



Bergvesenet

Postboks 3021, 7002 Trondheim

Rapportarkivet

Bergvesenet rapport nr BV 1716	Intern Journal nr	Internt arkiv nr	Rapport lokalisering Trondheim	Gradering
Kommer fra ..arkiv	Ekstern rapport nr	Oversendt fra	Fortrolig pga	Fortrolig fra dato:
Tittel Killingdal Grube i Ålen, Sør - Trøndelag				
Forfatter Rui, Ingolf J.		Dato 03.01 1976	Bedrift	
Kommune Holtålen	Fylke Sør-Trøndelag	Bergdistrikt Trondheimske	1: 50 000 kartblad	1: 250 000 kartblad
Fagområde Geologi	Dokument type		Forekomster Killingdal Grube	
Råstofftype Malm/metall	Emneord			
Sammendrag				

BV1716

KILLINGDAL GRUBE I ÅLEN, SØR-TRØNDELAG

Rapport utarbeidet av cand. real. Ingolf J. Rui i forbindelse med en befaring i gruben 13. og 14 desember 1976.

Innledning: Ved flere anledninger i slutten av 60-årene og begynnelsen av 70-årene har Killingdal Grube blitt undersøkt geologisk av undertegnede. Resultatene av disse arbeidene er meddelt i en rekke rapporter og en vitenskapelig avhandling:

- 1) Undersøkelse i Killingdal Grube, 1969. Rapport av 5/3, 1969.
- 2) Foreløbig rapport til Killingdal Grube. Rapport av 29/1, 1970.
- 3) Grubeundersøkelser for 1970. Rapport av 19/11, 1970.
- 4) Diamantboringen på nivå 64. Ettervinteren(14/5) 1971.
- 5) Structural Control and Wall Rock Alteration at Killingdal Mine, Central Norwegian Caledonides. Avhandling i "Economic Geology" for 1973, vol. 68, side 859 - 883.

I disse arbeidene er mange sider av grubens geologi blitt behandlet. Hovedvekten er lagt på malmens form og struktur, samt mineralogi og geokjemi i malm og sidebergarter. Undersøkelsene er utført fra Nivå 38 som ligger omtrent midt i gruben, og ned til det dypeste Nivå 65. Kartleggingen er konsentrert omkring en rekke profiler bestemt av eksisterende, oppmålte tverrsnitt i gruben. Ved hjelp av slike geologiske tverrprofiler er det forholdsvis enkelt å illustrere malmens form og struktur fra nivå til nivå - faktorer som er viktige for forståelsen av malmens opptreden generelt.

I denne rapporten er det gitt en forenklet, generell oppsummering av de geologiske forholdene omkring malmen og den sidebergarter, vurderinger av visse praktiske sider ved driften, samt et forslag til videre geologiske undersøkelser med henblikk på driftsopplegget.

Blindern 3/1, 1977

Ingolf J. Rui
Ingolf J. Rui

MALM OG SIDEBERG

Selv om malmens form og struktur varierer en god del fra nivå til nivå i hovedgangen, vil relasjonen mellom massiv malm og sideberg i prinsippet alltid være slik som i illustrasjonen nedenfor fra nivå 58.

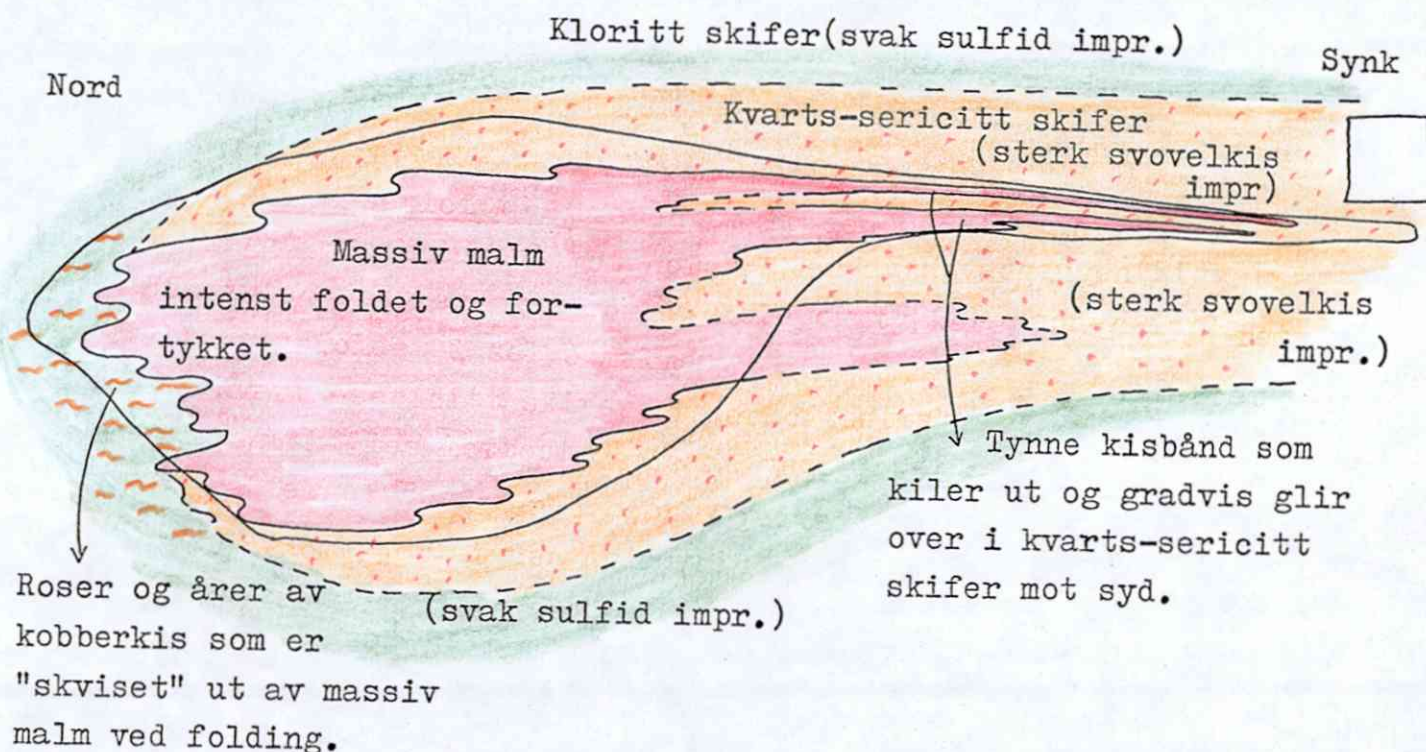


Fig. 1: Tverrrprofil fra nivå 58 viser det generelle forholdet mellom massiv malm, kvarts-sericitt skifer og kloritt skifer. Fortykkelsen mot nord skyldes intens folding og en viss plastisk forflytting av kisen i forhold til sidebergartene.

Malmen kjennetegnes ved sin massive karakter i motsetning til sidebergartene som alltid er skifrige. Dog er det nokså vanlig at malmen viser bånding i cm- og dm-skala. Mørke bånd er rike på sink. Brune, rustvitrende bånd har et relativt høy innhold av magnetkis.

I Hovedgangen synes det å være et omvent forhold mellom Cu- og Zn-gehaltene. Rent visuelt kommer dette frem i form av en tiltagende og tildels fremtredende sink-bånding mot syd og man må regne med at en vesentlig del av sinkreservene ligger her. Mot nord er denne båndingen mindre utpreget, samtidig som malmen generelt synes rikere på kobber.

Den massive malm består av følgende mineraler som er identifisert under mikroskopet:

<u>Hovedmineraler</u>	<u>Underordnede mineraler</u>		<u>Gangart</u>
Svovelkis(ca. 80%)	Magnetkis	Tetrahedritt*	Kvarts
Sinkblende(ca. 10%)	Blyglans	Bournonitt	Sericitt
Kobberkis (ca. 5%)	Arsenkis	Mackinawite	
		Molybdenglans	

*Egentlig en sølvrik variant med ca. 17% Ag.

Malmens kjemiske og mineralogiske sammensetning varierer selv-
sagt en god del, noe som kommer til uttrykk i analysene i tabell
1 og 2.

Kvarts-sericitt skiferen omgir den massive malmen både i heng
og ligg, men kiler ut mot nord-kanten av Hovedgangen(Fig. 1).
Bergarten opptreer også som tynnere og tykkere soner innleiret
eller innfoldet i selve malmen.

Kvarts-sericitt skiferen viser oftest skarp kontakt til massiv
malm og skilles lettest fra denne ved sin tydlig skifrige karakter
og grå farge. Bergarten er forøvrig nesten alltid sterkt kisimpreg-
nert noe som gjør at den lett kan tas som brytbar malm i gruben.
Mikroskopiske undersøkelser og kjemiske analyser tyder imidlertid
på at det er svovelkis som er det helt dominerende ertsmineral.

De mineraler som forekommer i kvarts-sericitt skiferen er
som følger:

<u>Hovedmineraler</u>	<u>Underordnede og aksessoriske mineraler</u>	
Kvarts (ca. 50%)	Kobberkis	Kloritt
Sericitt (ca. 30%)	Sinkblende	Rutil
Svovelkis (ca. 20%)	Magnetkis	

Metallgehaltene i en rekke prøver uttatt fra D. Bh. 302 og
D. Bh. 316 på nivå 45 er vist i tabell 3. Det fremgår her at Cu-
og Zn-gehaltene er gjennomgående meget lave og at sulfidinnholdet
i det vesentlige består av svovelkis. Dog bør de lave metall-ge-
haltene tas med et vist forbehold da det kan forekomme rikere soner
innen kvarts-sericitt skiferen - dels i form av rikere impregnasjon
og dels som tynne soner av mere normal, massiv malm. Et par ana-
lyser fra D. Bh. 1 og D. Bh. 2 på nivå 64 viser f. eks., klart
høyere metallgehalter enn prøvene fra nivå 45(Tabell 4).

Gjennomsnittsgesaltene for kobber og sink i kvarts-sericitt
skiferen vil i alle tilfeller ligge vesentlig lavere enn i den
massive malmen, selv om det skulle være ønskelig med flere ana-
lyser av større prøver for å bekrefte dette(større bulk-prøver,
kanal-prøver). Antagelig vil slike analyser klarere vise at bry-

ting av kvarts-sericitt skifer kun vil representere en økonomisk belastning i alle ledd - fra den tas ut i gruben til den ender i Trondheimsfjorden.

Kloritt skiferen danner i sin tur en kappe omkring massiv malm og kvarts-sericitt skifer. I nordkanten av Hovedgangen ligger kloritt skiferen i direkte kontakt med massiv malm og representerer her en relativt dårlig(bløt og løs) heng i motsetning til den hardere kvarts-sericitt skiferen som kommer inn mot syd(Fig. 1).

Kloritt skiferen har en dyp grønn farge og består av følgende mineraler:

<u>Hovedmineraler</u>	<u>Underordnede og aksessoriske mineraler</u>	
Kloritt	Albitt-feltspatt	Sulfider*
Kvarts	Kalkspatt	Rutil
Biotitt		

*Alle vanlige sulfider, normalt er svovelkis viktigst.

Mot nordkanten av Hovedgangen er kloritt skiferen vanligvis gjennomvevet av roser og uregelmessige årer rike på kobberkis som er "skviset" ut av den massive malmen under foldingen. Denne sekundære kobberanrikningen strekker seg normalt ikke mere enn 1 - 2 meter innover i kloritt skiferen. En analyse av slikt kobberholdig gråberg er gjengitt i tabell 5.

MALMENS FORM OG STRUKTUR

I store trekk kan formen på Hovedgangen synes regelmessig og enkel. Den kan kort beskrives som en linjal som stikker ca. 30° mot vest. I virkligheten er malmen foldet etter et intrikat mønster etter akser som er subparallelle med selve malm-aksen. Dette foldesystemet styrer alle små og store detaljer i malmens morfologi. I praksis kan de større malmektighetene alltid betraktes som en repetisjon(ved folding) av en opprinnelig ufoldet malmplate, ledsaget av en viss plastisk forflytting av malmen relativt til sidebergartene. Gafling av malmen og større gråbergspaller, som tilsynelatende umotivert projiserer inn i malmen, er likeledes betinget av foldingen. De største malmektighetene får man i selve ombøyningen av foldene - i flankene tynner malmen gjerne ut og kan lokalt avsnøres. Selve formen på gruverommene gir et grovt omriss av tyngdefordelingen av foldene - detaljene i foldesystemet fremkommer ved studier av gjenstående bergfester

og strossevegger.

Til nå er kartleggingen ikke tilstrekkelig detaljert til at man klart kan se den strukturelle utviklingen i malmen nedover gjennom de ulike strossene. Dette skyldes hovedsakelig at avstanden mellom de kartlagte profilene er for stor. Ved den siste befaringen i gruben ble arbeidet konsentrert i området mellom nivå 45 og nivå 53. Sammenstilt med resultatene fra tidligere arbeider kan man nå likvel se en grov trend i utviklingen fra nivå 38 til nivå 58 (Fig. 2)

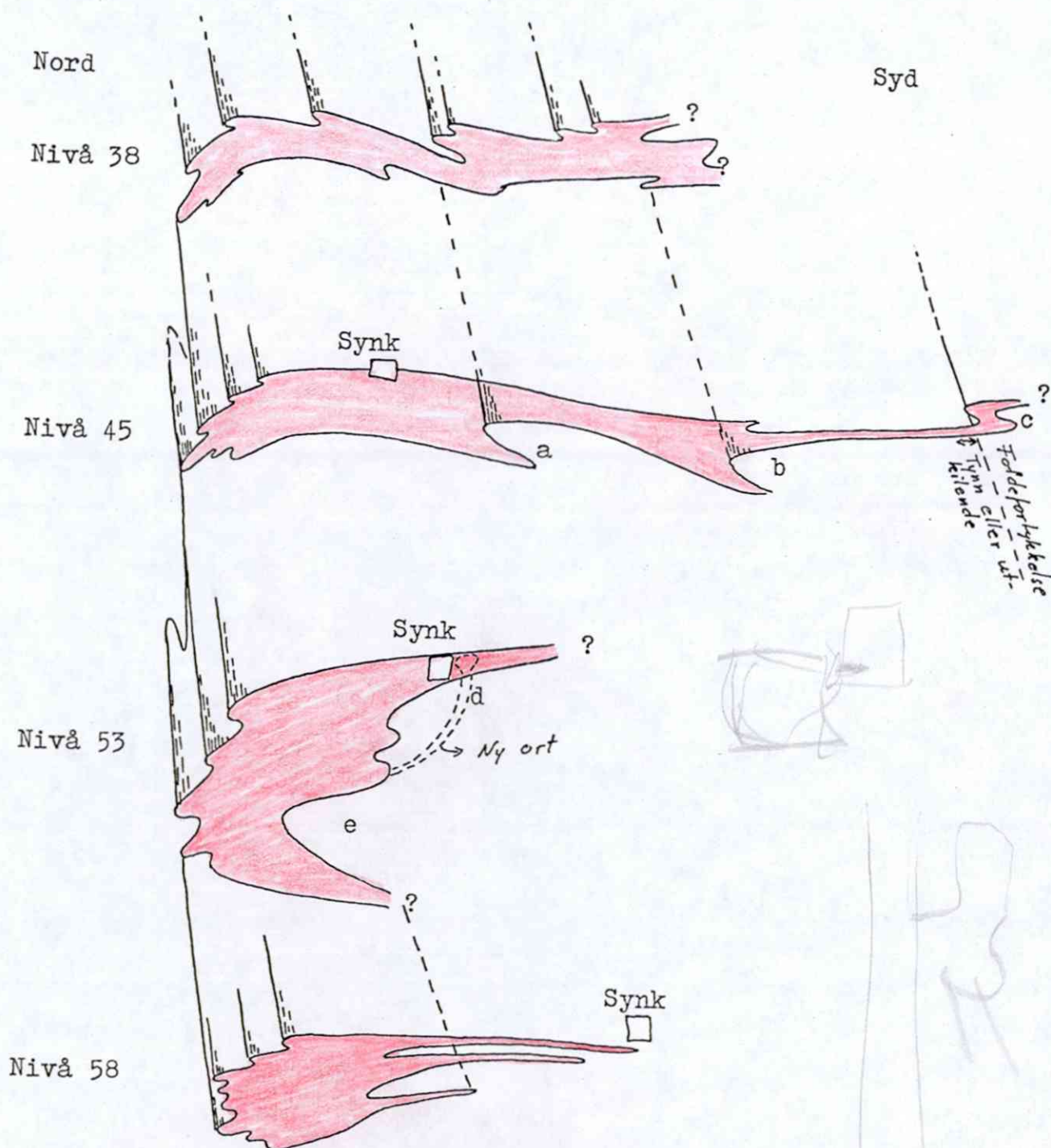


Fig. 2: Skjematisk fremstilling av malmens strukturelle utvikling fra Nivå 38 til Nivå 58.

Nivå 38 viser hvordan foldene og dermed også selve malmtyngheden, er jevnt fordelt over hele strosseprofilen. Malmen stikker relativt bratt ned mot nord, en tendens som etter hvert blir mere fremtredende lengere nedover i gruben.

Nivå 45 viser hvordan malmtyngheden er blitt forskjøvet mot nord. Mot syd kiler malmen ut i en lang "hale" med enkelte foldefortykkelser. Ved (a) avtar mektigheten raskt idet en stor gråbergspall er innfoldet i malmen slik at denne gafler seg. Den undre flanken er delvis utdrevet og på et sted er det kjørt inn en kort ort som viser at malmen avtar raskt. Den øvre flanken er helt utdrevet og viser gjennomgående små, men variable mektigheter. Hele strukturen kan følges et godt stykke oppover og nedover i gruben.

Selve profilet som er forholdsvis langt utstrosset mot syd, viser ytterligere to foldefortykkelser. Ved (b) har vi en relativt markert struktur som antagelig bestemmer den sydlige begrensningen av ovenforliggende strosser, idet malmen igjen gafler seg med raskt avtagende mektigheter videre mot syd. Nedenfor, i samme struktur, er det nylig uttatt et relativt stort parti sinkrik malm.

Videre sydover i felt stiger malmen nokså bratt, den er her nokså tynn og tildels utkilende før den igjen vokser ved en ny foldefortykkelse (ved c). Den samme utviklingen kunne man observere i den nye orten mot syd, altså nedenfor profilet. Malmen stiger også her mot syd, samtidig som mektigheten avtar. Ved besøket var malmen nærmest kilt ut, men man hadde ennå ikke nådd strukturen som tilsvarer (c).

Nivå 53 viser hvordan hovedtyngheden av malmen er forskjøvet ytterligere mot nord. Malmen har her fått form av en liggende "U" med åpningen vendt mot syd. I selve ombøyningen er foldingen intens, samtidig som malmen nærmest står på høykant. Dette betinger den relative store strosse-høyden og den mere begrensede feltutstrekningen i området. Stedvis står det igjen en del malm i undre flanke, d.v.s. under og nord for gråbergspallen ved (e). Øvre flanke tynner relativt raskt ut mot syd idet den går gjennom synken. En ny ort er ført innunder og opp på sydsiden av synken til skjæring med malmen (d). Malmen synes her fortsatt å stige mot syd. Videre sydover vil antagelig malmen gradvis tynne ut, med muligheter for lokale fortykkelser som på nivå 45.

Nivå 58 antyder at den "U"-formede strukturen fra nivå 53 er blitt adskillig mere sammenklemt og malmtyngheden sterkt konsentrert i en "klump" mot nord. Begrensningen av malmen mot nord er forøvrig nokså kontant slik som på de øvrige nivåene; mot

syd derimot glir malmen gradvis over i tynne, utkilende "haler".

Vi har sett hvordan foldingen styrer malmkroppens form i alle detaljer. I felt øker malmektighetene raskt der foldingen er utrert, mens den avtar raskt og blir jevnt tynn der malmen er mere uberørt. Har man først støtt på en lokal foldefortykkelse, må man regne med at denne har en nokså stor utstrekning i foldeaksens retning - d.v.s. noenlunde parallelt med malmens hovedakse. Dog vil ikke slike lokale foldefortykkelser vare i det uendelige, men gradvis "dø" ut i begge retninger som en sigar. Når en slik "sigar" dør ut vil nye kunne oppstå relativt forskjøvet i forhold til den første (Fig. 3).



Fig. 3: Lokale foldefortykkelser mot syd i Hovedgangen. Det er antydnet hvordan disse kan dø ut i akse-retningen, mens nye kan oppstå. Slike foldefortykkelser kan bare finnes ved utstrossing, men er de først først oppdaget vil de alltid fortsette i foldings-aksens retning -d.v.s. malmens hovedakse.

Når man først har fått tak i en foldefortykkelse bør man forsøke å følge denne til den eventuelt dør ut, samtidig som man prøver å gripe fatt i nye som måtte dukke opp under driften. Antagelig vil det stå igjen en god del sink-rik malm i slike foldefortykkelser mot syd, både ovenfor nivå 45 såvel som et godt stykke nedover. (Se også vedlegg som viser hovedstrukturene på nivå 45 - 46 i plan).

VURDERING AV RÅMALMPRODUKSJONEN

Analyser av råmalm for perioden 1920 - 1952 (Fig. 4) viser gehalter som ligger nær opptil analysetallene for massiv malm i tabell 1. I denne perioden ble det derfor ganske sikkert drevet selektivt på massiv malm; antagelig med hånd-skeiding i en viss utstrekning. Etter at flotasjonsverket kom i drift i 1952, ser

man av diagrammet i figur 4 at der er en jevn reduksjon av ge-
haltene frem til 1970. I løpet
av denne perioden sank Cu-gehal-
tene fra ca. 2% til ca. 1.5%, Zn-
gehaltene fra ca. 6% til ca. 4%
og S-gehaltene fra ca. 45% til ca.
30%. Samtidig steg innholdet av
uoppløselig gangart fra ca. 5%
til ca. 30%.

En undersøkelse av flotasjons-
avgangen har vist at denne hoved-
sakelig består av kvarts og seri-
citt. Bare en liten prosentandel
av disse mineralene kan stamme fra
massiv malm (maks. 4 - 5%). Det
alt vesentlige (min. 25%) må kom-
me fra produksjon av kvarts-seri-
citt skifer. Med runde tall vil
derfor en årsproduksjon på 40 000
tonn nødvendigvis inkludere ca.
12 000 t kvarts-sericitt skifer
(25% kvarts og sericitt (10 000 t)
+ 20% kis (2000 t) fra samme berg-
art). Da metallgehaltene i kvarts-

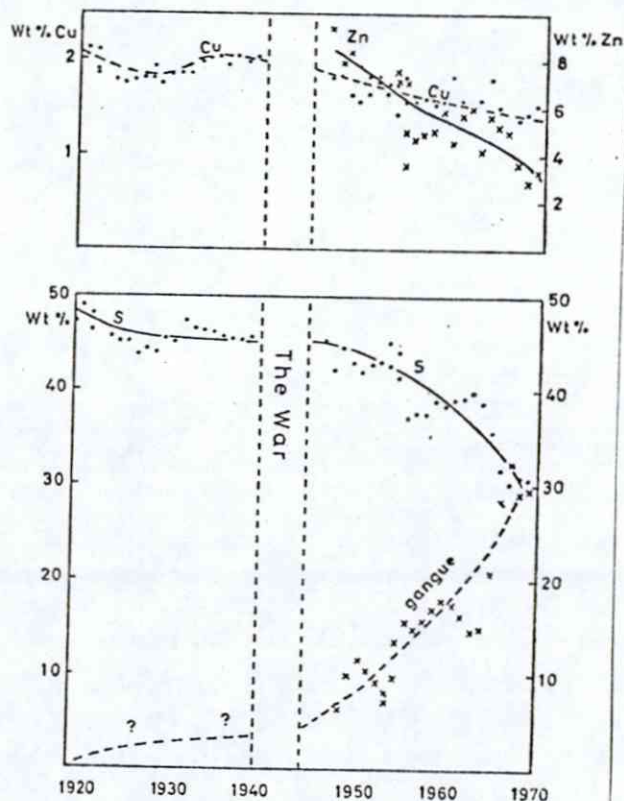


Fig. 4: Produksjonsanalyser av
av råmalm fra Killing-
dal mellom 1920-1970.

sericitt skiferen er relativt lave i forhold til massiv malm (Fig. 5), betyr dette at man antagelig må produsere i størrelseorden minst 8 - 10 t kvarts-sericitt skifer for å få ut samme mengde kobber og sink som i ett tonn massiv malm. Dette må nødvendigvis bli en meget kostbar produksjon!

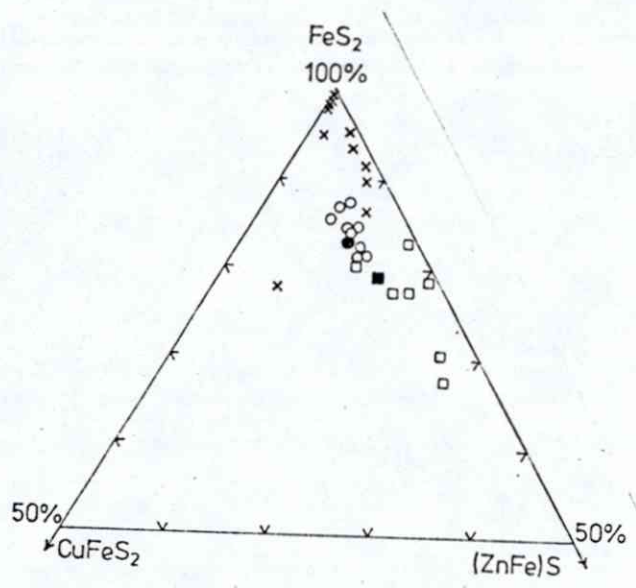


Fig. 5: Trekantdiagram som viser fordelingen av kobberkis, sinkblende og svovelkis omregnet til 100% i Hovedgangen (åpne sirkler), Nordgangen (åpne firkanter). Gjennomsnittet er vist med tilsvarende lukkede symboler, alle data fra tabell 1 og 2. Kryssene representerer analyser av kvarts-sericitt skifer fra tabell 3. Når man tar hensyn til at kvarts-sericitt skiferen ved omregningen er anriket 4 -5 ganger i forhold til massiv malm, får man et inntrykk av hvorledes kvarts-sericitt skiferen er relativt anriket på svovelkis.

KONKLUSJON

Basert på en rent geologisk vurdering kan driften i gruben økonomiseres på to fronter:

- 1) Ved detaljkartlegging av malmens form og struktur.
- 2) Bedret kontroll med råmalmproduksjonen for å redusere uttaket av lavprosentig kvarts-sericitt skifer.

Under kartleggingen i gruben vil disse punktene være deler av en og samme oppgave som må gå hånd i hånd. Ved detaljundersøkelser av malmens form og struktur vil man få bedere kjennskap til variasjoner i malmmektigheter og reserver på et hvert sted. Dermed kan man lettere planlegge angrep på lokale foldefortykkelser og oppfølging av disse. Likeledes ved problemer som oppstår ved gafling og lokale uttynninger av malmen.

Den kanskje enkleste måten å økonomisere driften på er likvel å føre kontroll med og minske uttaket av kvarts-sericitt skifer. Selvsagt er det ikke til å unngå at en god del av denne bergarten

følger med under driften (tynnere soner som er innleiret i massiv malm f. eks.).

Uttaket av kvarts-sericitt skifer kan trolig reduseres ved gjensetting; spesielt mot ligg synes det i enkelte strosser å være tatt ut for mye av denne bergarten. Større, ubeleilige partier av kvarts-sericitt skifer som binder malm (slik som ved (e) på nivå 53 i figur 2) måtte også kunne mineres ut og deponeres nedenfor i gruben. Både gjensetting og deponering av lavprosentig gods krever en bedere kontroll (kartlegging og analyser) med hva som er økonomisk malm - d.v.s. hvilke metallgehalter som bør betraktes som marginale.

FORSLAG TIL UNDERSØKELSE

En eventuell geologisk undersøkelse med henblikk på driften kunne i første omgang begrenses til en liten del av gruben (f. eks. nivå 45 - 46) og nærmest betraktes som et forsøk eller eksperiment. Med ca. én ukes arbeide skulle man få frem et mere detaljert bilde av malmens form og struktur - studier av foldeakser og foldefortykkelser, gafling og oppmåling av mektigheter mm. Et slikt arbeide måtte også inkludere undersøkelser av forholdet mellom massiv malm og kvarts-sericitt skifer, med analyser av metallgehalter for "grade" kontroll (kanal- og knakkprøver).

For at en slik undersøkelse skal komme direkte til driftsmessig nytte (reduksjon av gråbergsuttak og økning av metallgehalter i rågodset), måtte arbeidet planlegges og utføres i nøye samarbeide med den tekniske ledelse (grubeingeniør). Likeledes er det nødvendig at de som til daglig er involvert i driften i forsøksområdet - stiger så vel som arbeider - gis en enkel, men grundig orientering om malmens og sidebergartenes karakter og den strukturelle bygningen. Dette kunne gjøres i form av et par kurs-timer med etterfølgende demonstrasjoner i gruben (jeg kjenner mange av arbeiderne ganske godt og vet at de er interesserte og antagelig motiverte for en slik ordning).

Forberedelsene til et slikt forsøk som skissert ovenfor, vil først og fremst kreve ajourføring av grubekart, helst med oppmåling av et par tverrprofiler. Senere under kartleggingen vil det bli aktuelt å spyle enkelte strossevegger (på nivå 46 var det nok så håpløst å arbeide p.g.a. støv), hjelp til visse oppmålinger, samt prøvetaging.

Vedlegg som viser
hovedstrukturene på
nivå 45 - 46

Lokal ut-
kiling
Lokal folde-
fortykkelse

Markert folde-
fortykkelse

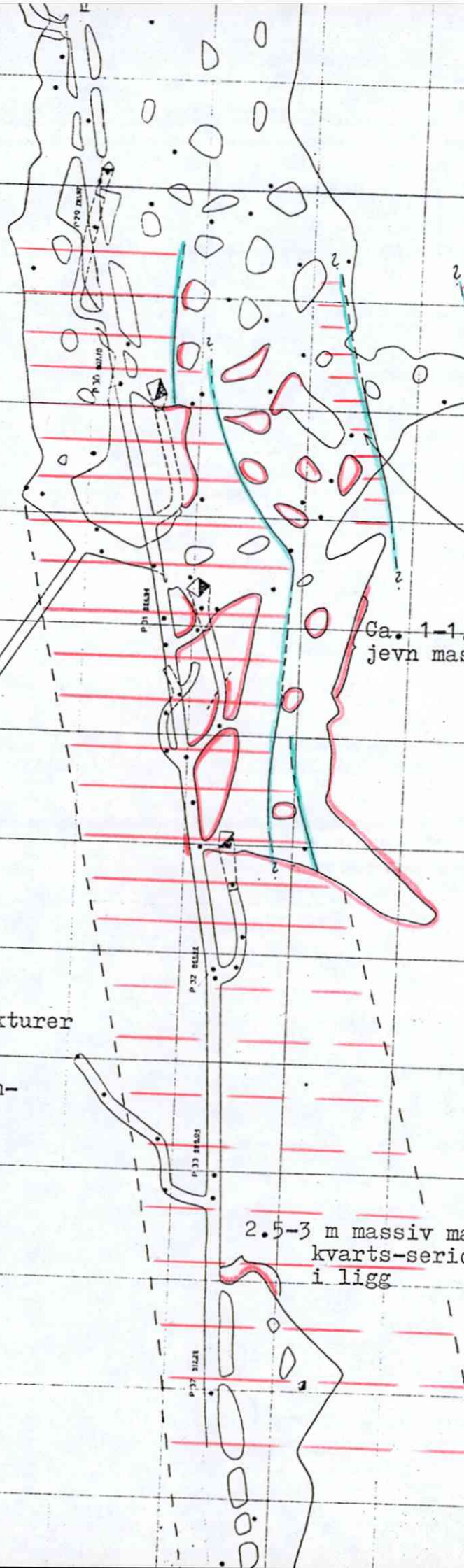
Ca. 1-1.5m
jevn massiv malm

TEGNFORKLARING

Markerte foldestrukturer

Relativt store malm-
mektigheter

2.5-3 m massiv malm med
kvarts-sericitt sk.
i ligg



Tabell 1: Kjemiske analyser av massiv malm fra Hovedgangen med mineralsammensetningen (omregnet) nedenfor.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Av. 1-10
S	48.84	48.10	49.25	49.20	49.05	48.06	46.30	48.81	46.68	47.20	48.15
Fe	42.02	41.70	43.20	42.00	40.79	39.56	38.75	41.06	40.30	40.50	40.99
Zn	6.06	4.50	4.60	4.80	6.44	7.53	6.77	5.67	5.73	6.75	5.89
Cu	1.70	2.25	1.78	1.50	2.13	1.86	2.11	1.88	1.90	1.93	1.90
Pb	—	0.20	0.30	0.40	0.39	0.39	0.65	0.39	0.45	0.40	0.40
As	—	0.07	0.11	0.12	0.07	0.15	0.16	0.14	0.14	—	0.12
SiO ₂	1.12	3.12	0.70	1.80	0.97	1.56	3.21	1.05	2.60	5.60	—
Al ₂ O ₃	—	—	—	—	0.14	0.05	0.40	0.23	0.40	—	—
Total	99.74	99.94	99.94	99.82	99.98	99.16	98.35	99.23	98.20	102.38	—

Mineralsammensetningen basert på analysene ovenfor.

Svovelkis	83.65	82.47	85.91	85.00	81.36	78.87	76.10	82.13	79.16	79.54	81.15
Sinkbl.	10.06	7.47	7.63	7.96	10.69	12.50	11.23	9.41	9.52	11.21	9.87
Kobberk.	4.91	6.50	5.15	4.34	6.16	5.37	6.10	5.44	5.49	5.57	5.49
Blyglans	—	0.23	0.35	0.46	0.45	0.45	0.75	0.45	0.52	0.46	0.46
Arsenkis	—	0.15	0.24	0.26	0.15	0.33	0.35	0.30	0.30	—	0.32
Kvarts	—	—	—	—	0.78	1.49	2.64	0.82	2.03	—	—
Muskovitt	—	—	—	—	0.41	0.15	1.18	0.68	1.18	—	—
(sericitt)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabell 2: Modalanalyser (punkttelling) av massiv malm fra Hovedgangen. Knakkprøver fra nivå 54, fra heng til ligg

Prøve	Svovelkis	Kobberkis	Sinkblende	Magnetkis	Gangart
F-1	79%	1.5%	19%	—	ca. 1%
F-4	89	6	1	0.1	4
F-7	75	16	8	—	1
F-8	49	1.5	47	—	0.4
F-10	79	14	2	3	2
F-13	74	7	14	2	2
Snitt:	74%	7.6%	15%	0.85%	1.73%

Tabell 3: Analyser av kvarts-sericitt skifer fra Hovedgangen, nivå 45, D.Bh. 302 og 316.

Prøve	% Cu	% Zn	% S	% Fe	% U _l .	Sum
302/1.50	0.04	0.35	7.30	7.60	83.00	98.29
/2.40	0.05	0.35	5.00	6.00	86.60	98.00
/4.40	0.30	0.30	14.62	12.00	69.00	96.22
/4.50	1.25	0.90	11.00	9.80	76.80	99.75
/6.40	0.04	0.40	1.40	6.00	58.50	66.34
316/1.00	0.23	2.00	14.23	13.00	66.90	96.36
/2.60	0.04	0.05	6.15	5.40	85.60	97.24

(forts.)

Tabell 3(fortsatt):

Prøve	% Cu	% Zn	% S	% Fe	% Ul.	Sum
316/3.50	0.45	0.07	8.76	8.00	80.90	98.18
/4.50	0.02	0.05	9.75	9.60	78.60	98.02
/5.60	0.00	0.02	5.16	5.20	86.70	97.08
/6.40	0.03	0.02	4.43	4.60	89.00	98.08
Snitt	0.22	0.41	7.98	7.93	78.33	

Tabell 4: Analyser av kvarts-sericitt skifer fra nivå 64,
D. Bh. 1 og 2

Prøve	% Cu	% Zn	% S	% Fe	% Ul.	Sum
1/0.0-2.0	0.90	1.80	22.00	18.20	57.40	100.3
2/1.1-4.0	0.52	1.10	12.60	11.00	73.40	98.62
Snitt	0.71	1.45	17.3	14.6	65.4	

Tabell 5: Analyse av kobberholdig gråberg(klorittskifer med
roser og årer av kobberkis) Strosse 57(14/3 -56)

4.05 %Cu 1.25 %Zn 8.95 %S 15.0 %Fe* 64.6 %Ul

*Det relativt høye jerninnholdet skyldes at også en del kloritt må ha gått i oppløsning.

KILLINGDAL GRUBE I ÅLEN, SØR-TRØNDELAG

Rapport utarbeidet av cand. real. Ingolf J. Rui i forbindelse med en befaring i gruben 13. og 14 desember 1976.

Innledning: Ved flere anledninger i slutten av 60-årene og begynnelsen av 70-årene har Killingdal Grube blitt undersøkt geologisk av undertegnede. Resultatene av disse arbeidene er meddelt i en rekke rapporter og en vitenskapelig avhandling:

- 1) Undersøkelse i Killingdal Grube, 1969. Rapport av 5/3, 1969.
- 2) Foreløbig rapport til Killingdal Grube. Rapport av 29/1, 1970.
- 3) Grubeundersøkelser for 1970. Rapport av 19/11, 1970.
- 4) Diamantboringen på nivå 64. Ettervinteren(14/5) 1971.
- 5) Structural Control and Wall Rock Alteration at Killingdal Mine, Central Norwegian Caledonides. Avhandling i "Economic Geology" for 1973, vol. 68, side 859 - 883.

I disse arbeidene er mange sider av grubens geologi blitt behandlet. Hovedvekten er lagt på malmens form og struktur, samt mineralogi og geokjemi i malm og sidebergarter. Undersøkelsene er utført fra Nivå 38 som ligger omtrent midt i gruben, og ned til det dypeste Nivå 65. Kartleggingen er konsentrert omkring en rekke profiler bestemt av eksisterende, oppmålte tverrsnitt i gruben. Ved hjelp av slike geologiske tverrprofiler er det forholdsvis enkelt å illustrere malmens form og struktur fra nivå til nivå - faktorer som er viktige for forståelsen av malmens opptreden generelt.

I denne rapporten er det gitt en forenklet, generell oppsummering av de geologiske forholdene omkring malmen og den sidebergarter, vurderinger av visse praktiske sider ved driften, samt et forslag til videre geologiske undersøkelser med henblikk på driftsopplegget.

Blindern 3/1, 1977

Ingolf J. Rui
Ingolf J. Rui

MALM OG SIDEBERG

Selv om malmens form og struktur varierer en god del fra nivå til nivå i hovedgangen, vil relasjonen mellom massiv malm og sideberg i prinsippet alltid være slik som i illustrasjonen nedenfor fra nivå 58.

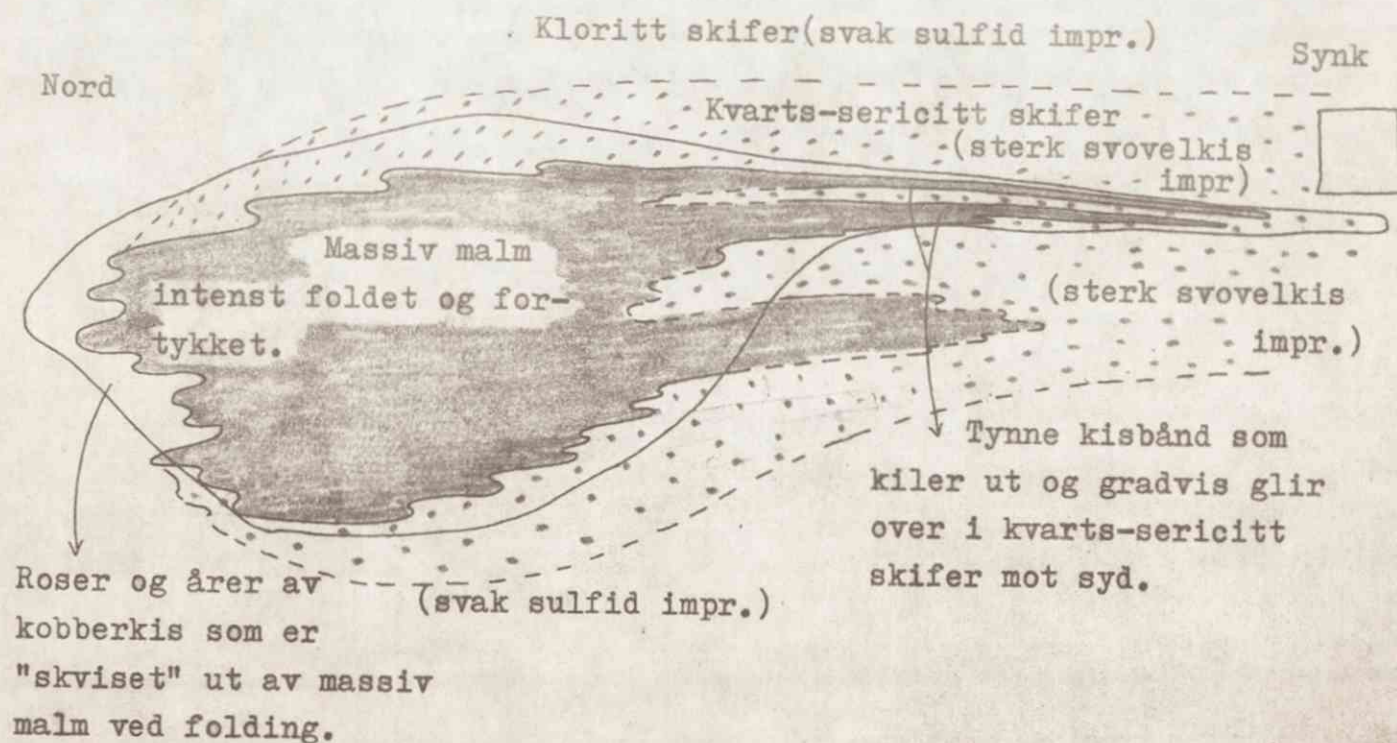


Fig. 1: Tverrrprofil fra nivå 58 viser det generelle forholdet mellom massiv malm, kvarts-sericitt skifer og kloritt skifer. Fortykkelsen mot nord skyldes intens folding og en viss plastisk forflytting av kisen i forhold til sidebergartene.

Malmen kjennetegnes ved sin massive karakter i motsetning til sidebergartene som alltid er skifrige. Dog er det nokså vanlig at malmen viser bånding i cm- og dm-skala. Mørke bånd er rike på sink. Brune, rustvitrende bånd har et relativt høy innhold av magnetkis.

I Hovedgangen synes det å være et omvent forhold mellom Cu- og Zn-gehaltene. Rent visuelt kommer dette frem i form av en tiltagende og tildels fremtredende sink-bånding mot syd og man må regne med at en vesentlig del av sinkreservene ligger her. Mot nord er denne båndingen mindre utpreget, samtidig som malmen generelt synes rikere på kobber.

Den massive malm består av følgende mineraler som er identifisert under mikroskopet:

<u>Hovedmineraler</u>	<u>Underordnede mineraler</u>		<u>Gangart</u>
Svovelkis(ca. 80%)	Magnetkis	Tetrahedritt*	Kvarts
Sinkblende(ca. 10%)	Blyglans	Bournonitt	Sericitt
Kobberkis (ca. 5%)	Arsenkis	Mackinawite	
		Molybdenglans	

*Egentlig en sølvrik variant med ca. 17% Ag.

Malmens kjemiske og mineralogiske sammensetning varierer selv-
sagt en god del, noe som kommer til uttrykk i analysene i tabell
1 og 2.

Kvarts-sericitt skiferen omgir den massive malmen både i heng
og ligg, men kiler ut mot nord-kanten av Hovedgangen(Fig. 1).
Bergarten opptrer også som tynnere og tykkere soner innleiret
eller innfoldet i selve malmen.

Kvarts-sericitt skiferen viser oftest skarp kontakt til massiv
malm og skilles lettest fra denne ved sin tydlig skifrige karakter
og grå farge. Bergarten er forøvrig nesten alltid sterkt kisimpreg-
nert noe som gjør at den lett kan tas som brytbar malm i gruben.
Mikroskopiske undersøkelser og kjemiske analyser tyder imidlertid
på at det er svovelkis som er det helt dominerende ertsmineral.

De mineraler som forekommer i kvarts-sericitt skiferen er
som følger:

<u>Hovedmineraler</u>	<u>Underordnede og aksessoriske mineraler</u>	
Kvarts (ca. 50%)	Kobberkis	Kloritt
Sericitt (ca. 30%)	Sinkblende	Rutil
Svovelkis (ca. 20%)	Magnetkis	

Metallgehaltene i en rekke prøver uttatt fra D. Bh. 302 og
D. Bh. 316 på nivå 45 er vist i tabell 3. Det fremgår her at Cu-
og Zn-gehaltene er gjennomgående meget lave og at sulfidinnholdet
i det vesentlige består av svovelkis. Dog bør de lave metall-ge-
haltene tas med et vist forbehold da det kan forekomme rikere soner
innen kvarts-sericitt skiferen - dels i form av rikere impregnasjon
og dels som tynne soner av mere normal, massiv malm. Et par ana-
lyser fra D. Bh. 1 og D. Bh. 2 på nivå 64 viser f. eks., klart
høyere metallgehalter enn prøvene fra nivå 45(Tabell 4).

Gjennomsnittsgesaltene for kobber og sink i kvarts-sericitt
skiferen vil i alle tilfeller ligge vesentlig lavere enn i den
massive malmen, selv om det skulle være ønskelig med flere ana-
lyser av større prøver for å bekrefte dette(større bulk-prøver,
kanal-prøver). Antagelig vil slike analyser klarere vise at bry-

ting av kvarts-sericitt skifer kun vil representere en økonomisk belastning i alle ledd - fra den tas ut i gruben til den ender i Trondheimsfjorden.

Kloritt skiferen danner i sin tur en kappe omkring massiv malm og kvarts-sericitt skifer. I nordkanten av Hovedgangen ligger kloritt skiferen i direkte kontakt med massiv malm og representerer her en relativt dårlig (bløt og løs) heng i motsetning til den hardere kvarts-sericitt skiferen som kommer inn mot syd (Fig. 1).

Kloritt skiferen har en dyp grønn farge og består av følgende mineraler:

<u>Hovedmineraler</u>	<u>Underordnede og aksessoriske mineraler</u>	
Kloritt	Albitt-feltspatt	Sulfider*
Kvarts	Kalkspatt	Rutil
Biotitt		

*Alle vanlige sulfider, normalt er svovelkis viktigst.

Mot nordkanten av Hovedgangen er kloritt skiferen vanligvis gjennomvevet av roser og uregelmessige årer rike på kobberkis som er "skviset" ut av den massive malmen under foldingen. Denne sekundære kobberanrikningen strekker seg normalt ikke mere enn 1 - 2 meter innover i kloritt skiferen. En analyse av slikt kobberholdig gråberg er gjengitt i tabell 5.

MALMENS FORM OG STRUKTUR

I store trekk kan formen på Hovedgangen synes regelmessig og enkel. Den kan kort beskrives som en linjal som stikker ca. 30° mot vest. I virkligheten er malmen foldet etter et intrikat mønster etter akser som er subparallelle med selve malm-aksen. Dette foldesystemet styrer alle små og store detaljer i malmens morfologi. I praksis kan de større malmektighetene alltid betraktes som en repetisjon (ved folding) av en opprinnelig ufoldet malmplate, ledsaget av en viss plastisk forflytting av malmen relativt til sidebergartene. Gafling av malmen og større gråbergspaller, som tilsynelatende umotivert projiserer inn i malmen, er likeledes betinget av foldingen. De største malmektighetene får man i selve ombøyningen av foldene - i flankene tynner malmen gjerne ut og kan lokalt avsnøres. Selve formen på gruverommene gir et grovt omriss av tyngdefordelingen av foldene - detaljene i foldesystemet fremkommer ved studier av gjenstående bergfester

og strossevegger.

Til nå er kartleggingen ikke tilstrekkelig detaljert til at man klart kan se den strukturelle utviklingen i malmen nedover gjennom de ulike strossene. Dette skyldes hovedsakelig at avstanden mellom de kartlagte profilene er for stor. Ved den siste befaringen i gruben ble arbeidet konsentrert i området mellom nivå 45 og nivå 53. Sammenstilt med resultatene fra tidligere arbeider kan man nå likvel se en grov trend i utviklingen fra nivå 38 til nivå 58 (Fig. 2)

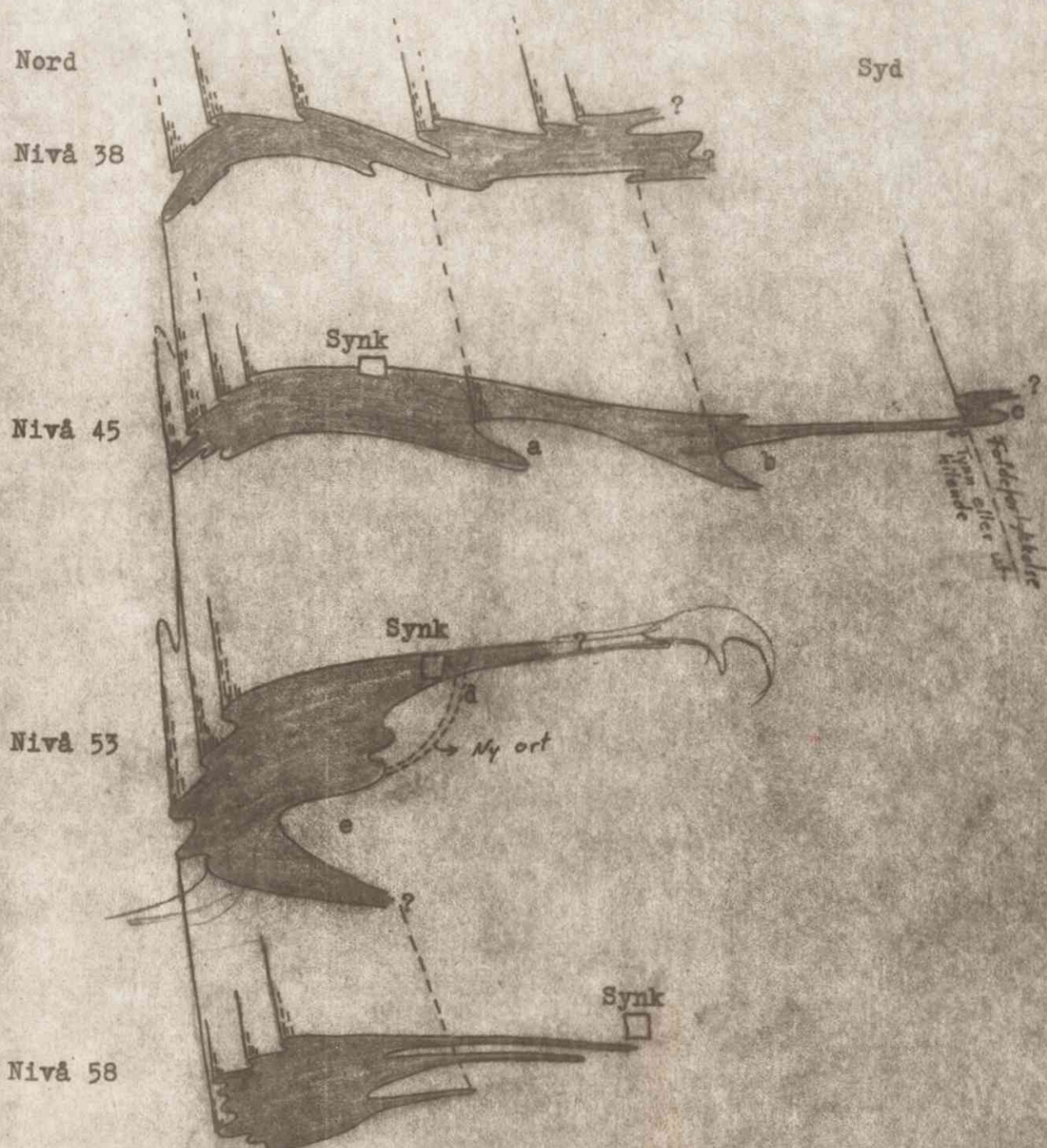


Fig. 2: Skjematisk fremstilling av malmens strukturelle utvikling fra Nivå 38 til Nivå 58.

Nivå 38 viser hvordan foldene og dermed også selve malmtyngheden, er jevnt fordelt over hele strosseprofilen. Malmen stikker relativt bratt ned mot nord, en tendens som etter hvert blir mere fremtredende lengere nedover i gruben.

Nivå 45 viser hvordan malmtyngheden er blitt forskjøvet mot nord. Mot syd kiler malmen ut i en lang "hale" med enkelte foldefortykkelser. Ved (a) avtar mektigheten raskt idet en stor gråbergpall er innfoldet i malmen slik at denne gafler seg. Den undre flanken er delvis utdrevet og på et sted er det kjørt inn en kort ort som viser at malmen avtar raskt. Den øvre flanken er helt utdrevet og viser gjennomgående små, men variable mektigheter. Hele strukturen kan følges et godt stykke oppover og nedover i gruben.

Selve profilet som er forholdsvis langt utstrosset mot syd, viser ytterligere to foldefortykkelser. Ved (b) har vi en relativt markert struktur som antagelig bestemmer den sydlige begrensningen av ovenforliggende strosser, idet malmen igjen gafler seg med raskt avtagende mektigheter videre mot syd. Nedenfor, i samme struktur, er det nylig uttatt et relativt stort parti sinkrik malm.

Videre sydover i felt stiger malmen nokså bratt, den er her nokså tynn og tildels utkilende før den igjen vokser ved en ny foldefortykkelse (ved c). Den samme utviklingen kunne man observere i den nye orten mot syd, altså nedenfor profilet. Malmen stiger også her mot syd, samtidig som mektigheten avtar. Ved besøket var malmen nærmest kilt ut, men man hadde ennå ikke nådd strukturen som tilsvarer (c).

Nivå 53 viser hvordan hovedtyngheden av malmen er forskjøvet ytterligere mot nord. Malmen har her fått form av en liggende "U" med åpningen vendt mot syd. I selve ombygningen er foldingen intens, samtidig som malmen nærmest står på høykant. Dette betinger den relative store strosse-høyden og den mere begrensede feltutstrekningen i området. Stedvis står det igjen en del malm i undre flanke, d.v.s. under og nord for gråbergpallen ved (e). Øvre flanke tynner relativt raskt ut mot syd idet den går gjennom synken. En ny ort er ført innunder og opp på sydsiden av synken til skjæring med malmen (d). Malmen synes her fortsatt å stige mot syd. Videre sydover vil antagelig malmen gradvis tyne ut, med muligheter for lokale fortykkelser som på nivå 45.

Nivå 58 antyder at den "U"-formede strukturen fra nivå 53 er blitt adskillig mere sammenklemt og malmtyngheden sterkt konsentrert i en "klump" mot nord. Begrensningen av malmen mot nord er forevrig nokså kontant slik som på de øvrige nivåene; mot

syd derimot glir malmen gradvis over i tynne, utkilende "haler".

Vi har sett hvordan foldingen styrer malmkroppens form i alle detaljer. I felt øker malmektighetene raskt der foldingen er utrert, mens den avtar raskt og blir jevnt tynn der malmen er mere uberørt. Har man først støtt på en lokal foldefortykkelse, må man regne med at denne har en nokså stor utstrekning i folde-aksens retning - d.v.s. noenlunde parallelt med malmens hovedakse. Dog vil ikke slike lokale foldefortykkelser vare i det uendelige, men gradvis "dø" ut i begge retninger som en sigar. Når en slik "sigar" dør ut vil nye kunne oppstå relativt forskjøvet i forhold til den første (Fig. 3).

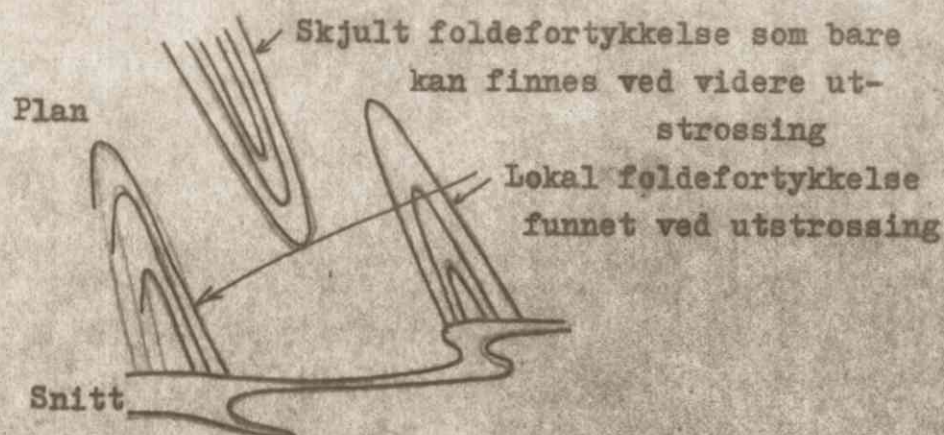


Fig. 3: Lokale foldefortykkelser mot syd i Hovedgangen. Det er antydnet hvordan disse kan dø ut i akse-retningen, mens nye kan oppstå. Slike foldefortykkelser kan bare finnes ved utstrossing, men er de først først oppdaget vil de alltid fortsette i foldings-aksens retning -d.v.s. malmens hovedakse.

Når man først har fått tak i en foldefortykkelse bør man forsøke å følge denne til den eventuelt dør ut, samtidig som man prøver å gripe fatt i nye som måtte dukke opp under driften. Antagelig vil det stå igjen en god del sink-rik malm i slike foldefortykkelser mot syd, både ovenfor nivå 45 såvel som et godt stykke nedover. (Se også vedlegg som viser hovedstrukturene på nivå 45 - 46 i plan).

VURDERING AV RÅMALMPRODUKSJONEN

Analyser av råmalm for perioden 1920 - 1952 (Fig. 4) viser gehalter som ligger nær opptil analysetallene for massiv malm i tabell 1. I denne perioden ble det derfor ganske sikkert drevet selektivt på massiv malm; antagelig med hånd-skeiding i en viss utstrekning. Etter at flotasjonsverket kom i drift i 1952, ser

man av diagrammet i figur 4 at der er en jevn reduksjon av gehaltene frem til 1970. I løpet av denne perioden sank Cu-gehaltene fra ca. 2% til ca. 1,5%, Zn-gehaltene fra ca. 6% til ca. 4% og S-gehaltene fra ca. 45% til ca. 30%. Samtidig steg innholdet av uoppløselig gangart fra ca. 5% til ca. 30%.

En undersøkelse av flotasjonsavgangen har vist at denne hovedsakelig består av kvarts og sericitt. Bare en liten prosentandel av disse mineralene kan stamme fra massiv malm (maks. 4 - 5%). Det alt vesentlige (min. 25%) må komme fra produksjon av kvarts-sericitt skifer. Med runde tall vil derfor en årsproduksjon på 40 000 tonn nødvendigvis inkludere ca. 12 000 t kvarts-sericitt skifer (25% kvarts og sericitt (10 000 t) + 20% kis (2000 t) fra samme bergart). Da metallgehaltene i kvarts-

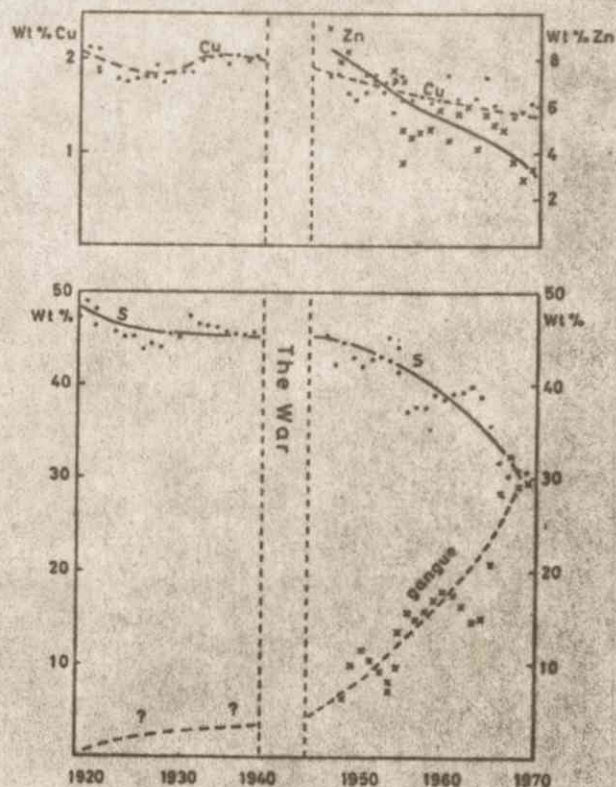


Fig. 4: Produksjonsanalyser av av råmalm fra Killingdal mellom 1920-1970.

sericitt skiferen er relativt lave i forhold til massiv malm (Fig. 5), betyr dette at man antagelig må produsere i størrelseorden minst 8 - 10 t kvarts-sericitt skifer for å få ut samme mengde kobber og sink som i ett tonn massiv malm. Dette må nødvendigvis bli en meget kostbar produksjon!

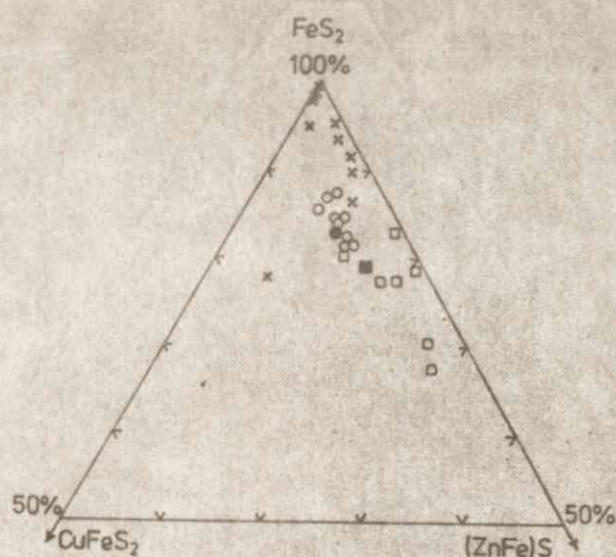


Fig. 5: Trekantdiagram som viser fordelingen av kobberkis, sinkblende og svovelkis omregnet til 100% i Hovedgangen (åpne sirkler), Nørdgangen (åpne firkanter). Gjennomsnittet er vist med tilsvarende lukkede symboler, alle data fra tabell 1 og 2. Kryssene representerer analyser av kvarts-sericitt skifer fra tabell 3. Når man tar hensyn til at kvarts-sericitt skiferen ved omregningen er anriket 4 -5 ganger i forhold til massiv malm, får man et inntrykk av hvorledes kvarts-sericitt skiferen er relativt anriket på svovelkis.

KONKLUSJON

Basert på en rent geologisk vurdering kan driften i gruben økonomiseres på to fronter:

- 1) Ved detaljkartlegging av malmens form og struktur.
- 2) Bedret kontroll med råmalmproduksjonen for å redusere uttaket av lavprosentig kvarts-sericitt skifer.

Under kartleggingen i gruben vil disse punktene være deler av en og samme oppgave som må gå hånd i hånd. Ved detaljundersøkelser av malmens form og struktur vil man få bedere kjennskap til variasjoner i malmektigheter og reserver på et hvert sted. Dermed kan man lettere planlegge angrep på lokale foldefortykkelser og oppfølging av disse. Likeledes ved problemer som oppstår ved gafling og lokale uttynninger av malmen.

Den kanskje enkleste måten å økonomisere driften på er likvel å føre kontroll med og minske uttaket av kvarts-sericitt skifer. Selvsagt er det ikke til å unngå at en god del av denne bergarten

følger med under driften (tynnere soner som er innleiret i massiv malm f. eks.).

Uttaket av kvarts-sericitt skifer kan trolig reduseres ved gjensetting; spesielt mot ligg synes det i enkelte strosser å være tatt ut for mye av denne bergarten. Større, ubeleilige partier av kvarts-sericitt skifer som binder malm (slik som ved (e) på nivå 53 i figur 2) måtte også kunne mineres ut og deponeres nedenfor i gruben. Både gjensetting og deponering av lavprosentig gods krever en bedere kontroll (kartlegging og analyser) med hva som er økonomisk malm - d.v.s. hvilke metallgehalter som bør betraktes som marginale.

FORSLAG TIL UNDERSØKELSE

En eventuell geologisk undersøkelse med henblikk på driften kunne i første omgang begrenses til en liten del av gruben (f. eks. nivå 45 - 46) og nærmest betraktes som et forsøk eller eksperiment. Med ca. én ukes arbeide skulle man få frem et mere detaljert bilde av malmens form og struktur - studier av foldeakser og foldefortykkelser, gafling og oppmåling av mektigheter mm. Et slikt arbeide måtte også inkludere undersøkelser av forholdet mellom massiv malm og kvarts-sericitt skifer, med analyser av metallgehalter for "grade" kontroll (kanal- og knakkprøver).

For at en slik undersøkelse skal komme direkte til driftsmessig nytte (reduksjon av gråbergsuttak og økning av metallgehalter i rågodset), måtte arbeidet planlegges og utføres i nye samarbeide med den tekniske ledelse (grubeingeniør). Likeledes er det nødvendig at de som til daglig er involvert i driften i forsøksområdet - stiger så vel som arbeider - gis en enkel, men grundig orientering om malmens og sidebergartenes karakter og den strukturelle bygningen. Dette kunne gjøres i form av et par kurs-timer med etterfølgende demonstrasjoner i gruben (jeg kjenner mange av arbeiderne ganske godt og vet at de er interesserte og antagelig motiverte for en slik ordning).

Forberedelsene til et slikt forsøk som skissert ovenfor, vil først og fremst kreve ajourføring av grubekart, helst med oppmåling av et par tverrprofiler. Senere under kartleggingen vil det bli aktuelt å spyle enkelte strossevegger (på nivå 46 var det nok så håpløst å arbeide p.g.a. støv), hjelp til visse oppmålinger, samt prøvetaging.

Vedlegg som viser
hovedstrukturene på
nivå 45 - 46

Lokal ut-
kiling
Lokal folde-
fortykkelse

Markert folde-
fortykkelse

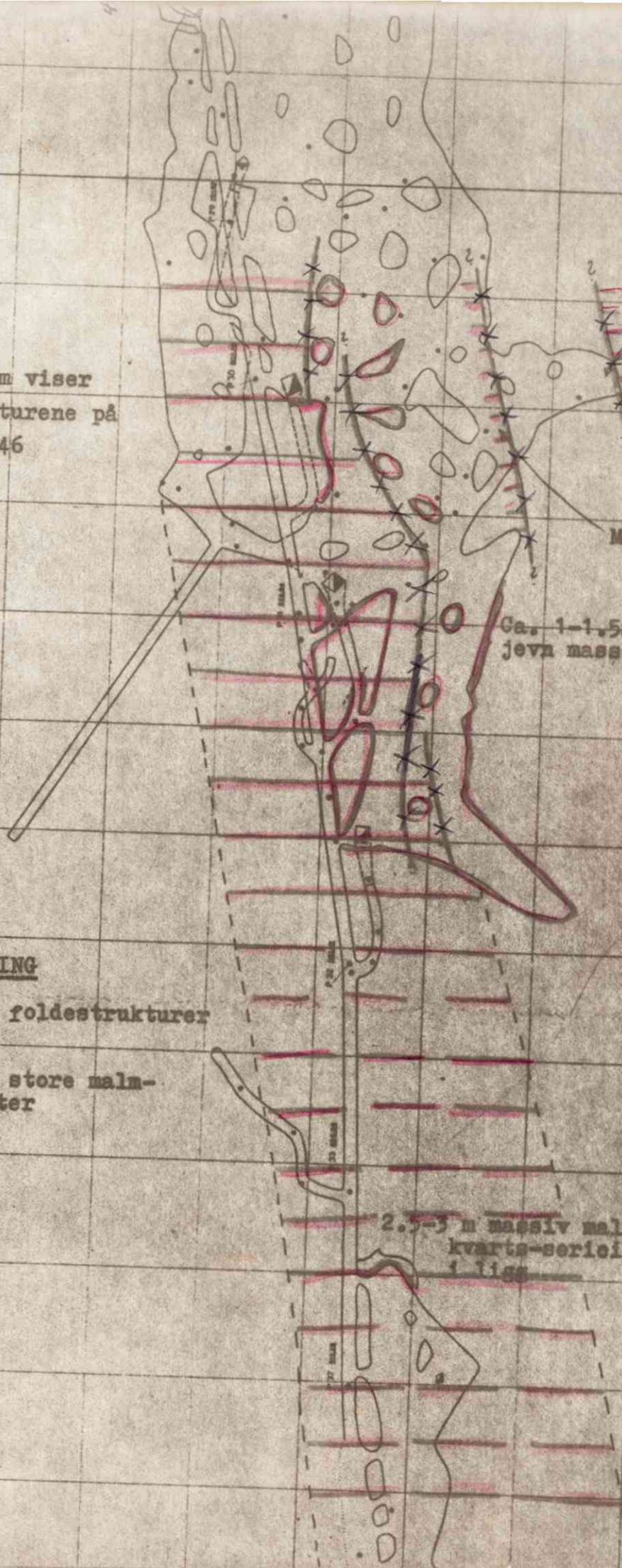
Ca. 1-1,5m
jevn massiv malm

TEGNFORKLARING

Markerte foldestrukturer

Relativt store malm-
mektigheter

2,5-3 m massiv malm med
kvarts-serieitt sk.
i ligg



Tabell 1: Kjemiske analyser av massiv malm fra Hovedgangen med mineralsammensetningen(omregnet) nedenfor.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Av. 1-10
S	48.84	48.10	49.25	49.20	49.05	48.06	46.30	48.81	46.68	47.20	48.15
Fe	42.02	41.70	43.20	42.00	40.79	39.56	38.75	41.06	40.30	40.50	40.99
Zn	6.06	4.50	4.60	4.80	6.44	7.53	6.77	5.67	5.73	6.75	5.89
Cu	1.70	2.25	1.78	1.50	2.13	1.86	2.11	1.88	1.90	1.93	1.90
Pb	—	0.20	0.30	0.40	0.39	0.39	0.65	0.39	0.45	0.40	0.40
As	—	0.07	0.11	0.12	0.07	0.15	0.16	0.14	0.14	—	0.12
SiO ₂	1.12	3.12	0.70	1.80	0.97	1.56	3.21	1.05	2.60	5.60	—
Al ₂ O ₃	—	—	—	—	0.14	0.05	0.40	0.23	0.40	—	—
Total	99.74	99.94	99.94	99.82	99.98	99.16	98.35	99.23	98.20	102.38	—

Mineralsammensetningen basert på analysene ovenfor.

Svovelkis	83.65	82.47	85.91	85.00	81.36	78.87	76.10	82.13	79.16	79.54	81.15
Sinkbl.	10.06	7.47	7.63	7.96	10.69	12.50	11.23	9.41	9.52	11.21	9.87
Kobberk.	4.91	6.50	5.15	4.34	6.16	5.37	6.10	5.44	5.49	5.57	5.49
Blyglans	—	0.23	0.35	0.46	0.45	0.45	0.75	0.45	0.52	0.46	0.46
Arsenkis	—	0.15	0.24	0.26	0.15	0.33	0.35	0.30	0.30	—	0.32
Kvarts	—	—	—	—	0.78	1.49	2.64	0.82	2.03	—	—
Muskovitt (sericitt)	—	—	—	—	0.41	0.15	1.18	0.68	1.18	—	—

Tabell 2: Modalanalyser(punkttelling) av massiv malm fra Hovedgangen. Knakkprøver fra nivå 54, fra heng til ligg

Prøve	Svovelkis	Kobberkis	Sinkblende	Magnetkis	Gangart
F-1	79%	1.5%	19%	—	ca. 1%
F-4	89	6	1	0.1	4
F-7	75	16	8	—	1
F-8	49	1.5	47	—	0.4
F-10	79	14	2	3	2
F-13	74	7	14	2	2
Snitt:	74%	7.6%	15%	0.85%	1.73%

Tabell 3: Analyser av kvarts-sericitt skifer fra Hovedgangen, nivå 45, D.Bh. 302 og 316.

Prøve	% Cu	% Zn	% S	% Fe	% U1.	Sum
302/1.50	0.04	0.35	7.30	7.60	83.00	98.29
/2.40	0.05	0.35	5.00	6.00	86.60	98.00
/4.40	0.30	0.30	14.62	12.00	69.00	96.22
/4.50	1.25	0.90	11.00	9.80	76.80	99.75
/6.40	0.04	0.40	1.40	6.00	58.50	66.34
316/1.00	0.23	2.00	14.23	13.00	66.90	96.36
/2.60	0.04	0.05	6.15	5.40	85.60	97.24

(forts.)

Tabell 3(fortsatt):

Prøve	% Cu	% Zn	% S	% Fe	% Ul.	Sum
316/3.50	0.45	0.07	8.76	8.00	80.90	98.18
/4.50	0.02	0.05	9.75	9.60	78.60	98.02
/5.60	0.00	0.02	5.16	5.20	86.70	97.08
/6.40	0.03	0.02	4.43	4.60	89.00	98.08
Snitt	0.22	0.41	7.98	7.93	78.33	

Tabell 4: Analyser av kvarts-sericitt skifer fra nivå 64,
D. Bh. 1 og 2

Prøve	% Cu	% Zn	% S	% Fe	% Ul.	Sum
1/0.0-2.0	0.90	1.80	22.00	18.20	57.40	100.3
2/1.1-4.0	0.52	1.10	12.60	11.00	73.40	98.62
Snitt	0.71	1.45	17.3	14.6	65.4	

Tabell 5: Analyse av kobberholdig gråberg(klorittskifer med
roser og årer av kobberkis) Strosse 57(14/3 -56)

4.05 %Cu 1.25 %Zn 8.95 %S 15.0 %Fe* 64.6 %Ul

*Det relativt høye jerninnholdet skyldes at også en del
kloritt må ha gått i oppløsning.