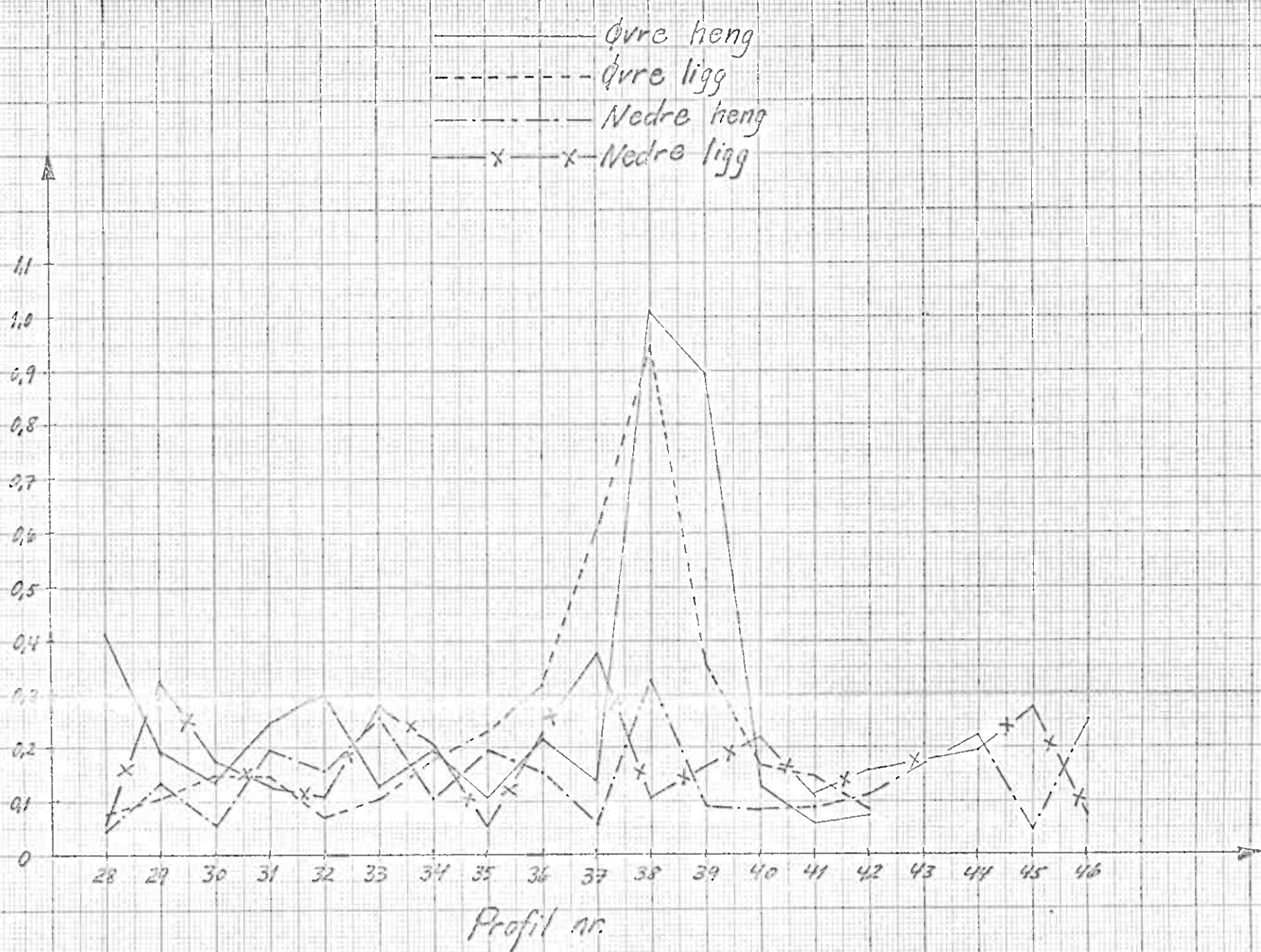
Gjennomsnittlig MoS_2 -innhold: (aritmetisk middel % MoS_2):																											
Profil	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
Øvre heng	0,158	0,148	0,143	0,150	0,201	0,095	0,155	0,100	0,143	0,122	0,297	0,230	0,117	0,093	0,058												0,147
— ligg	0,073	0,104	0,095	0,128	0,092	0,105	0,133	0,170	0,157	0,254	0,291	0,170	0,085	0,138	0,054												0,137
Nedre heng	0,074	0,106	0,076	0,110	0,125	0,109	0,084	0,125	0,114	0,080	0,142	0,093	0,095	0,097	0,079	0,139	0,063	0,128									0,101
— ligg	0,065	0,144	0,082	0,083	0,109	0,049	0,093	0,081	0,160	0,197	0,107	0,131	0,127	0,103	0,113	0,100	0,156	0,093									0,110

Skjematisk lengdeprofil Knaben II Grube Lengdeprofilene er lagt i drett på tverrprofilene.		Målestokk 1:2000 R.H.F. 71
$\frac{1}{2}$ Knaben Molybdængruber		

Aritmetisk middelvei i profilblokker 0/100



Standardavvik for analyser i profiler.



Kontrollkart:

Øvre heng:

Øvre kontrollinje

$\bar{x} + 3\sigma$

+

$\bar{x} + 2\sigma$

+

$\bar{x} + \sigma$

+

$\bar{x} = 0,147 \% MoS_2$

+

+

+

+

+

+

+

+

$\bar{x} - \sigma$

+

+

+

+

$\bar{x} - 2\sigma$

Nedre kontrollinje

$\bar{x} - 3\sigma$

Profil:

28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

Kontrollkart:

Øvre ligg:

Øvre kontrollinje

$\bar{x} + 3\sigma$

$\bar{x} + 2\sigma$

$\bar{x} + \sigma$

$\bar{x} = 0,137 \% \text{ MoS}_2$

$\bar{x} - \sigma$

$\bar{x} - 2\sigma$

Nedre kontrollinje

$\bar{x} - 3\sigma$

Profil:

28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45

Kontrollkart:

Nedre heng:

Øvre kontrollinje

$\bar{x} + 3\sigma$

$\bar{x} + 2\sigma$

$\bar{x} + \sigma$

$\bar{x} = 0,102 \% MoS_2$

$\bar{x} - \sigma$

$\bar{x} - 2\sigma$

Nedre kontrollinje

$\bar{x} - 3\sigma$

Profil:

28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 44 45 46

Kontrollkart:

Nedre ligg:

Øvre kontrollinje

 $\bar{X} + 3\sigma$ $\bar{X} + 2\sigma$ $\bar{X} + \sigma$ $\bar{X} = 0,111 \% MoS_2$ $\bar{X} - \sigma$ $\bar{X} - 2\sigma$

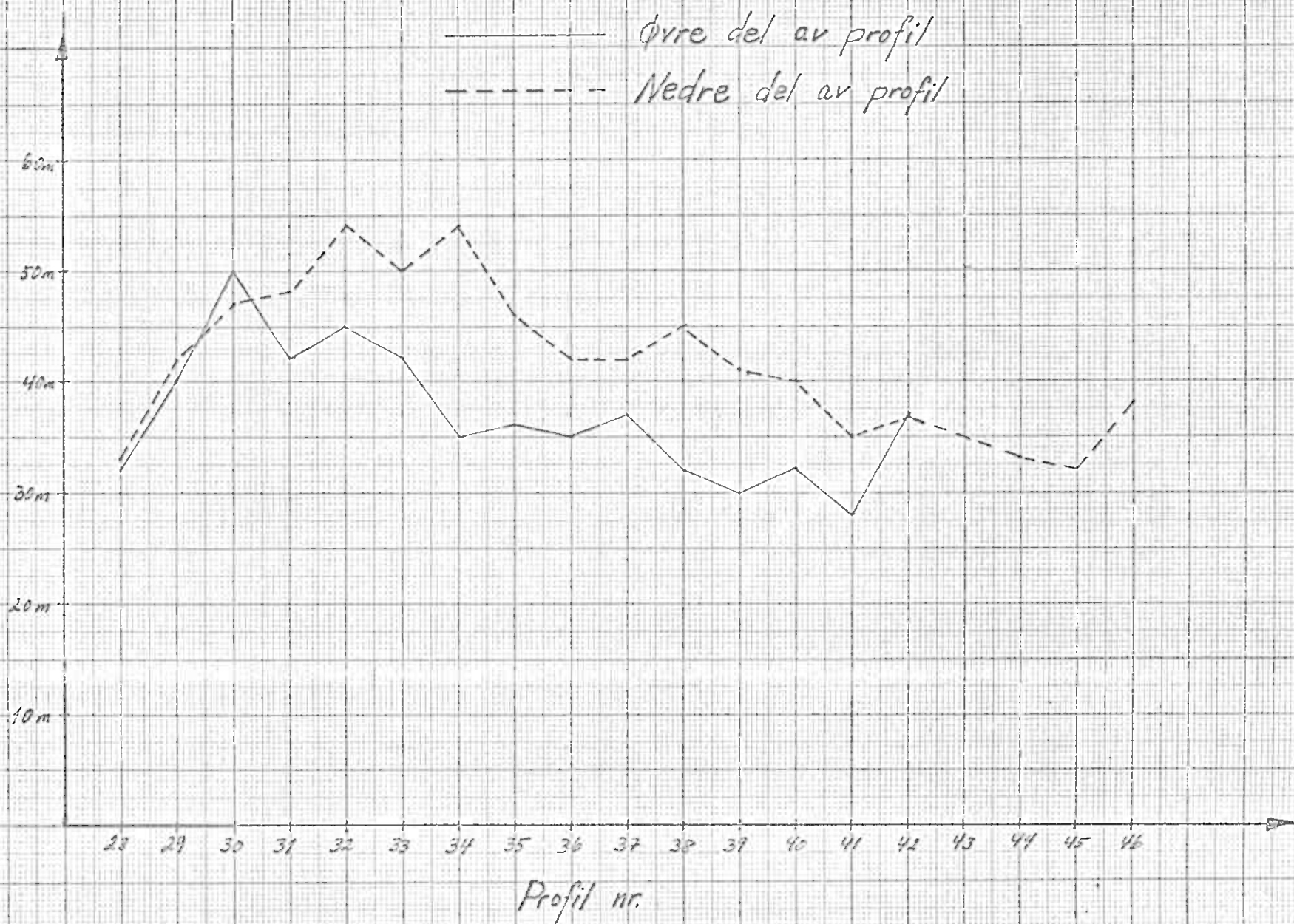
Nedre kontrollinje

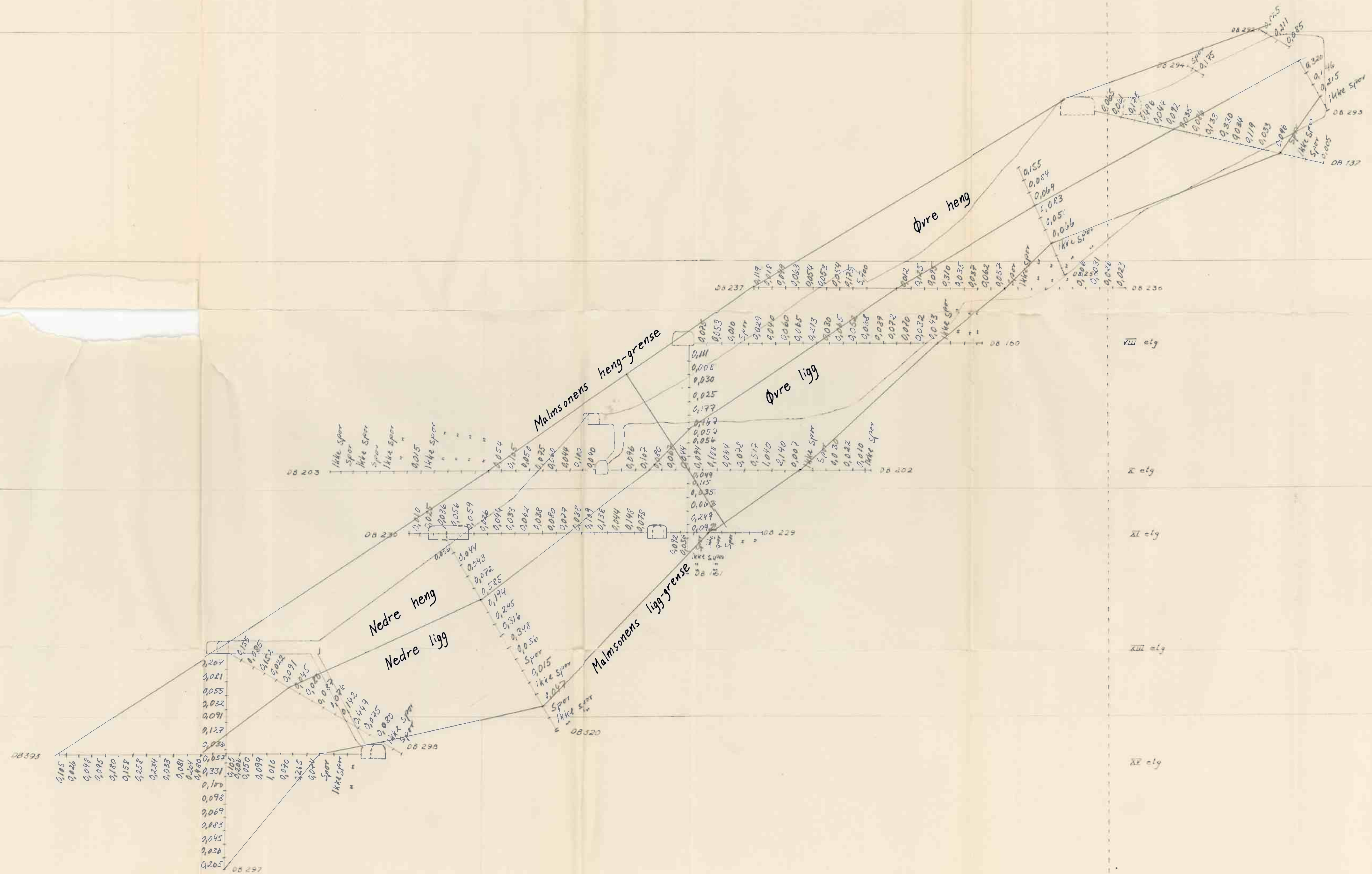
 $\bar{X} - 3\sigma$

Profil:

28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	44	45	46
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Malmens totale gjennittlige bredde i profilene, meter





Ajour pr 1/1 711 11.11

Profil 39 Knaben II	Målestokk 1:500	Legn. P. 44 50.3.50
7/5 Knaben Molybdangruber	Erst for 00.113	Erst av 01.300