



Bergvesenet

Postboks 3021, 7002 Trondheim

Rapportarkivet

Bergvesenet rapport nr BV 1937	Intern Journal nr	Internt arkiv nr	Rapport lokalisering Trondheim	Gradering
Kommer fra ..arkiv	Ekstern rapport nr	Oversendt fra	Fortrolig pga	Fortrolig fra dato:
Tittel Vasskis - gangkis i Løkkenfeltet				
Forfatter Ødegård, Magne		Dato 17.11 1959	Bedrift NTH	
Kommune Meldal	Fylke Sør-Trøndelag	Bergdistrikt Trondheimske	1: 50 000 kartblad 15213	1: 250 000 kartblad
Fagområde Geologi	Dokument type		Forekomster Løkkenfeltet	
Råstofftype Malm/metall	Emneord			
Sammendrag				

OKH / 413 / 48

OV1937

69

9. juni 1959.

Det store eksamensarbeid for stud. techn. Magne Ödegård.

Vasskis - gangkis i Lökkenfeltet.

Gi en geologisk og petrografisk beskrivelse av vasskisdragene i Lökkenfeltet.

Undersök forholdet mellem vasskis og gangkis, og gi en geokjemisk karakteristik av de to malmtypene.

Jens A.W. Bugge

J.A.W. Bugge

Under feltarbeidet på Løkken, som varte ca. 1 1/2 måned, fikk jeg mye verdifull hjelp av bolagets ingeniører og andre ansatte. For dette skylder jeg selskapet stor takk. Spesielt vil jeg få takke Erling Sagvold for all den hjelp han ytet meg under oppholdet på Løkken.

Jeg vil også få rette en takk til Geologisk Institutt ved professor Jens A.W. Bugge, for all hjelp derfra. Spesielt vil jeg takke for at jeg har fått benytte en god del av instituttets utstyr, og da i første rekke instituttets røntgenapparat.

Videre vil jeg få takke preparant Anker Iversen for de malm- og bergartspreparater han har laget.

Endelig må jeg få lov å takke Statens Råstofflaboratorium ved A. Kvalheim, for at jeg har fått benytte laboratoriets røntgenspektrografiske utstyr.

Tilslutt en takk til frk. Beate Berner som har utført to analyser på optisk spektrograf for meg.

Oppgaven er ellers utført selvstendig ved hjelp av den litteratur som er anført bakerst i heftet.

Alle røntgenspektrografiske undersøkelser, samt røntgen struktur-undersøkelser er også utført av meg selv. Likeså har jeg selv laget alle fotografier, også mikrofotografier.

Trondheim den 17 november 1959.



Erling Sagvold

Innholdsfortegnelse.

	Side
Innledning.....	1
Trondheimsfeltet.....	1
Løkkenfeltet.....	3
Bymarkgruppen innen Løkkenfeltet.....	5
Geologisk beskrivelse av vasskisene i Løkkenfeltet.....	7
Mineralogisk og petrografisk beskrivelse av vasskisene i Løkkenfeltet.....	15
1. Lavmetamorfe eller tilnærmet umetamorfe vasskiser.....	26
2. Metamorfe vasskiser (uten tilførsel av nye stoffer).....	28
3. Metamorfe vasskiser (med tilførsel av nye stoffer).....	36
Røntgenundersøkelser av vasskiser i og utenfor Løkkenfeltet.....	41
Gangkis i Løkkenfeltet.....	51
Bidrag til bestemmelse av Løkkenmalmens dannelsestemperatur ut fra jerninnholdet i sinkblenden.....	57
Litt om forholdet vasskis-gangkis i Løkkenfeltet.....	64
Geokjemi.....	74
Litteraturfortegnelse.....	96

Innledning.

Løkken gruve, som eies av Orkla Grube A/B, ligger ved elven Orkla i Meldal herred, Sør-Trøndelag fylke. Gruveanleggene ligger ca. 250 m over havet og ca. 70 km SV for Trondheim.

Drift, som i begynnelsen utelukkende var basert på utvinning av malmens kobberinnhold, ble opptatt så tidlig som i 1654. Gruvene har således vært i mere eller mindre kontinuerlig drift i over 300 år.

Foruten hovedgruva på Løkken, har det innenfor det man kaller Løkkenfeltet vært flere eldre gruver som nå er nedlagt. De viktigste av disse er Høidal og Dragset. Høidal ligger ca. 3 km øst for Løkken, og Dragset ca. 8 km. vest for Løkken. Begge disse var kisgruver som hovedgruva på Løkken. Malmen fra Dragset var temmelig rik på kobber, lokalt opptil 12 %. Sølvgehalten var også høy. Løkkenfeltet med sine kisforekomster ligger i det som blant geologer benevnes Trondheimsfeltet. Trondheimsfeltets geologiske oppbygning skal derfor her kort repeteres.

Trondheimsfeltet.

Trondheimsfeltet utgjør en del av den kaledonske fjellkjede som ble utformet i slutten av silur. Denne fjellkjede, som går bueformig over den vestlige del av Skandinavia, består for det meste av sterkt foldete kambro-silur-sedimenter sammen med en del eruptiver. Det som skiller Trondheimsfeltet

fra den øvrige del av den kaledonske fjellkjede er at bergartene her har en sterk iblanding av vulkansk lavamateriale.

Den geografiske utbredelse av Trondheimsfeltet er omlag følgende: Sydgrensen er en linje fra Vigelen i øst, over Alvdal til Vågåvatnet i vest. Vestgrensen går fra Vågåvatnet nordover gjennom Oppdal og Trollheimen til høydene vest for Orkdalsfjorden, herfra videre nordover på vestsiden av Trondheimsfjorden og til litt nord for Snåsavatnet. I øst avskjæres feltet politisk av svenskegrensen. Fra Meldal går det ut en forgrening mot VSV til Surnadal. Grensene er tatt fra C.W.Carstens' beskrivelser av Trondheimsfeltet, sammenholdt med Berggrunnskart over Norge av O.Holtedahl og J.A.Dons. Nedenstående oversiktskart i målestokk 1:2500 000 viser den omtrentlige utbredelse av Trondheimsfeltet (skravert). Det er særlig nord- og nordvestgrensen samt sydvestgrensen som er mest unøyaktige, men stort sett gir kartet et temmelig korrekt bilde av feltet.



Oversiktskart over Trondheimsfeltet i målestokk 1:2500000

Stratigrafien i Trondheimsfeltet er blitt undersøkt inn-
gående av flere geologer, og som resultat er følgende lag-
system fremkommet:

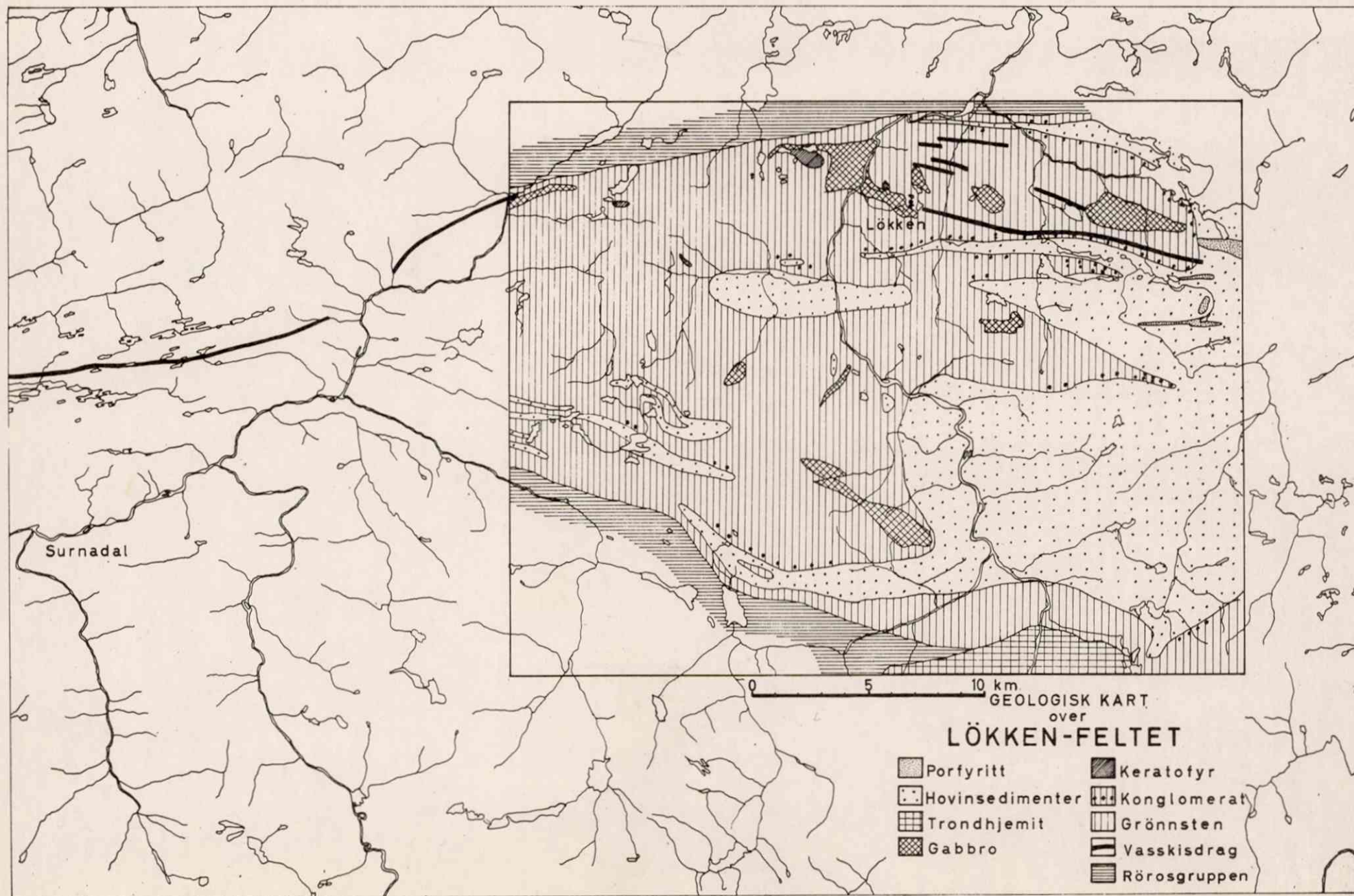
Hovingsruppen (yngst)
Bymarkegruppen
Rørosgruppen (eldst)

Rørosgruppen ligger på sparsmaltformasjonen, som
ligger ligger direkte på prekambriiske bergarter (grunnfeltet).

Løkkenfeltet.

Av nækkelkartet side 2 fremgår beliggenheten av Løkken-
feltet (innrammet). Feltet, som utgjør et område på ca.
600 km², strekker seg fra Malberget på Hølanda i øst til
Lomunda-Tilfjell i vest, og fra Svoromo i nord til Grindal
i syd. Geologisk er Løkkenfeltet kartlagt i målestokk
1:50000 av C.W. Carstens. For å få et geologisk oversikts-
kart over feltet inn på et A4-format har jeg tegnet av
C.W. Carstens' kart på et kart i målestokk 1:100000, som
jeg igjen har fått fotografert ned hos Kjellangers
oppmåling til en målestokk ca. 1:222000. Som en ser side 4
dekker kartet, foruten selve Løkkenfeltet, mesteparten av
Surnadalssområdet.

Geologisk har Løkkenfeltet synkinal oppbygning. Som
det fremgår av kartet, begrenses feltet i både nord og syd
av Rørosgruppen's bergarter. Disse består vesentlig av
glimmerskifte og gneiser. Konkordant over Rørosgruppen
ligger Bymarkegruppen med sine grønnstener. Som feltets
yngste gruppe kommer Hovingsruppen med sine sedimentær;
vesentlig konglomerater, sandstener, kalkstener og lenskifte.
Mellom Bymarkegruppen og Hovingsruppen er det i Løkkenfeltet



en større diskordans, som betegnes av det såkalte jaspis-konglomeratet. Dette konglomeratet, som oppfattes som et basalkonglomerat for Hovingruppen, består vesentlig av boller av grønnsten, jaspis, felsit, rød skifer, marmor m.m. For å skjematisere den geologiske oppbygging av Løkkenfeltet tar jeg med nedenstående tabell.

Formasjoner:	Alder i mill år:	Løkkenfeltets inndeling	Alminneligste bergarter:
	350		
Silur			
	390		
Ordovicium		Hovingruppen	Konglomerater, sandstener, kalkstener m.m.
		Bymarkgruppen	Vesentlig grønnsten
	470		
Kambrium		Rørosgruppen	Vesentlig glimmerskifer
	550		

Bymarkgruppen innen Løkkenfeltet.

Den viktigste og mest utbredte bergartsgruppe innen Løkkenfeltet er Bymarkgruppen med sine grønnstener. Det er i denne gruppen man finner Løkkenkisene. I den overliggende Hovingruppe er kis ikke funnet. Dette skulle tyde på at kisene er dannet før Hovinsedimentene.

Petrografisk er Bymarkgruppen vesentlig oppbygget av såkalte grønnstener, som er omvandlete submarine basalter. Ved siden av grønnstener finnes innleirete lag av tuffer, agglomerater, kvartsitter, jaspis, blåkvarts, svartfjell, klorittskifer, sedimentære kislager m.m. Mesteparten av Bymarkgruppens bergarter er således av vulkansk opprinnelse, sannsynligvis fra undre ordovicium. Den masseformete grønn-

sten i Løkkenfeltet er ofte utviklet som putelava. Særlig i Bymarkgruppens midterste og øverste horisonter finner en ofte denne karakteristiske grønnstenstype. I de laveste horisonter er grønnstenen utviklet som grønnstensskifre. Disse kan tenkes dannet på 2 måter. Enten ved regionalmetamorfose av grønnsten, eller også kan den være et derivat fra en tidligere massiv grønnsten.

Strøkretningen av bergartene i Løkkenfeltet er temmelig konstant, og tilnærmet Ø-V. Fallet er nesten overalt steilt nordlig, bortsett fra de nordligste områder der fallet for det meste er sydlig. Foldningsaksen i feltet er temmelig flat; fallet varierer fra ca. 15° vestlig ved Løkken, til svakt østlig i den vestlige og østlige del av feltet.

Innen Løkkenfeltet er det en god del, både større og mindre, forkastninger. Av overskyvninger er det derimot mindre. Et eksempel på overskyvning har vi i det overskyvningsplan som ligger i hengen av hovedmalmen på Løkken. Utgående av planet har jeg lagt inn på det geologiske kart (som bilag).

En systematisk stratigrafisk inndeling av grønnstensgruppen i Løkkenfeltet er meget vanskelig eller muligens umulig å gjøre. Professor Trygve Strand som de siste år bl. a. har beskjeftiget seg med dette problemet, har her gjort et fortjenestefullt arbeide. Han har skilt ut forskjellige horisonter i grønnstenen etter grønnstenstypen. Således har han inndelt grønnstenene i typer som lys grønnsten, feltspatrik grønnsten, hornblenderik grønnsten, mørk grønnsten, porfyrisk grønnsten osv. Det er temmelig opplagt at dette er den riktige vei å gå her hvor det finnes så få gode ledehorisonter. Av gode ledehorisonter kan jeg her nevne de sedimentære kislagenene - de såkalte vasskiser- sammen med de ofte opptredende lag av svartfjell, jaspis og klorittskifer.

Geologisk beskrivelse av vasskisene i Løkkenfeltet.

Ordet "vasskis" stammer fra det tyske "weisser Kies", som feilaktig er blitt oversatt til norsk med vasskis. "Weisser Kies" har sin berettigelse i og med at vasskisen ofte er temmelig lys av farve. Svært ofte er den mere eller mindre blank å se til. På Stord, hvor der foregår drift på vasskis, har de således en kistype med betegnelsen blankkis.

Som tidligere nevnt opptrer det vasskisdrag nesten overalt i bymarkgruppens grønnstensbergarter; således også i Løkkenfeltet. For å få lagt inn de viktigste vasskisdragene i Løkkenfeltet på ett kart, slik at det hele blir mere oversiktlig, har jeg måttet lage et spesielt kart. Dette har jeg gjort fordi det ikke fantes noe kart over det aktuelle område i stor nok målestokk. Kartet, som er i målestokk 1:10000, har jeg satt sammen av to vanlige topografiske karter, samt en del flyfotos. Geologien er innlagt på grunnlag av karter av C.W.Carstens, professor Trygve Strand og ingeniør Knut Brøndbo. Den geografiske beliggenhet av vasskisdragene i Løkkenfeltet og vestover er innlagt på grunnlag av ^{OG AM'S} geologiske karter, geofysiske indikasjonskarter, oversiktskarter over diamantboringer og skjerp, sammen med en del egne observasjoner.

Som det fremgår av kartet er det innen Løkkenfeltet tre hoveddrag av vasskis, som er tilnærmet parallelle og stryker temmelig nøyaktig øst-vest. De tre vasskisdragene er de kjente Skjøtskift- og Jordhus-forekomstene, samt vasskisdraget Høidal-Løkken; alle tre nevnt i rekkefølge nordfra og sydover. I og med at disse tre dragene ligger noenlunde parallellt, samtidig som de også er av noenlunde ^{Samme} størrelsesorden, kunne det være nærliggende å tenke at disse tre drag-

ene er samme vasskishorizont, og fremkommet ved foldninger og/eller forkastninger. Dette er aldri hverken påvist eller motbevist med sikkerhet. Professor Trygve Strand mener i hvert fall at vasskisdragene ved Jordhus og Høidal-Løkken er to forskjellige stratigrafiske nivåer. Han skriver i sin rapport om Løkkenfeltets geologi side 25:

"Vasskislaget ved Jordhus er neppe på samme stratigrafiske nivå som Løkkenmalmenes vasskisnivå, det ligger i eller i nærheten av grønnsten av "Wallenberg-typen", som er helt forskjellig fra den feltspatrike lyse grønnsten som Løkken-Høidal vasskishorizont ligger i". Det ville utvilsomt være av stor betydning å få klarlagt dette med sikkerhet, da det ser ut som de teknisk- økonomisk viktige kisene- de såkalte gangkiser- finnes i samme stratigrafiske nivå som vasskisdraget Høidal-Løkken ligger i. Hvis dette i det hele tatt lar seg gjøre å finne ut, måtte det i tilfelle foregå ved meget nøyaktige undersøkelser over geologien og tektonikken i feltet.

Av det geologiske kartet ser en at vasskisdragene har tildels stor utstrekning i strøkretningen, således ofte opp til flere kilometer. Vasskisdraget Høidal-Løkken strekker seg helt fra Hølundatraktene i øst og til hovedgruva på Løkken i vest. I samme strøkretning er vasskis ikke funnet i dagen vestenfor det tidligere nevnte overskyvningsplanet. Dette kan tyde på at overskyvningen har vært temmelig stor. I gruva, altså under overskyvningsplanet, ser det ut som vassdraget fortsetter mot vest med samme retning og mektigheter. Ingeniør Per Sandvik har fortalt meg at vasskis også finnes i liggen av den nye malmen som er funnet lenger vest og dypere. Dette er nok temmelig sikkert samme stratigrafiske horisont som vasskisen i liggen av hovedmalmen.

De to andre vasskisdregene, Jordhus og Skjotskift, har også temmelig stor kjent strøkutsrekning. De strekker seg begge både østover og vestover for Løkken-dalen. Om disse avsluttes i dagen vestover mot noe overskyvningsplan er ikke kjent. Utgående av det store overskyvningsplanet har jeg tegnet inn på kartet. Denne linjen har jeg avsluttet med et spørsmålstegn ved Bjørnllivannet. Professor Trygve Strand har videre nordover på sitt kart svinget linjen over til øst siden av Bjørnllivannet, her gjort en sving, og så tegnet linjen nordover til traktene rundt Jordhusmyra. Personlig tror jeg at utgående av overskyvningsplanet fortsetter nordover langs lengderetningen av Bjørnllivannet, over det lille vannet nord for Bjørnllivannet, og videre buetformig nordvestover. Denne oppfatning støttes fullt av flyfoto over området, som temmelig tydelig viser en buetformet svakhetssone (konkav mot vest) i det terrenget jeg har nevnt. Jeg vil også nevne at man i et skyveplan alltid kan legge en rett linje, altså med andre ord et skyveplan er ikke dobbeltkrummet, men er enten et fullstendig plan eller en sylinderflate. Jeg mener derfor at man umulig kan få en slik skjæringslinje mellom overskyvningsplanet og terrenget som professor Trygve Strand har antydnet på sitt kart.

Lenger vest i Løkkenfeltet finner man igjen vasskis, således finnes vasskis flere steder i traktene rundt Hoslynga. Går man enda lenger vest, finnes vasskis flere steder i Rindalen. Et temmelig sammenhengende vasskisdreg strekker seg fra Lomunddalen (i Rindalen) og nedover gjennom mesteparten av Surnadalen. Dette draget er inntegnet på oversiktskartet side 4.

Det er ikke bare i strøkretningen at vasskisene har stor utstrekning. Utstrekningen i fallet kan også være stor,

kanskje like stor som i strøket. Utstrekningen i fallet er i de fleste tilfelle selvfølgelig vanskelig å få målt. I gruva har man imidlertid utmerket anledning til slike målinger. Her kan man følge vasskislagen helt fra dagen og nedover på de forskjellige nivåer i gruva. Også de mange diamantborhull gir verdifulle opplysninger om vasskislagenes forhold mot dypet.

Vasskisforekomstene ligger innleiret i bymarkgruppens grønnstener. Morfologisk opptrer de som tykkere eller tynnere lag, og med en typisk lagdelt oppbygning. Denne struktur, sammen med at vasskisene ofte har meget stor utstrekning både i strøket og fallet, skulle sterkt tyde på at vasskisene er sedimentære dannelser. I tillegg opptrer forekomstene svært ofte konkordant med andre sikre sedimenter. Av nedenstående bilde, som er tatt fra et vasskislag i hovedgruva, fremgår tydelig den lagdelte strukturen hos vasskisene. Lagdelingen er en veksel mellom mere eller mindre rene kislager, og bergartslag av forskjellig slag.



Foto i målestokk ca. 1:12 av vasskislager i tverrslag 26 vest, nivå 430 m.

Bildet på neste side er tatt fra et annet vasskislager på samme

nivå og i samme tverrslag i gruva. Bildet viser tydelig veksel mellom lyse og mørke lag. I virkeligheten er de lyse lagene gule og de mørke lagene brune. Farvefoto ville sikkert her ha vist bedre hvordan lagene virkelig ser ut. Den gule forvittringsfarven på vasskisstripene er mest fremtredende i gruva. Dette er sikkert på grunn av den fuktige og også ofte varme lufta i gruva.



Foto i målestokk ca. 1:18 av vasskislag i tverrslag 26 vest, nivå 430 m.

I terrenget er vasskisdragene ganske lette å se hvis de ikke er overdekket. På grunn av oksydasjon av jernet vil de som regel ha en rustbrun overflate. Slike rustsoner vil en ofte kunne se i grønnstensgruppen, og som regel skyldes de en større eller mindre vasskishorisont. Lagene kan ofte være meget tynne. Ofte kan hele rustsonen skyldes en kisstripe på bare 1-2 mm. Eksempel på dette kan en se ved Skjøtskift i jernbaneskjæringen. Men vasskislagenes kan også være av betydelig mektighet; de forskjellige kislagene kan lokalt gå opp i $\frac{1}{2}$ m. eller mere. Mest hyppig ligger mektigheten på de

forskjellige kislagenes i området 2mm-3-4cm. Mektigheten av hele vasskislaget, altså summen av kislagenes og bergartslagenes mektigheter, kan gå opp i mange meter. Således har jeg i et vasskislage i liggen av hovedmalmen målt en mektighet på ca. 12 m. Vanligvis ligger mektigheten i området fra 1/2 m - 3-4 m.

Flere steder i Løkkenfeltet har en utmerket anledning til å studere vasskisforekomstene, i og med at en finner dem både i vei- og jernbaneskjæringer, i orter i gruva og i skjerp. Dessuten finnes det en rekke diamantborkjerner av vasskis fra forskjellige steder i Løkkenfeltet.

I jernbaneskjæringen ved Skjøtskift kan en se en rekke (ca. 10 i alt) steiltstående, parallelle vasskishorisonter, atskilt ved tynnere eller tykkere lag av massiv eller skifrig grønnstein. Nedenstående bilde er tatt fra et av de mange vasskishorisontene i jernbaneskjæringen ved Skjøtskift. Grensene mellom grønnstein og vasskis er trukket med rødt.

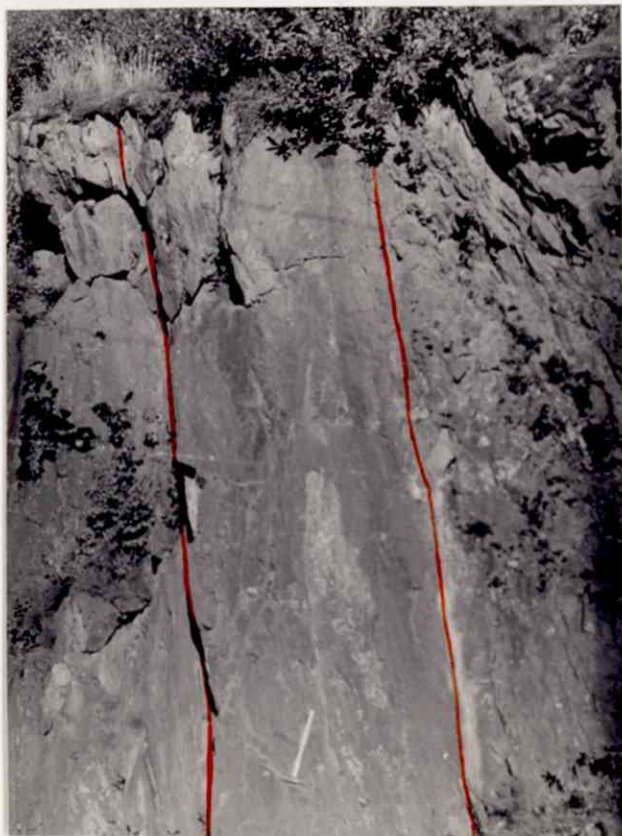


Foto i målestokk ca. 1:40 av vasskislage ved Skjøtskift.

Bildet på foregående side viser dårlig grensene mellom vasskislaget og grønnstenen. Farvefoto ville i dette tilfelle sikkert ha vært å foretrekke. Kislaget er nemlig rustbrunt og sidestenen grågrønn. Bildet nedenfor viser bedre begrensningen mellom vasskisen og grønnstenen. Kontrasten mellom disse var også ved dette vasskislaget noe skarpere. Jeg har likevel tegnet inn grensene med rød tusj.



Foto i målestokk ca. 1:40 av vasskislag ved Skjøtskift.

Ser man på et geofysisk indikasjonsskart langs et vasskisdrag i Løkkenfeltet, vil man ofte se at draget ikke er sammenhengende, men er mere eller mindre oppstykket. Det ser ut som kisen ligger "stjert om stjert". Hvorvidt dette skyldes forkastninger, eller det er en primær årsak, vet jeg ikke. Mest sannsynlig er det vel at det skyldes forkastningsfenomener. Det ser på flyfoto også ut for at det kan være det. Det er imidlertid ikke noe i veien for at det kan være primære årsaker heller. Vasskisene er jo submarine dannelser,

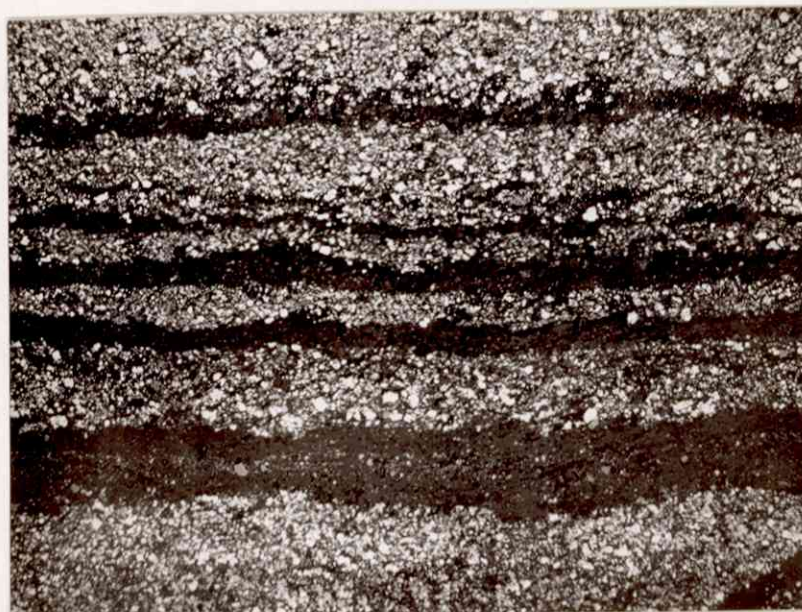
så det kunne jo hende at det har foregått deformasjoner under dannelsen. Det er nemlig en kjent sak at det på havbunnen kan foregå små og også store utglidninger av de forskjellige sedimenter, selv om havbunnens helningsvinkel er meget liten.

Vasskisdragene har jeg lagt inn på kartet med korte streker for å antyde det forhold at dragene ikke er helt sammenhengende. Hver strek må ikke oppfattes som et kislag. Strekene er bare inntegnet langs dragene, og ikke nøyaktig etter indikasjonsskartene.

Foldninger har jeg ikke sett så mye av i vasskisene. I hvert fall ikke noen store folder. Vasskislagen i liggen av hovedmalmen er, som det vil fremgå senere, en del foldet. Et interessant foldemønster fikk jeg se i tverrslag 26 vest, nivå 430. Enkelte lag inne i vasskislaget hadde her godt utviklete små folder, uten at hele vasskislaget var foldet. Dette kan sterkt tyde på at småfoldene er dannet samtidig med vasskislaget. Etter min mening kan dette vanskelig forklares på annen måte. Det kunne jo hende at noe slikt ville fremkomme ved f.eks. skjærkrefter parallelt med vasskislaget, men jeg holder det for lite sannsynlig.

Mineralogisk og petrografisk beskrivelse av vasskisene i
Løkkenfeltet.

Som allerede nevnt består vasskisforekomstene av kislager og bergartslag i vekselagring. De mest alminnelige bergartslag som følger vasskisene er de såkalte klorittlag, svartfjell, jaspis og grafittskifre. Av disse er det i første rekke klorittlagene som opptrer i direkte vekselagring med kislager. De andre bergartene, jaspis, svartfjell og grafittskifer, finnes som regel enten i hengen eller ligger av forekomsten. Jaspis ser ut til å opptre mest i hengen, selv om dette ikke er noen regel. Grafittskiferen ser ut til å kunne opptre hvor som helst i vasskisforekomstene. For å kunne studere vasskisene mikroskopisk, har jeg fått laget en del preparater (både tynnslip og planslip). Nedenstående bilde viser tydelig hvordan vasskisdragene ofte er oppbygget. Bildet som er i 12 X forstørrelse er tatt av et polerpreparat (nr. 9) av vasskis fra Bergugla, altså ved utgående av Bakindia. Preparatet er tatt vinkelrett på lagdelingen i vasskislageret.



Mikrofoto av vasskis fra Bergugla, 12 X, parallelt lys, gr.f.

Som man ser av bildet kommer den sedimentære struktur meget godt frem. Typisk for vasskisene er denne veksel mellom lyse og mørke partier. De lyse partier er ganske rike på kis. Under mikroskopet viser de seg å bestå av svovelkis, bergart, magnetitt og enkelte ganger litt sinkblende og kobberkis. Ofte kan det forekomme større mengder magnetkis, som muligens er et omvandlingsprodukt av svovelkis. Svovelkis og magnetitt opptrer ofte med god krystallutvikling i vasskisene. De mørke partiene i preparatet består vesentlig av bergart sammen med magnetitt og litt kis. Av bildet ser man at de enkelte kislager og klorittlag ofte kan være meget tynne; her ned mot ca. 1/10 mm. eller deromkring.

En del av vasskisene i Løkkenfeltet er tydelig metamorfoserte, mens en del ser ut til å være av noenlunde primær karakter. Jeg vil derfor under beskrivelsen av vasskisenes mineralogi og petrografi dele dem inn i tre grupper, nemlig:

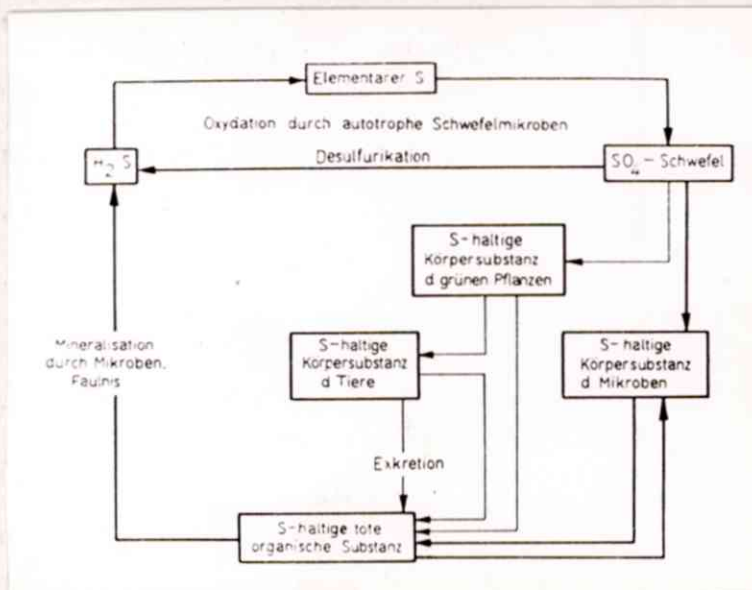
1. Lavmetamorfe eller tilnærmet umetamorfe vasskiser.
2. Metamorfe vasskiser (uten tilførsel av nye stoffer).
3. Metamorfe vasskiser (med tilførsel av nye stoffer).

Til første gruppe hører en del av vasskisene rundt Løkken og andre steder, hvor metamorfosen har vært relativt svak. Til andre gruppe hører blant annet en del av vasskisene vestover fra Løkkenfeltet; således vasskisdraget Lomunddal-Surnadal. Metamorfosen har her vært tydelig sterkere. Til tredje gruppe hører en del vasskiser som under metamorfosen også er blitt tilført stoffer utenfra. Vasskiser av denne type finnes flere steder i hovedgruva, Bakindia, Høidal og andre steder.

Før de enkelte grupper behandles skal jeg beskrive de bergartslag som ofte opptrer sammen med vasskisene, samt komme

inn på dannelsen av disse og av selve vasskisen (sulfidene).

Dr. C.W.Carstens som arbeidet meget med vasskisene og deres dannelse, kom til at de måtte være sedimentære, og at de er dannet submarint under innflytelse av vulkansk virksomhet. Jernsulfidene (altså vasskisen) mener han er dannet ved felling med H_2S -gass. Jernforbindelser og også svovel-vannstoff er vanlige vulkanske produkter. Nyere forskning, blant annet av russerne, er kommet til at mesteparten av den H_2S som trengs til utfelling av tungmetallsulfidene ikke skyldes direkte vulkanismen, men blir dannet ved bakterier. Carstens ser heller ikke bort fra dette. Av nedenstående tegning, som gir en oversikt over det biologiske svovelkretsløp, fremgår de to måter som H_2S kan dannes på. Tegningen er tatt fra en artikkel av W.Schwartz: "Die Bakterien des Schwefelkreislaufes und ihre Lebensbedingungen", i Freiburger Forschungshefte, C 44, april 1958. Den viktigste måten som H_2S dannes på er ved innvirkning av såkalte desulfurerende bakterier på løste sulfater. Løste sulfater finnes det mye av i sjøvann, både kaliumsulfat og magnesiumsulfat. Den andre måten som H_2S dannes på spiller mindre rolle. Her blir H_2S dannet ved spaltning av eggehvite av forråtnelsesbakteriene.



Den H_2S som blir dannet ved disse to nevnte metodene blir så forbrukt av de egentlige svovelbakteriene, som tar opp H_2S som næringsstoff, oksiderer det og avgir svovelsyre.

Denne nøytraliseres så av kalsiumbikarbonat i sjøen og kalsium-

sulfat dannes. Desulfurerende bakterier omdanner så igjen denne til H_2S , og man får således et lukket kretsløp. Dette skjer hvis det ikke finnes andre elementer i sjøvannet som kan forstyrre dette kretsløpet. Finnes det derimot tungmetaller, vil en del H_2S forbrukes til utfelling av tungmetallsulfider, i første rekke jernsulfider. Sjøvannet er fattig på tungmetaller, slik at det vil være forståelig at vasskisene også er det. Innholdet av f.eks. kobber og sink er meget lite i forhold til hva det er hos gangkisene.

En ting som har vært en del omdiskutert er om den magnetkisen som finnes i vasskisene er primær eller om den er omvandlet fra svovelkis. At det siste kan skje er nok temmelig sikkert, men om det første har det vært delte meninger.

W. Schwartz skriver i den tidligere nevnte artikkel at H_2S feller ut jernsulfidene FeS og FeS_2 , uten å komme nærmere ^{på} inn hvordan det skjer, og hvordan de fysikalske og kjemiske forhold er.

C.W. Carstens skriver: "Wenn auch im Gebiet von Leksdaalen die Möglichkeit nicht ganz von der Hand zu weisen ist, dass ein Teil des Magnetkieses aus Pyrit entstanden ist, dürfen, wie später dargetan werden soll, Pyrit und Magnetkies in der Hauptsache als primäre Mineralien unserer Erzlager gelten, die bei der Metamorphose höchstens eine Umkrystallisation erlitten haben".

I den litteratur jeg har studert om dette er det hverken ført bevis for eller motbevist at magnetkis kan dannes primært ved utfelling fra jernholdige oppløsninger.

I juni-juli-nummeret av *Economic Geology* for 1959 er det en artikkel av G. Kullerud og H.S. Yoder hvor det blant annet står: "It is seen that pyrite is unstable at very low vapor pressures and pyrrhotite may be expected to form in some

sediments. Pyrite is common in many sediments, and authigenic pyrrhotite is rare". Av denne artikkelen, som skulle representere noe av det nyeste på dette området, fremgår det at området i Fe-S-diagrammet for de laveste trykk og temperaturer ikke er undersøkt. Av fig. 8 side 559 i nevnte tidskrift ser en at den aktuelle likevektskurve ($\text{Fe}_{1-x}\text{S}-\text{FeS}_2\text{-V}$) er avsluttet ved ca. 250°C . Fortsetter kurven med noenlunde samme forløp med avtagende temperatur, skulle man vente å få dannet magnetkis.

Av de bergartslag som ofte følger vasskisene må i første rekke nevnes klorittlagene. Som det fremgår av navnet består disse vesentlig av kloritt. Dessuten opptrer ofte albitt, muskovitt, titanitt, kvarts og litt kismineraler. Jeg har tatt et foto av et tynnslip (nr. 10) for å vise hvordan klorittlagene ser ut i gjennomfallende lys. Forstørrelsen er 20 ganger. Som man ser er kloritten meget finkornig.



Mikrofoto av vasskis fra Bakindia, 20 X, parallelt lys.

Foruten ertsmineralene opptrer i dette preparatet, som er tatt fra ligg av Bakindia, grønn kloritt i en grunnmasse av kvarts. Det lyse mineralet som opptrer som en bred stripe tvers over preparatet er kalkspatt (som sprekkefylling). Kalk-

spat er et meget vanlig mineral i bergartene i Løkkenfeltet.

Klorittlagene ble av C.W. Carstens oppfattet som grønnstensderivater, hvilket også er meget sannsynlig. Han skriver i "Der unterordovicische Vulkanhorizont in dem Trondhjemgebiet" side 261: "Die zwischen den Kieslagern auftretenden, fast kiesfreien Gesteinslager(Chloritlager) zeigen uns weiterhin mit aller Deutlichkeit, dass die Bildung der Eisensulfide zeitweise unterbrochen wurde. Die Hauptmassen der Gesteinslager sind zweifelsohne als klastische, mechanische Destruktionsprodukte der schon gebildeten Basaltlaven zu deuten".

Ved siden av klorittlagene er jaspis meget ofte knyttet til vasskisene. Dette er en rødfarvet bergart som består vesentlig av SiO_2 . Jeg har fått laget preparat av en jaspis fra høgda øst for Fagerlivannet. Foto av denne vises nedenfor.

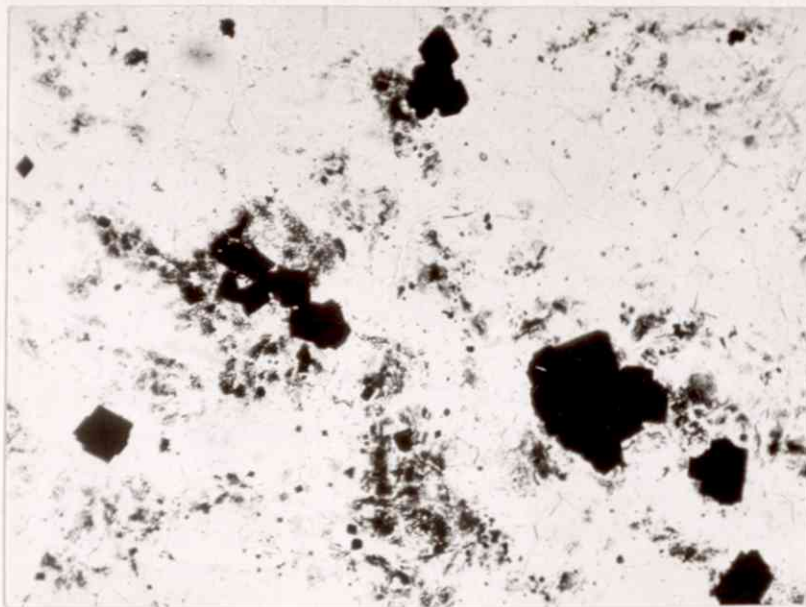


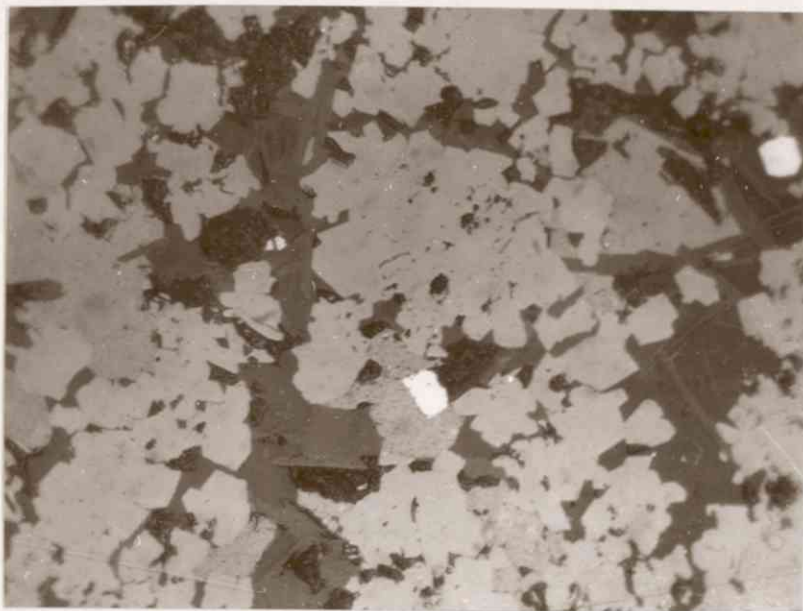
Foto av jaspis fra Løkken, 130 X, parallelt lys.

En av grunnene til at jeg fikk laget tynnslip av denne var for å undersøke om det kunne spores noen primærstrukturer. Det viste seg imidlertid at jaspisen var omkrystallisert og at eventuelle primærstrukturer var utvisket. Av ovenstående bilde, som er i 130 ganger forstørrelse, kan en se grensene mellom de godt utviklete kvartskrystallene. Under mikroskop-

et viser preparatet seg å bestå av kvarts, magnetitt og hæmatitt. På bildet på foregående side er alt det lyse kvarts, de sorte krystallene magnetitt og det mørke uryddige mineral-
et hæmatitt. Som man ser opptrer magnetitten i sorte vel-
utviklete krystaller spredt utover preparatet. Den rødbrune hæmatitten, som gir jaspisen den rødlike farve, er mere fin-
kornig enn magnetitten. Dessuten er den også mye mere fin-
fordelt i preparatet. Strengt tatt ville det nok her være
riktigere å snakke om en omkrystallisert jaspis eller en
kvartsitt, da jaspis ikke skal bestå av krystallinsk kvarts,
men amorf SiO_2 . Jeg vil i denne sammenheng nevne at C.W.Carstens
har funnet jaspis nord for Løkken som hadde radiolariestruk-
tur. Denne er avbildet i "Der unterordovicische Vulkanhori-
zont in dem Trondhjemgebiet". I stedet for jaspis kan det
ofte opptre blåkvarts i tilknytning til vasskisene. Dette er
en kvartsittliknende bergart som er blåfarvet på grunn av
et innhold av magnetitt. Blåkvarts har jeg sett flere steder
i Løkkenfeltet, f.eks. ved Skjøtskift. Det er meget sann-
synlig at blåkvarts og jaspis dannes av kiselsyreholdige
organismer. C.W. Carstens skriver om dette: "In den Ruhe-
pausen zwischen der eruptiven Tätigkeit kamen, wenn wir uns
den Anschauungen von Dewey und Flett anschliessen, Gas-
exhalationen, aus SiO_2 , Na_2O und H_2O bestehend, zur Ent-
wicklung. Die Lebensbedingungen der kieselssäurehaltigen
Organismen wurden dadurch stark begünstigt, es bildeten
sich somit die Jaspislager und Blauquartzlager, vielleicht
als ein Produkt gemischter chemischer und organogener Vor-
gänge".

En annen bergart som meget ofte følger vasskisene er
det såkalte svartfjellet, som har fått dette navnet på
grunn av den sorte farven. Denne bergarten, som er nærmest

flintaktig å se til i brudd, består vesentlig av magnetitt og den jernrike kloritten stilpnomelan. Dessuten opptrer ofte noe muskovitt, kvarts, kalkspat, albitt og litt kis. Jeg har tatt et mikrofoto, som vises nedenfor, av denne bergarten. Bildet er tatt av polerpreparat nr. 9, og forstørrelsen er 540 ganger.



Mikrofoto av svartfjell fra Bergugla, Løkken, 540 X, parallelt lys, grønnfilter.

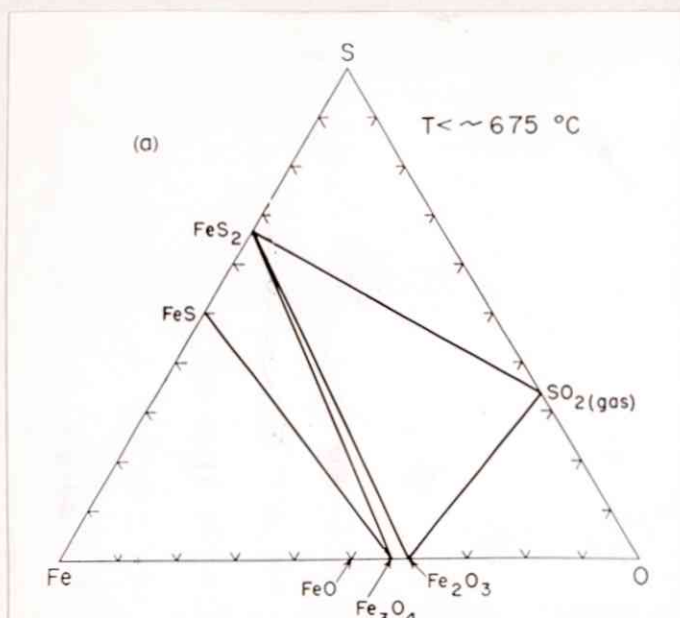
Alt det som er lysegrått på bildet er magnetitt. Som man kan se er bergarten meget finkornig. Mesteparten av magnetittkrystallene, som har god krystallutvikling, ligger i området 2-10 μ . De to hvite flekkene på bildet er to svovelkiskrystaller. Disse er ca. 8-10 μ i tverrmål. Alt mørkegrått og sort på bildet er bergart.

Dr. C.W. Carstens mener at magnetitten i svartfjelllagene er et metamorft mineral. Om dette skriver han:

"Im Gegensatz zu den Kiesmineralien unserer Kieslager ist der Magnetit unserer Schwarzfelslager aller Wahrscheinlichkeit nach ein neues metamorphes Mineral, und der mit dem Magnetit vorkommende Stilpnomelan scheint mit ihm gleichzeitig gebildet zu sein." Det kan se ut som svartfjellet er

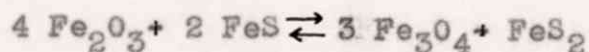
en omvandlet sjømalmttype, idet en totalanalyse av svartfjell viser tilnærmet samme sammensetning som en del sjømalmer. Meget interessant er det at man et sted i Frankrike, i nærheten av den kjente Anjou-forekomsten, finner et kloritteholdig magnetittlag som er metamorfosert, og som gradvis går over til et umetamorfosert jernmalmlag av Lothringen-Normandie-typen. Dette skulle sterkt tyde på at svartfjellet er dannet ved metamorfose av en en jernmalm som er avsatt i havet.

I vasskisene, både i selve kislagene, klorittlagene og svartfjellagene, opptrer som nevnt både oksyder og sulfider av jern. Disse er sammensatt av tre komponenter; nemlig Fe, O og S. Trekantdiagrammet for disse er fremstilt på tegn-



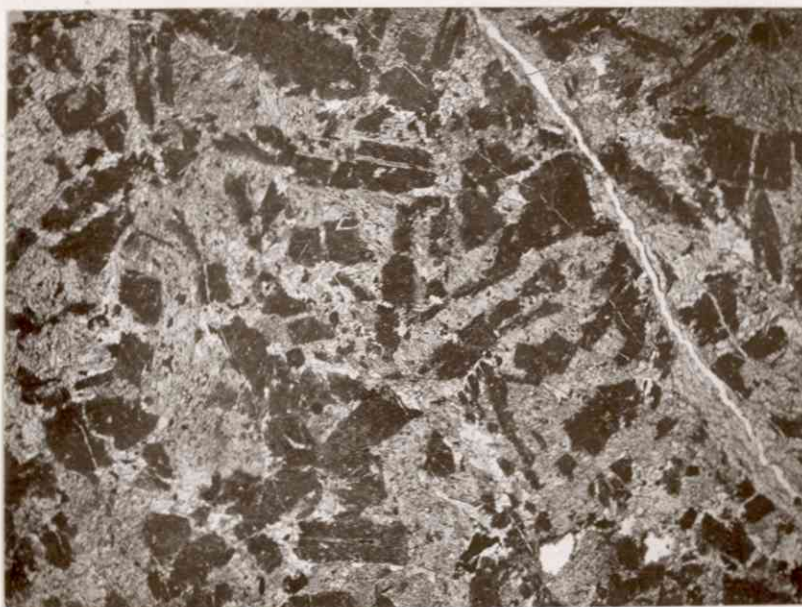
ingen til venstre. Av de mineraler som her kommer på tale, Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeS_2 og Fe_{1-x}S , kan bare tre i følge faseregelen opptre stabile ved siden av hverandre. Som man ser av diagrammet kan paragenesen svovelkis, mag-

netkis og magnetitt opptre sammen. Dette er også en vanlig malmmineralsammensetning hos vasskisene. Fe_2O_3 har jeg ikke funnet i vasskisene eller i bergartslagene sammen med disse. Grunnen til dette er nok at hematitt er ustabil ved de relativt lave trykk og temperaturer som har rådd under metamorfosen. Ved vanlig temperatur er molekylarvolumet på høyre side av nedenstående likning mindre enn på venstre, slik at likevekten vil forskyves til fordel for mineralene magnetitt og svovelkis på høyre side.



Det er også sannsynlig at dette gjelder ved høyere temperatur. Reaksjonen vil da løpe til høyre med stigende trykk. I følge Carstens er det også grunn til å anta at en temperaturstigning ved høyt trykk vil forskyve likevekten mot venstre.

Før jeg går over til å beskrive de forskjellige vasskis-typer i Løkkenfeltet, skal jeg ganske kort omtale et par grønnstenstyper som opptrer flere steder i Løkkenfeltet, således også ofte i kontakt med vasskisene. Den ene av disse er en massiv grønnsten med typisk ofitisk struktur. Av nedenstående mikrobilde av en slik grønnsten, fremgår denne struktur tydelig. Forstørrelsen er 20 ganger.

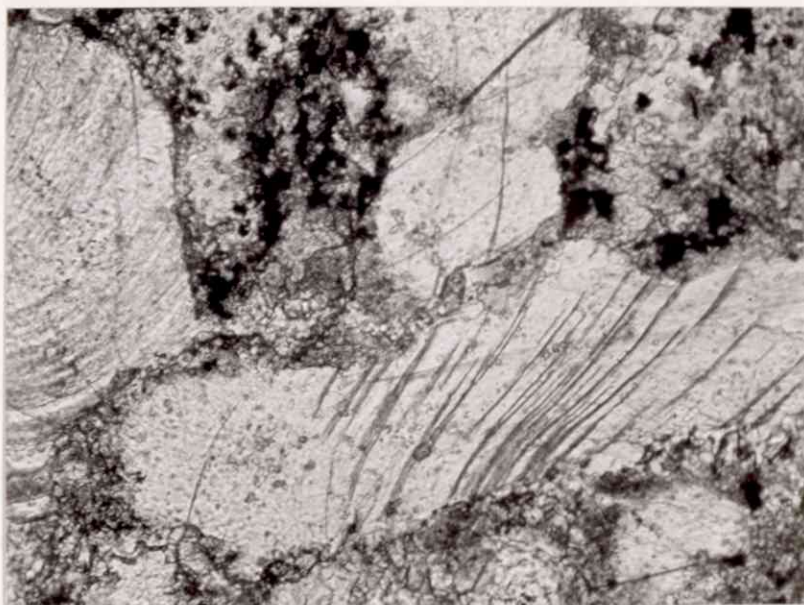


Mikrofoto av grønnsten med ofitisk struktur fra Skjøtskift, 20 X, parallelt lys.

Mikrobildet ovenfor er tatt fra en prøve av en grønnstensbenk som opptrådte mellom to vasskislag. Mesteparten av det mørke på bildet er feltspat som er omvandlet (zoisitisert). En liten del av det mørke er titanitt. Dessuten opptrer hornblende, epidot (klinozoisit med lav dobbeltbrytning), frisk plagioklas med tvillingdannelse (2V-stor og negativ), litt kvarts, og endelig en del kalkspat på et par sprekker.

Den andre grønnstenstype som jeg vil nevne ganske kort er den før omtalte putegrønnsten. I hovedgruva, i tverrslag 26 V, nivå 430, har jeg slått ut en liten grønnstenspute som jeg har fått laget slip av. Puten er så liten at hele puten er blitt med i tynnslipet. Grunnen til at jeg har fått slipt denne, er blant annet for å se om det kan finnes noen primærstruktur inne i puten.

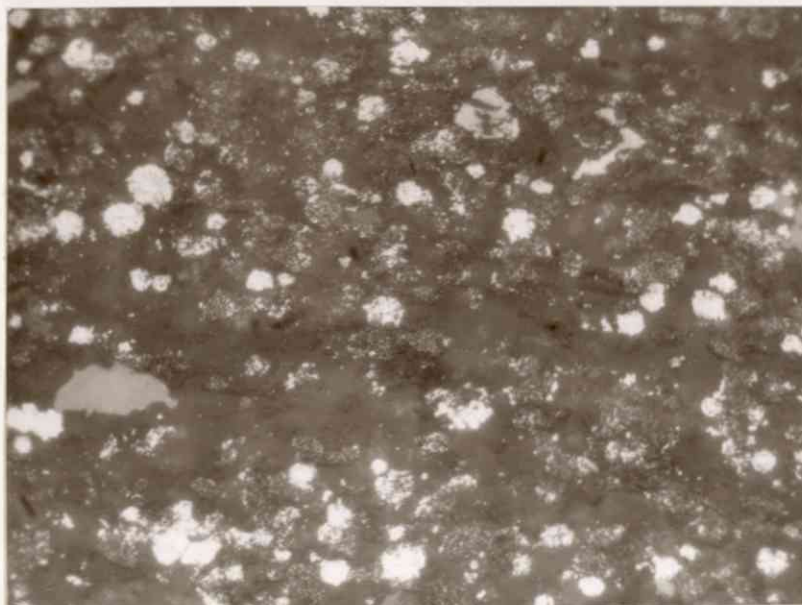
Under mikroskopet kan en tydelig se ofitisk struktur(kryssvise lister av feltspat) inne i puten. I preparatet opptrer ellers kloritt, kalkspat, titanitt, kvarts, plagioklas og zoisitt. Titanitten, som har 2 V tilnærmet lik null og optisk positiv karakter, opptrer vesentlig i randsonen av puten. Kalkspat opptrer det mye av i putegrønnstenen. Jeg tar med et mikrobilde av ovennevnte preparat(tynnslip nr. 7) fra et parti rikt på kalkspat, for å vise hvordan den ser ut i tynnslip. Foruten kalkspat, som har tydelig tvillingdannelse, ser man på bildet kloritt, zoisitt, kvarts og titanitt. Forstørrelsen er 130 ganger.



Mikrofoto av kalkspat i grønnstenspute fra tv. 26 V, nivå 430, 130 X, parallelt lys.

1. Lavmetamorfe eller tilnærmet umetamorfe vasskiser.

De fleste vasskiser man finner i Løkkenfeltet viser seg som oftest å være mere eller mindre metamorfoserte. Som regel viser dette seg ved at det har funnet sted en omkrystallisasjon av kismineralet. Metamorfose kan også ha foregått ved tilførsel av nye elementer, slik at nye mineraler kan være blitt dannet. Mange eksempler på dette har man ved vasskisene i nærheten av gangkisene. Det er her meget sannsynlig at de nye elementene, vesentlig tungmetaller, er blitt tilført fra gangkisoppløsningene samtidig som gangkisene ble dannet. Av de prøver jeg har av vasskiser er det en som jeg tror representerer en temmelig umetamorf vasskis. Foto av denne i 540 ganger forstørrelse vises nedenfor. Bildet er tatt av polerpreparat nr. 5.



Mikrofoto av lavmetamorf vasskis fra Løkken, 540 X, parallelt lys.

Både makroskopisk og mikroskopisk viser preparatet tydelig lagdeling. Dette fremgår ikke så godt av ovenstående bilde, da forstørrelsen er så sterk. Til en viss grad kan en imidlertid se en lagdeling parallelt lengste sidekantem.

Som det fremgår av bildet er denne vasskisen meget finkornig. Svovelkiskornene, som ikke har noen krystallutvikling, har en diameter som for det meste ligger i området 0,002-0,008 mm. Denne avrundete formen på svovelkiskornene, samtidig som de er meget små, tar jeg som et tegn på at denne vasskisen er meget lite omvandlet. Enkelte spredte steder i preparatet finnes magnetittkorn. Mengden av magnetitt er imidlertid ikke så stor at preparatet påvirkes av alnicomagneteten. Det grå partiet på venstre side av bildet er magnetitt. Muligens er dette et metamorft mineral.

På enkelte soner parallelt skifriheten opptrer magnetkisrike partier. I disse finnes også svovelkis, og da med store og godt utviklete krystaller. Dette må, etter min mening, temmelig opplagt skyldes en metamorf utvikling.

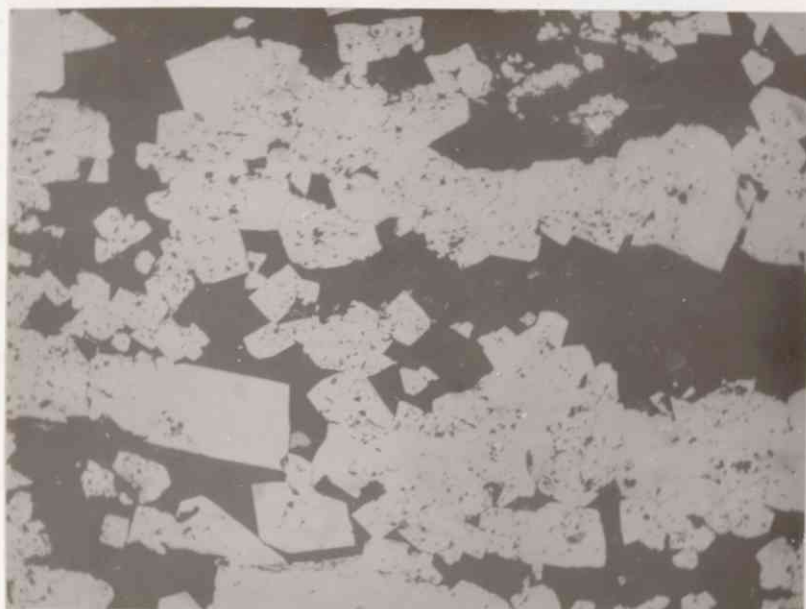
For å få bestemt bergartsmineralene i preparatet er det også blitt laget tynnslip(nr. 4). Det er her, som ved de fleste andre tynnslip jeg har, meget vanskelig å få fastslått mineralenes optiske data, da preparatene er såvidt finkornige. Bergartsmineralene viser seg i dette preparatet vesentlig å bestå av kloritt og kvarts, sammen med litt serisitt og muligens litt epidot(interferensfarger av 2.orden).

Bortsett fra de magnetkisrike partiene i preparatet, må denne vasskisen betraktes som bortimot umetamorf. Disse er som sagt meget sjeldne å finne i Løkkenfeltet. En langt større gruppe danner de metamorfe vasskisene, og da i første rekke de vasskisene som har gjennomgått en omkrystallisering uten noen tilførsel av fremmede elementer.

2. Metamorfe vasskiser (uten tilførsel av nye stoffer).

Denne gruppen er som før nevnt stor, og representeres av en rekke vasskiser i og utenfor Løkkenfeltet.

En typisk representant for denne gruppe er den omkrystalliserte vasskisen i Lomunddalen(Rindalen). Nedenfor vises et mikrofoto i 145 ganger forstørrelse av denne vasskis-typen. Prøven er tatt fra det tidligere nevnte vasskisdraget Lomunddal-Surnadal. Bildet er av polerpreparat nr. 7.



Mikrofoto av omkrystallisert vasskis fra Lomunddalen, 145 X, parallelt lys, grønnfilter.

Makroskopisk kan man ikke her lenger så lett se den sedimentære strukturen, men under mikroskopet kan man, som det også fremgår av ovenstående bilde, tydelig se en viss lagdeling. Soner med godt utviklete svovelkiskrystaller veksler med mørkere soner rikere på bergartsmineraler. Svovelkiskrystallene i preparatet har en kornstørrelse som for det meste ligger i området 0,01-0,05 mm. Kornstørrelsen er her altså atskillig større enn vanlig hos vasskisene. Dette skyldes at svovelkisen er blitt omkrystallisert under metamorfosen. Ved siden av svovelkis opptrer enkelte, ofte godt

utviklete, magnetkiskrystaller. Pleokroismen hos disse sees meget tydelig med kryssede nicols. Andre sulfidmineraler enn svovelkis og magnetkis kan ikke finnes. Ved siden av disse opptrer også her en del magnetitt. Denne ligger i små isolerte kolonier i preparatet. Magnetitten har her vært lett å forveksle med sinkblende på grunn av den ofte litt brunlige farge i Dunkelfeld. I siste omgang er det blitt hårdheten som har vært bestemmende.

Som allerede nevnt er de godt utviklete svovelkiskrystallene blitt nydannet under metamorfosen; det vil si de er porfyroblaster. Disse porfyroblastene er som en lett kan se i mikroskopet spekket med inneslutninger. Jeg har studert disse porfyroblastene litt næyere ved stor forstørrelse, og også tatt et mikrofoto av en slik porfyroblast. Bildet, som er tatt av polerpreparat nr. 7 og er i 750 ganger forstørrelse, vises nedenfor.



Mikrofoto av svovelkisporfyroblast fra vasskislage i Lomundalen, 750 X, parallelt lys.

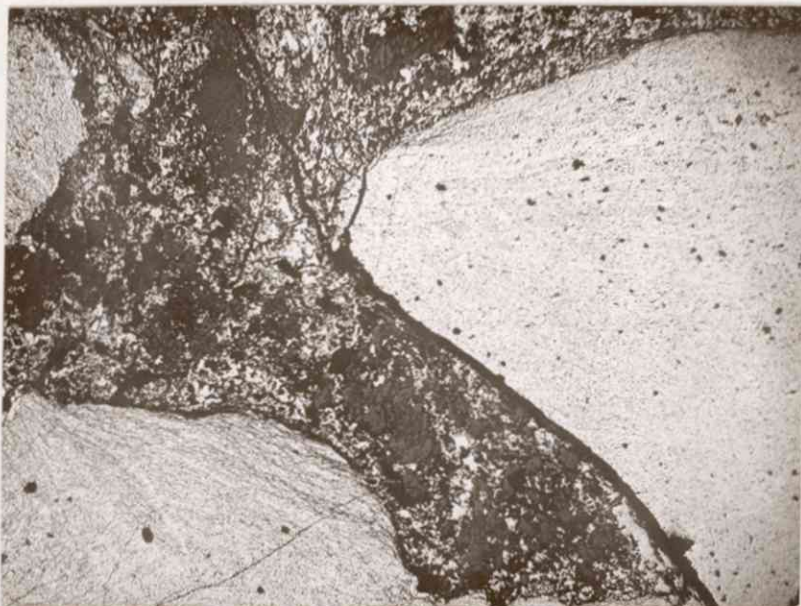
Inneslutningene i porfyroblastene viser seg i mikroskopet å bestå av mesteparten bergart ved siden av litt magnetkis.

På bildet på foregående side er de to flekkene øverst til venstre på porfyroblasten magnetkis. Hvordan man skal forklare disse inneslutningene av magnetkis er ikke så godt å si. En forklaring kan være at alt eller en del av kismineralet før metamorfosen var magnetkis. Dermed er det ikke sagt at magnetkis behøver å være det primære kismineralet. Vasskisen kan jo ha undergått flere metamorfoser. Men etter det jeg har nevnt tidligere om forholdet svovelkis-magnetkis, kan det jo tenkes at magnetkis dannes primært, og at disse inneslutningene representerer det primære sulfidmineralet. En annen forklaring kan jo også være at magnetkisinneslutningene er dannet samtidig med, eller etter, at porfyroblasten ble dannet, selv om dette er mindre sannsynlig. Man kan her tenke seg at en feil(et hull) i krystallen kan ha vært grunnen til at en omvandling har begynt. Jeg må innrømme at dette er svært lite sannsynlig, da det finnes mange hull i krystallen uten at det finnes noe magnetkis. Så den første forklaringen synes mest sannsynlig.

Da jeg ikke har tymslip av samme prøve, har jeg ikke fått bestemme bergartsmineralene som inngår i svovelkisporfyroblastene. I polerpreparatet ser det ut som at det vesentlig er et klorittmineral.

Jeg har også fått laget preparat av en annen vasskis fra Lomunddalen. Da denne har en noe eiendommelig struktur, tar jeg med et mikrofoto av den som vises på neste side. Bildet, som er tatt av polerpreparat nr. 8, er i 12 ganger forstørrelse. Prøven er tatt fra samme vasskislager som den tidligere nevnte med porfyroblastene. Det som er typisk for denne vasskisen er at den har en tydelig breksjestructur. Bruddstykker av finkornig, tilsynelatende uomvandlet vasskis, ligger i en grunnmasse av magnetkis og bergart. Vasskis-

bruddstykkene består av finkornig og ganske godt krystall-
utviklet svovelkis, sammen med bergart og litt magnetkis.
Helt underordnet opptrer magnetitt.



Mikrofoto av vasskis fra Lomunddalen, 12 X, parallelt lys,
grønnfilter.

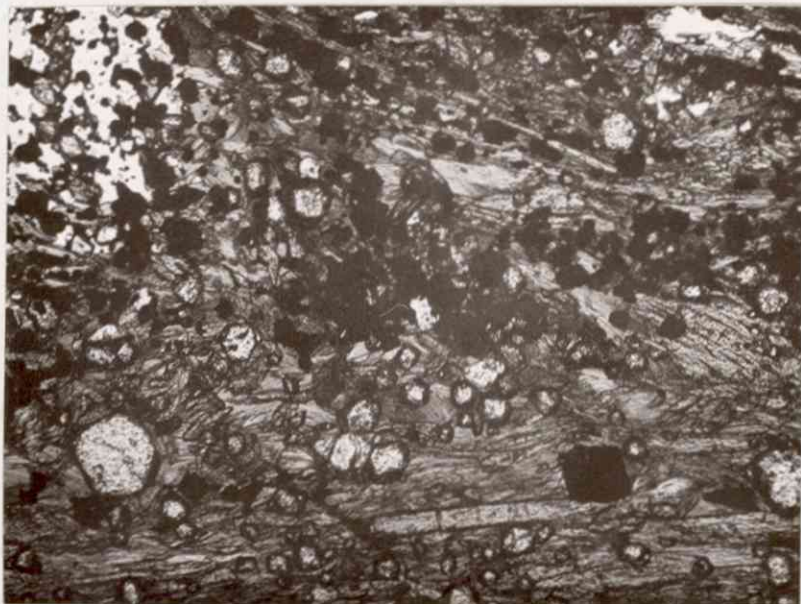
Grunnmassen mellom bruddstykkene består overveiende av
magnetkis og bergart. Ved siden av disse mineralene opptrer
litt svovelkis med god krystallutvikling samt litt magnetitt.

Hvordan man skal forklare denne breksjestructuren er ikke
så godt å si. De finkornige svovelkisbruddstykkene er nok
mest sannsynlig relikter av en tidligere, temmelig uomvand-
let, vasskis. Det ser ut som at det har vært temmelig store
trykk under metamorfosen i feltet her, da bergartene er svært
sterkt presset. Da vasskisene er temmelig sprøe, kan dette
forklare denne bruddstykkestrukturen. All vasskisen er altså
ikke her blitt metamorfosert.

Mellommassen mellom de finkornige relikter, som består
mesteparten av magnetkis, er nok temmelig sikkert nydannet
under metamorfosen.

Det er tydelig å se at metamorfosen har vært sterkere i
de vestlige deler av Løkkenfeltet, enn i områdene rundt

Løkken. Dette kan en se både på kismineralene som er blitt omkrystallisert, og på bergartsmineralene som er utviklet i en høyere facies. Rundt Løkken har bergartene et mineralselskap som er typisk for grønnskiferfacies, mens man i vest, således også i Lomunddalen, er oppe i epidot-amfibolitt-facies. Rundt Løkken er f.eks. kloritt et typisk mineral, mens dette er sjelden i de vestlige deler av feltet. Jeg har fått laget et par tynnslip av vasskis fra Lomunddalen, for å få bestemt bergartsmineralene. Nedenfor vises foto i 75 ganger forstørrelse av det ene av disse (tynnslip nr. 13).



Mikrofoto av vasskis fra Lomunddalen, 75 X, parallelt lys.

Man ser her med en gang at bergarten er utviklet i en annen facies enn de rundt Løkken. Preparatet viser også her en tydelig lagdelt struktur, med veksel mellom striper med godt utviklete svovelkiskrystaller og bergartsstriper. Foruten ertsmineralene finnes i dette preparatet følgende mineraler: Pleokroitisk hornblende (α =gulhvit, β =grønn, γ =blågrønn), granat (i godt utviklete krystaller), biotitt, kvarts (tildels sterkt undulerende) og epidot ($r \gg v$).

Bergartsmineralene er her som en ser typiske for epidot-

amfibolitt-facies. Kloritten er her blitt borte. På bildet på forrige side er de sorte flekkene ertsmineraler, de lyse krystallene granat, de stenglige mineraler parallelt lengste sidekanten på bildet er biotitt og hornblende, og det hvite, blant annet øverst til venstre på bildet, er kvarts.

Det andre tynnslipet fra Lomunddalkisen (tynnslip nr. 14) viser et mineralselskap som, foruten ertsmineralene, vesentlig består av kalkspat og undulerende kvarts, ved siden av litt muskovitt. Den undulerende kvartsen i disse preparatene fra Lomunddalen er også et tegn på at bergartene har vært utsatt for trykk.

I området ved Hoslynga, ca. 6-7 km. fra Løkken i vestlig retning, har jeg tatt prøve av en vasskis, som jeg også har fått laget polerpreparat av. Prøven er tatt ved utgående av et vasskislav som har en felsittaktig bergart både i heng og ligg. Preparatet, som jeg også har tatt mikrofoto av i 70 ganger forstørrelse, viser tydelig lagdeling.



Mikrofoto av vasskis fra Hoslynga, 70 ganger, parallelt lys.

Det overveiende sulfidmineralet i dette preparatet er magnetkis som flere steder holder på å gå over til markasitt. Dette gir seg lett til kjenne under mikroskopet ved

at magnetkiskornene flere steder har fått en sonarstruktur. Dette sees best ved stor forstørrelse. Enkelte steder har omvandlingen gått så langt at man har fått hele individer av markasitt. Markasitt er rombisk, og den anisotrope karakter gir seg tydelig til kjenne. Farven skifter fra svakt brunlig til nærmest lysegrønt ved dreining med kryssede nicols. Ved siden av magnetkis og markasitt opptrer litt svovelkis. Denne har god krystallutvikling og ligger som regel innleiret i magnetkis.

I preparatet finnes også limonitt, som er et sekundært mineral. Den kan tydelig sees i mikroskopet. Farven er grå omtrent som hos sinkblende, muligens noe lysere.

Markasitt og limonitt er vanlige mineraler ved utgående av kisforekomster, da begge er typiske lavtemperaturdannelser. Limonitt dannes ved oksydasjon av jernsulfidene, når de reagerer med overflatevann og surstoff i lufta.

Enkelte spredte korn magnetitt finnes også i preparatet.

Vasskiser som er blitt omkrystallisert under metamorfosen uten å være tilført fremmede elementer finnes på mange andre steder i og utenfor Løkkenfeltet også. Blant annet må de kjente forekomstene Jordhus og Skjotskift regnes med til denne gruppe. Kismineralene er også her til en viss grad omkrystallisert. Jeg har fått laget tynnslip av en vasskis fra Jordhus for å få bestemt bergartsmineralene. Tynnslipet, nr. 12, viser ingen lagdeling. Foruten ertsmineralene opptrer noe undulerende kvarts, kloritt som rundt ertskornene flere steder er brunfarvet av jernoksyd, og en del kalkspat. Kloritten i preparatet ligger helt uorientert. Et brunt mineral i preparatet ser ut til å være limonitt.

Jeg vil tilslutt ta med en vasskis fra et ganske annet sted i denne gruppen, nemlig fra Børsa. Med hensyn til

metamorfose, kan denne sammenlignes med Lomunddalskisen. Kismineralene er her magnetkis og svovelkis. Ved siden av disse opptrer en god del magnetitt.

Jeg har fått laget tynnslip av en vasskis fra Børsa. Dette har jeg vært så uheldig å knuse, men jeg har i stedet fått tatt et mikrofoto i 20 ganger forstørrelse som vises nedenfor.



Mikrofoto av vasskis fra Børsa, 20 X, parallelt lys.

Som det fremgår av ovenstående bilde kan en tydelig se en viss skifrichet i vasskisen. Det er lett å se at bergarten har vært utsatt for trykkvirkninger. For dette taler blant annet også den undulerende kvartsen.

Foruten ertsmineralene finnes i dette preparatet vesentlig hornblende, biotitt og undulerende kvarts.

Det kunne nevnes en hel rekke flere eksempler på denne type vasskiser, da disse som nevnt er de mest vanlige. Jeg skal imidlertid ikke gå nærmere inn på flere her, men bare nevne at disse kan finnes nesten overalt i grønnstensbergartene, ikke bare i Trondheimsfeltet.

3. Metamorfe vasskiser (med tilførsel av nye stoffer).

Denne vasskistypen finnes det også en god del av i Løkkenfeltet, selv om den ikke er så utbredt som vasskisene i forrige gruppe. Det som særmerker vasskisene i denne gruppe er at de inneholder en del tungmetallsulfider, som man sjelden eller aldri finner hos de andre vasskisene. Da alle disse vasskisene finnes i vasskisdraget Høidal-Løkken, hvor også gangkisene ligger, er det meget nærliggende å tenke seg at tungmetallene stammer fra gangkisoppløsningene. Når man i tillegg nettop finner slike tungmetaller som er typiske for gangkisene, skulle man være temmelig sikker på at dette er tilfelle. Tungmetallene det dreier seg om er i første rekke kobber og sink.

Innholdet av disse tungmetallene kan være sterkt variabelt. Under mikroskopet kan man se vasskiser som inneholder bare ubetydelig kobber og sink, til vasskiser som inneholder omtrent samme mengde kobberkis og sinkblende som gangkisene. I hovedgruva på Løkken finnes en vasskistype, eller rettere sagt kistype, i kontakt med gangkisen i liggen, som har en båndet struktur, og som har nærmest gangkissammensetning. I denne kisen opptrer en rekke, temmelig tynne, jaspisstriper. Denne kistypen blir på Løkken kalt "foredlet" vasskis. C.W. Carstens skriver om denne kisen at det er vasskis som er gjennom satt på kryss og tvers av gangkis. Å bruke ordet "gjennom satt" er etter min mening feil. Kisen består av temmelig homogene bånd, og ikke på noen måte gjennom satt av gangkis. Jeg har ikke kunnet se at noen annen kistype har krysset de forskjellige lag. Så etter min mening er dette heller et metasomatisk fenomen, i likhet med den såkalte putekisen hvor grønnstensputene er erstattet av kis

ved replacement.

Jeg har tatt prøver, og fått laget preparater, av en del vasskiser i denne gruppen også. Polerpreparat nr. 10, som er fotografert med 70 ganger forstørrelse, vises nedenfor.



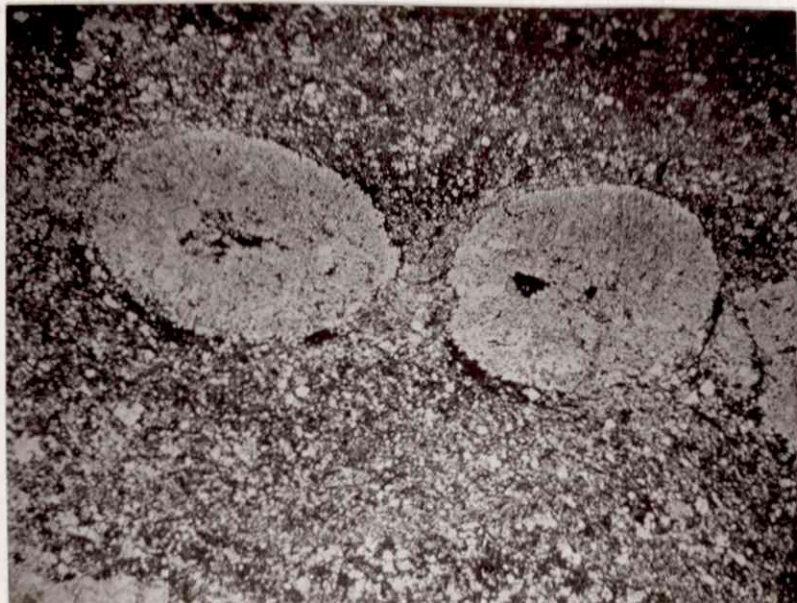
Mikrofoto av vasskis fra ligg av Bakindia, 70 X, parallelt lys, grønnfilter.

Preparatet er tatt fra ligg av Bakindia. Det er her tydelig å se at vasskisen har vært utsatt for tektoniske forstyrrelser. På kryss og tvers i preparatet finnes sprekker. Ovenstående bilde er tatt fra en slik sprekke. Langs sprekken ligger en god del kobberkis, så jeg trodde her først at kobberholdige oppløsninger hadde trengt frem og dannet kobberkis på sprekken, men dette er åpenbart ikke tilfelle. Som det også fremgår av bildet ser man at sprekkdannelsen er yngre enn kobberkisen. Sprekken går nemlig flere steder tversgjennom kobberkisen. Grunnen til at vasskisen har sprukket opp akkurat her kan nok være at kobberkisen er svakere enn det omgivende.

Mineralselskapet i dette preparatet er svovelkis, bergart, magnetitt og kobberkis. Sinkblende er ikke funnet. På ovenstående bilde er alt det hvite, med temmelig god krystall-

utvikling, svovelkis, det litt mørkere mineralet som ligger langs nesten hele sprekken er kobberkis, det lyse grå mineralet med god krystallutvikling er magnetitt, og det som er mørkere er bergart.

Som nevnt er det overveiende sannsynlig at de fremmede tungmetallene stammer fra gangkisoppløsninger. Dette har man nærmest bevis på i neste preparat som er avbildet nedenfor. Forstørrelsen er 12 ganger.



Mikrofoto av vasskis med kuler av gangkis, 12 X, parallelt lys, grønnfilter.

Dette preparatet har en noe eiendommelig struktur. Runde kuler av kis ligger på rad og rekke inne i en vasskis. Disse konkresjonene av kis viser seg under mikroskopet å ha en sammensetning omlag som den vanlige gangkisen, nemlig svovelkis, kobberkis, sinkblende, magnetitt og bergart. Innholdet av magnetitt er noe større enn vanlig i gangkisene.

Vasskisen som disse gangkiskulene ligger i består av svovelkis, magnetitt, bergart og litt kobberkis. Sinkblende har jeg ikke funnet der.

Det er ikke så godt å vite hvordan disse gangkiskulene er dannet. En forklaring er at større dråper av gangkisoppløsning

^{har}størknet og gitt denne avrundede formen.

En annen representant for denne gruppe vasskis har man i polerpreparat nr. 9. Preparatet, som stammer fra Bergugla, viser også tydelig sedimentær struktur, og er altså ikke så svært sterkt metamorfosert. Men en omkrystallisering har øyensynlig funnet sted. De mørke partiene i preparatet består av bergart, magnetitt, svovelkis og kobberkis. De lysere partiene er rikere på kis. De består av svovelkis, bergart, magnetitt, kobberkis og litt sinkblende. Både svovelkisen og magnetitten har som vanlig god krystallutvikling.

I mikroskopet er det lett å se hvordan kobberoppløsningene fortrinnsvis har trengt frem langs skifriheten i vasskisen. Kobberkisen ligger nemlig i soner parallelt lagdelingen.

Polerpreparat nr. 4 er også av en vasskis som må regnes til denne gruppe. Men denne vasskisen er mye fattigere på typiske gangkiselementer. Kobberkis er ikke funnet, men derimot sinkblende og selvfølgelig svovelkis. På enkelte soner er svovelkisen mere grovkornig enn andre steder. Dette skyldes sikkert omkrystallisering, da forskjellen er temmelig markert. Dessuten har den finkornige svovelkisen også dårligere krystallutvikling enn den som jeg tror er omkrystallisert.

Jeg har også fått laget tynnslip av denne vasskisen (nr. 3). Bergartsmineralene er vesentlig kloritt, kvarts og kalkspat. Et brunt mineral er antakelig et jernoksyd.

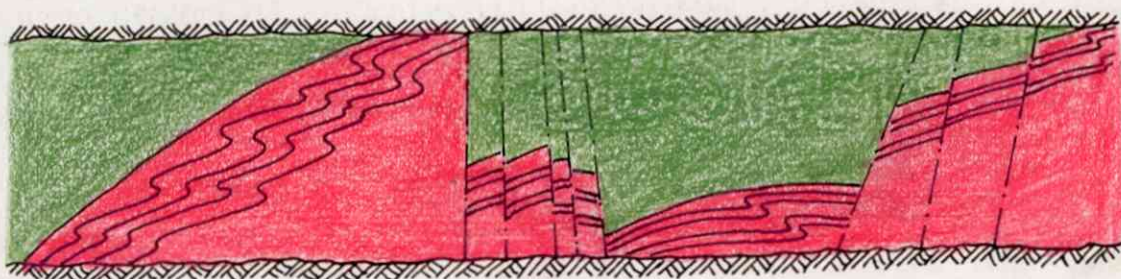
Samme mineralselskap viser også tynnslip nr. 5, som stammer fra gruva.

I tynnslip nr. 9, som stammer fra et vasskislav i Bergugla, finner jeg foruten ertsmineralene og kloritt, kalkspat og kvarts, litt epidot og et jernoksyd spredt som "støv" ut-

over preparatet. Antakelig er dette limonitt.

Bergartspreparatene fra disse vasskisene viser at metamorfosen ikke har vært særlig høy.

Av vasskisene i denne gruppe, som altså inneholder litt tungmetaller, er ingen blitt gjenstand for drift, unntatt den foredlede vasskisen i gruva. Denne har jo omtrent samme tungmetallinnhold og svovelinnhold som gangkisen, og i tillegg opptrer den i direkte kontakt med gangkisen, slik at brytningsomkostningene vil bli relativt lave. Den foredlede vasskisen kan blant annet studeres i tverrslag 26 V, nivå 430. Vasskisen og gangkisen opptrer her med en rekke øst-vest-gående forkastninger. Dessuten viser vasskisen en utpreget foldestruktur. Nedenfor har jeg laget en tegning over dette området i målestokk ca. 1:100.



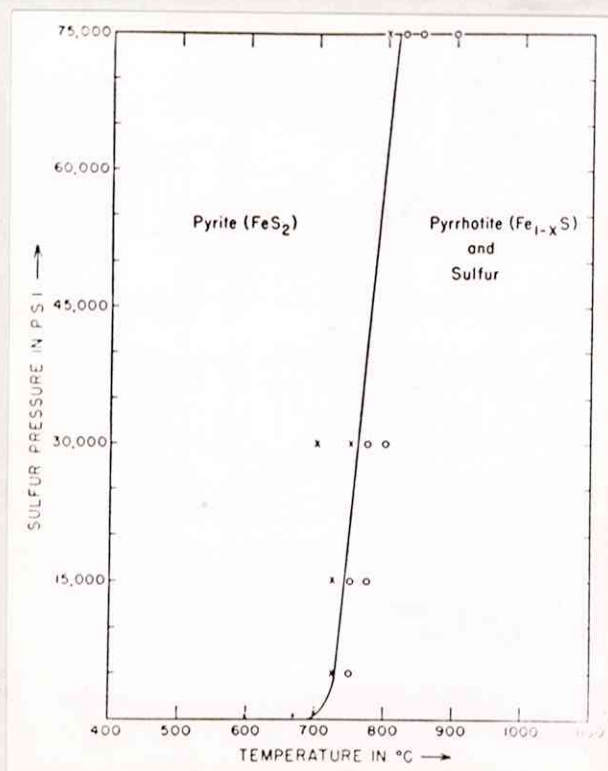
Nord

Syd

Forkastninger i kis i tverrslag 26 vest, nivå 430. Kisen nærmest hengen er en foredlet vasskis som tydelig er foldet. Grønnstenen i hengen er farvelagt med grønt og kisen med rødt. Jeg har her brukt samme farve på gangkis og foredlet vasskis, da disse er så like kjemisk sett.

Røntgenundersøkelser av magnetkiser i og utenfor Løkkenfeltet.

De mest vanlige jernsulfidene som opptrer i naturen er svovelkis og magnetkis. Svovelkis med kjemisk formel FeS_2 og magnetkis med varierende formel fra Fe_5S_6 til FeS . Svært ofte opptrer disse to jernsulfidene sammen, således i flere av våre kisforekomster. I vasskisene, både i Løkkenfeltet og andre steder, er disse mineralene helt vanlige å finne sammen. Nedenfor har jeg tatt med en figur som viser den



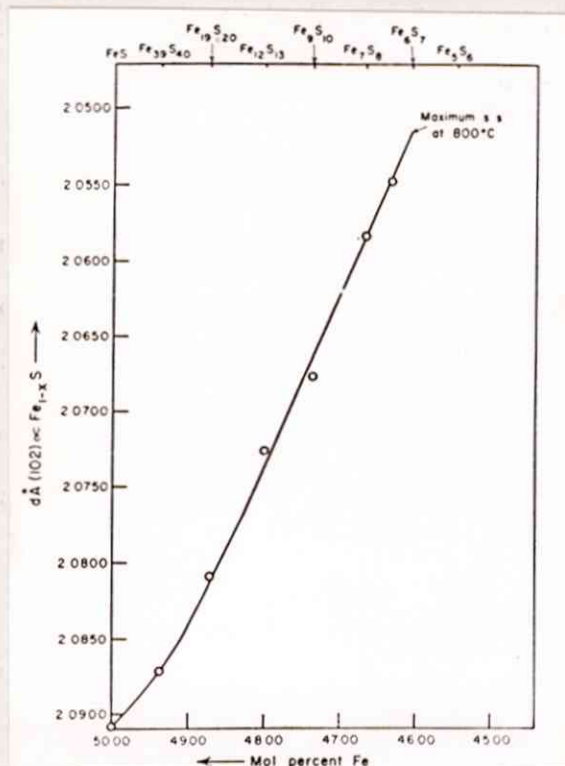
øvre stabilitetsgrensen for svovelkis. På venstre side av kurven er svovelkis stabil. På høyre side magnetkis og svovel.

Den nedre stabilitetsgrensen for svovelkis er enda dårlig kjent. Eksperimenter tyder på at den rombiske modifikasjon av FeS_2 , markasitt, er stabil noe under 350°C .

Laboratorieforsøk viser at sammensetningen av magnetkis, i likevekt med svovelkis, varierer med temperaturen. Oppvarmes magnetkis ved 800°C sammen med fri svovel, vil magnetkisens sammensetning bli tilnærmet Fe_6S_7 . Ved lavere temperaturer vil magnetkisen ikke kunne oppta så mye svovel i forhold til jern, slik at sammensetningen blir en mere svovelfattig magnetkis.

Nå viser det seg også at magnetkisens gitterdimensjoner er en funksjon av sammensetningen, slik at dette gir en muligheter til å undersøke magnetkisene ved hjelp av røntgen-

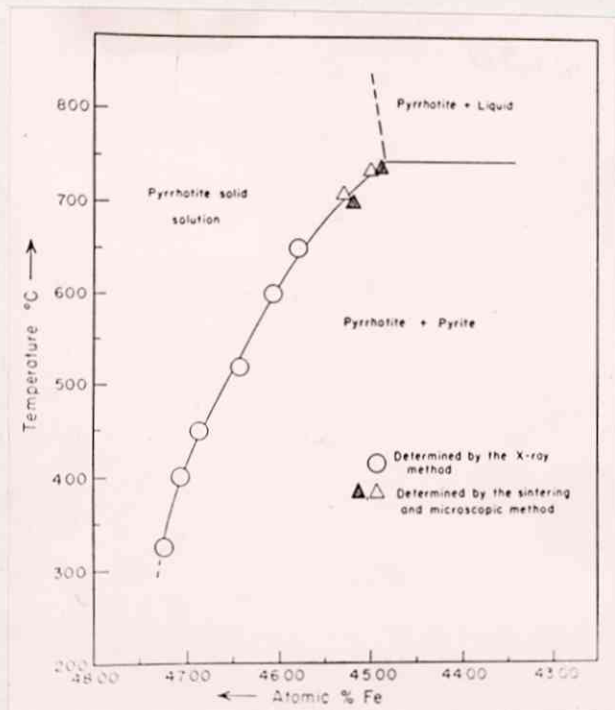
analyser. I nedenstående figur er oppsatt magnetkisens



sammensetning som funksjon av d-verdien for (102) flaten. Som man ser trenger man altså ikke å regne ut gitterkonstanten. Grunnen til at det er (102) flaten som er lagt til grunn, er nok at det er denne som gir sterkeste linjen på filmen. Ved å måle ut denne d-verdien kan man altså direkte fra ovenstående kurve, på øverste skala, lese

seg til magnetkisens sammensetning, og på nederste skala kan man lese av jerninnholdet i mol-%.

Vil man videre kjenne den temperatur magnetkisen er dannet ved, kan man bruke nedenstående kurve. Her er dannelses-



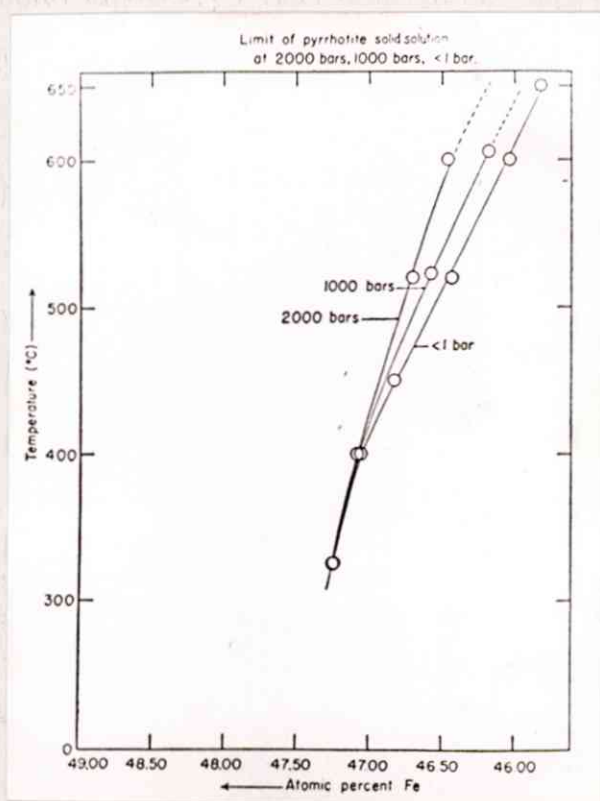
temperaturen oppsatt som funksjon av mol-% Fe, som ble lest ut av diagrammet øverst på siden.

Grunnen til at jeg tar med disse undersøkelsene er at jeg mener det kan ha en viss betydning å få bestemt dannelsestemperaturen for magnetkisen i vasskisene, da dette blant

annet til en viss grad kan brukes som indikator for metamorfosen i feltet. Interessant vil det være å se hvordan disse undersøkelsene stemmer overens med de mineralogiske og petro-

grafiske undersøkelser jeg har gjort tidligere. Man skulle jo f.eks. her vente å få en lavere dannelsesstemperatur på magnetkis rundt Løkken enn magnetkis i Lomunddalen. Selv om de temperaturer man kommer til ved denne metoden ikke skulle være absolutt helt riktige, så skulle man i hvert fall vente at de relative verdier man kommer til skulle være noenlunde riktige. Dette er jeg også meget interessert i da det som nevnt kan gi en opplysninger om hvor metamorfosen har vært sterkest.

Nå må det nevnes at også trykket spiller inn her. Nedenfor



har jeg tatt med en figur som viser dannelsesstemperaturen som funksjon av jerninnholdet ved tre forskjellige trykk. Som man ser spiller trykket mest inn ved de laveste jerninnhold i magnetkisen. Den nederste kurven på foregående side gjelder for et trykk på ca. 10 atm. Men som en ser vil trykkvariasjoner, så lenge man holder seg under

ca. 1000 atm., ikke influere så mye på temperaturen.

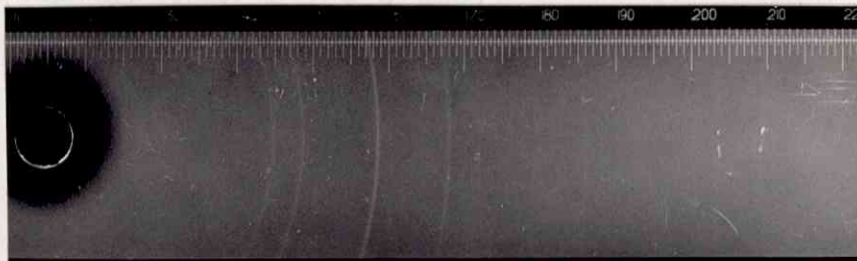
Som tidligere nevnt er forutsetningen for at magnetkis kan brukes som geologisk termometer, at den opptrer sammen med svovelkis.

Jeg har i alt undersøkt 12 magnetkiser med røntgenapparatet på Geologisk Institutt. Alle forsøkene ble kjørt med 114,6 mm kameraet, og med Cu-stråling og Ni-filter i ca. 2 timer ved 45 kV og 22 mA. Jeg har på alle filmene fotografert

inn målestav i kanten, for å eliminere krympningsfeil samt lette utmålingen på filmen.

Jeg skal så gå over til å behandle hvert enkelt forsøk. Kopier er tatt av alle røntgenfilmene.

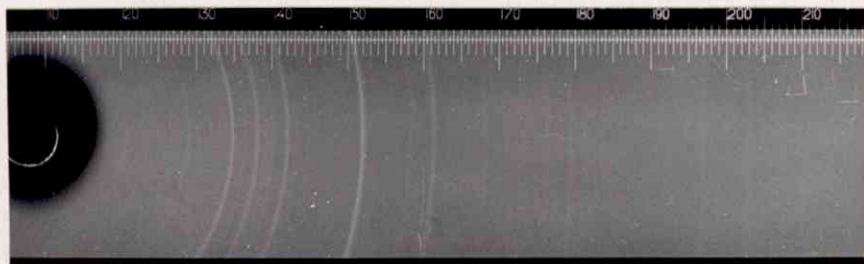
1. Vasskis fra gruva (Løkken).



Utmålt $d_{(102)}$ -verdi..... 2,060
Jerninnhold i magnetkisen..... 46,85 mol-%
Kjemisk formel..... $\text{Fe}_{0,882}\text{S}$
Dannelsestemperatur..... 450°C.

Denne prøven var tatt fra et temmelig umetamorft vasskislag i gruva.

2. Vasskis fra Jordhus.



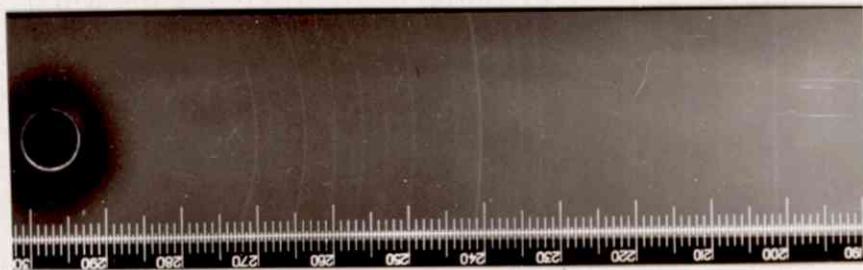
Utmålt $d_{(102)}$ -verdi..... 2,062
Jerninnhold i magnetkisen..... 47,00 mol-%
Kjemisk formel..... $\text{Fe}_{0,889}\text{S}$
Dannelsestemperatur..... 410°C.

Denne prøven såg heller ikke ut til å ha gjennomgått noen sterk metamorfose, da vasskisen var meget finkornig.

Disse forsøkene gir noenlunde samme temperatur. Det er mulig dette representerer tilnærmet den temperatur som rådde

under metamorfosen rundt Løkken.

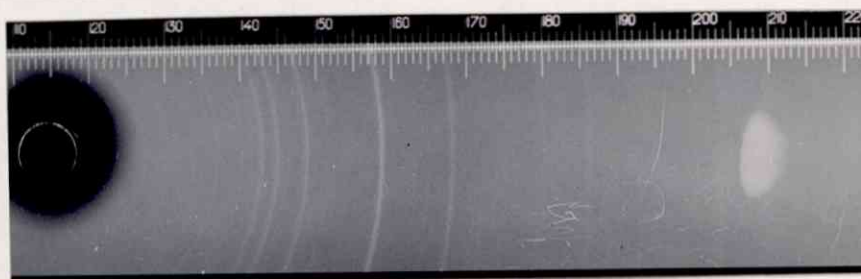
3. Vasskis fra Skjotskift.



Utmålt $d_{(102)}$ -verdi..... 2,053
Jerninnhold i magnetkisen..... 46,20 mol-%
Kjemisk formel..... $\text{Fe}_{0,862}\text{S}$
Dannelsestemperatur..... 570°C.

Denne prøven var tatt fra en temmelig grovkrystallinsk vasskis, så det skulle for såvidt ikke være noe merkelig at denne har en høyere dannelsestemperatur. Jeg synes imidlertid at temperaturen ligger noe høyt, særlig i forhold til de to første vasskisene fra Løkken og Jordhus.

4. Vasskis fra Hoslynga.



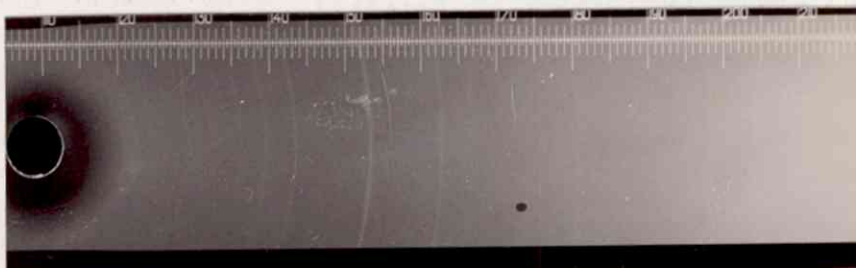
Utmålt $d_{(102)}$ -verdi..... 2,059
Jerninnhold i magnetkisen..... 46,80 mol-%
Kjemisk formel..... $\text{Fe}_{0,878}\text{S}$
Dannelsestemperatur..... 460°C.

Denne vasskisen var også temmelig finkornig, så metamorfosen har nok heller ikke her vært så særlig sterk. Temperaturen ligger litt høyere enn de to første fra Jordhus og Løkken, så det er mulig at metamorfosen her har vært

-20-

noe sterkere. Det er kjent at metamorfosen er sterkest lengst vest i feltet, så det kan tenkes at metamorfosen stiger gradvis vestover. Neste prøve stammer fra den omkrystalliserte vasskisen i Lomunddalen.

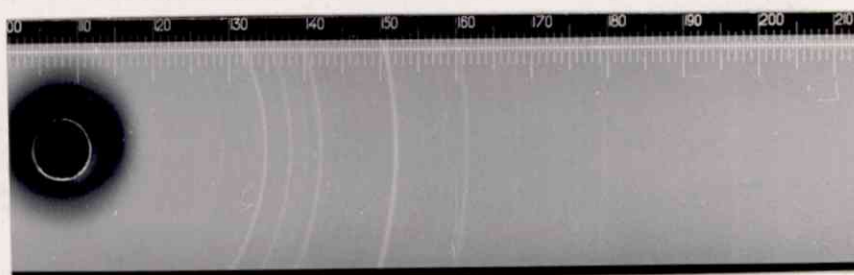
5. Vasskis fra Lomunddalen.



Utmålt $d_{(102)}$ -verdi.....	2,053
Jerninnhold i magnetkisen.....	46,20 mol-%
Kjemisk formel.....	$\text{Fe}_{0,862}\text{S}$
Dannelsestemperatur.....	<u>570°C.</u>

Det er her interessant å se at man får en markert høyere temperatur enn hos de lavmetamorfe vasskiser.

6. Vasskis fra Romundstadbygda (Rindal).



Utmålt $d_{(102)}$ -verdi.....	2,062
Jerninnhold i magnetkisen.....	47,00 mol-%
Kjemisk formel.....	$\text{Fe}_{0,889}\text{S}$
Dannelsestemperatur.....	<u>410°C.</u>

Denne prøven er tatt fra løsblokk i Romundstadbygda, så lokaliteten er altså ikke kjent. Stedet ligger i hvert fall langt fra den omkrystalliserte vasskisen i Lomunddalen. Prøven stammer sikkert fra et sted ikke langt fra der den ble

funnet, da den låg på en veifylling. Sten til denne fyllingen var sikkert tatt fra et sted i nærheten.

For å få mest mulig sammenlikningsmateriale, tar jeg med et par vasskiser fra to helt andre steder, nemlig Leksdalen og Børsa.

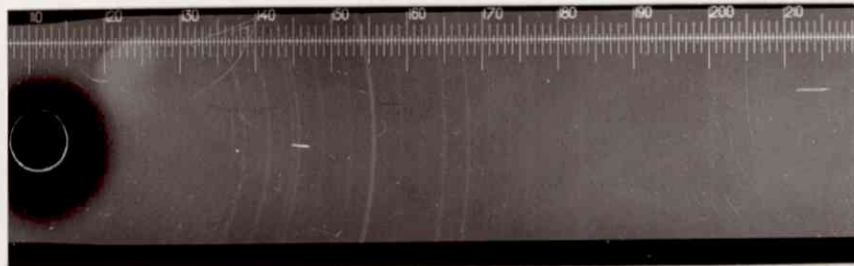
7. Vasskis fra Leksdalen.



Utmålt $d_{(102)}$ -verdi..... 2,061
Jerninnhold i magnetkisen..... 46,95 mol-%
Kjemisk formel..... $\text{Fe}_{0,886}\text{S}$
Dannelsestemperatur..... 425°C.

Prøven såg her temmelig finkornig og umetamorf ut, så denne temperaturen kan nok være ganske riktig.

8. Vasskis fra Børsa.



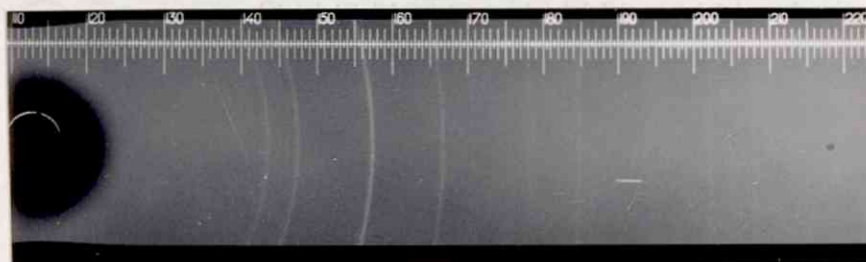
Utmålt $d_{(102)}$ -verdi..... 2,062
Jerninnhold i magnetkisen..... 47,00 mol-%
Kjemisk formel..... $\text{Fe}_{0,889}\text{S}$
Dannelsestemperatur..... 410°C.

Denne prøven liknet mye på vasskisen fra Jordhus, som jeg også kom til samme dannelsestemperatur på. Det ser hit-til ut som at temperaturen ligger på vel 400°C for de fleste

vasskiser som ser tilnærmet umetamorfe ut.

For å få en viss kontroll på denne metoden, har jeg tatt med 2 prøver fra Sulitjelma, en fra Røros, og en fra Erte-
lien. Alle disse skulle man vente ville gi en høyere tempera-
tur, særlig den siste som stammer fra en nikkel-magnetkis-
forekomst, som er dannet magmatisk.

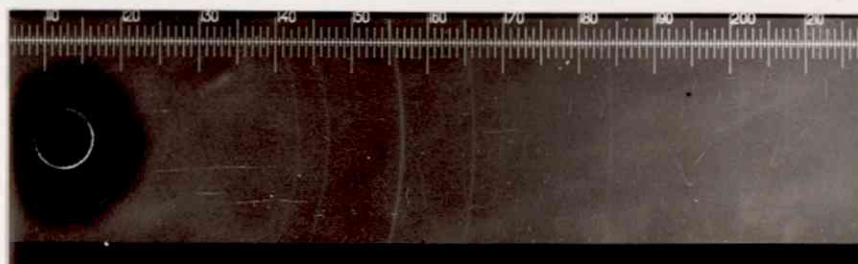
9. Magnetkis fra Sulitjelma (Sagmo).



Utmålt $d_{(102)}$ -verdi..... 2,062
Jerninnhold i magnetkisen..... 47,00
Kjemisk formel..... $\text{Fe}_{0,889}\text{S}$
Dannelsestemperatur..... 410°C.

Denne temperaturen ligger så lavt i forhold til de andre
jeg har kommet frem til, at det må være noe som er galt.

10. Magnetkis fra Sulitjelma (Holmsen-Gudrun-gang).



Utmålt $d_{(102)}$ -verdi..... 2,055
Jerninnhold i magnetkisen..... 46,40 mol-%
Kjemisk formel..... $\text{Fe}_{0,865}\text{S}$
Dannelsestemperatur..... 530°C.

Denne temperaturen ser nokså sannsynlig ut, når man
tenker på den sterke metamorfosen som har vært i Sulitjelma-

feltet. Jeg skal så ta med en analyse av en magnetkis fra Røros.

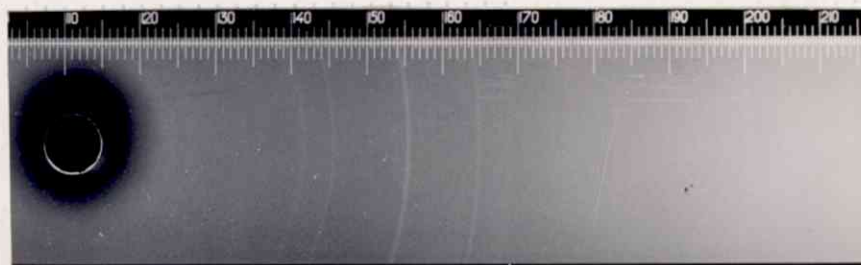
11. Magnetkis fra Røros (Olavsgruva).



Utmålt $d_{(102)}$ -verdi..... 2,053
Jerninnhold i magnetkisen..... 46,20 mol-%
Kjemisk formel..... $\text{Fe}_{0,862}\text{S}$
Dannelsestemperatur..... 570°C.

Også denne temperaturen ser sannsynlig ut. Jeg skal så ta med en analyse av en magnetkis fra Ertelien.

12. Magnetkis fra Ertelien.



Utmålt $d_{(102)}$ -verdi..... 2,049
Jerninnhold i magnetkisen..... 45,95 mol-%
Kjemisk formel..... $\text{Fe}_{0,851}\text{S}$
Dannelsestemperatur..... 630°C.

Som man ser ligger denne temperaturen høyt over de fleste andre. Dette er også i samsvar med hva man kunne vente.

Når man nå ser på disse 12 analysene, ser man at det er en tydelig tendens til høyere temperaturer ved de sterkest metamorfoserte, og at temperaturen er høyere ved de hydrotermale forekomster enn ved de sedimentære vasskisene. Dessuten

ligger den magmatiske nikkel-magnetkisforekomsten vesentlig over alle de andre. Analyse nr. 9 fra Sagmo, Sulitjelma stikker seg vesentlig ut fra de andre hydrotermalforekomstene. Det er mulig at det her kan dreie seg om en analysefeil, f.eks. at røntgenfilmen ikke har ligget helt inn til kameraveggen. Men bortsett fra denne analysen, og muligens nr. 3 fra Skjotskift som jeg synes ligger mistenkelig høyt, så ser de andre temmelig sannsynlig ut. I hvert fall skulle analysene gi et brukbart relativt bilde av temperaturene, selv om temperaturene ikke er absolutt riktige.

Uansett hvor riktige eller gale temperaturene er, så har jeg i hvert fall gjort en nyttig ting her; nemlig fått bestemt magnetkisenes sammensetning.

Man burde ved slike undersøkelser ha et større antall analyser å støtte seg til, for å få best mulig sammenlikningsgrunnlag. På grunn av knapp tid har jeg ikke kunnet utføre flere selv; selv disse 12 analysene tok flere dager.

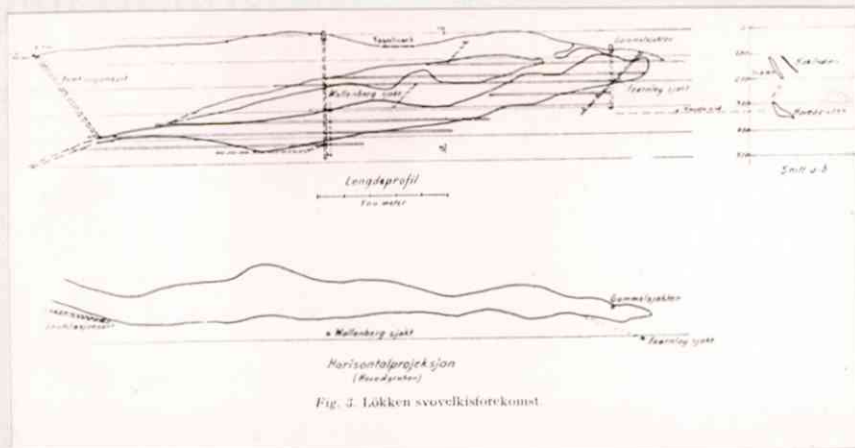
Det er her en fordel å bruke røntgen til bestemmelse av jerninnholdet i magnetkisen, da det er hurtigere enn kjemiske analyser og like nøyaktig. Dessuten trenger man ikke å ha helt ren magnetkis. F.eks. litt svovelkis og bergart gjør ingen skade. Hvis vi ser på røntgenfilm nr. 3 (fra Skjotskift), så ser vi at denne har flere linjer enn de andre. Dette er linjer som skyldes en innblanding av andre mineraler. Disse linjene forstyrrer ikke mere enn at den aktuelle 40-verdi kan avleses. Denne divideres så med 2 og man får 20. Fra en kurve måles så $d_{(102)}$ -verdien ut.

Gangkis i Løkkenfeltet.

Som tidligere nevnt er det flere forekomster av gangkis i Løkkenfeltet. Den viktigste av disse er hovedmalmen på Løkken, som er den eneste det er drift på i dag. I hengen av hovedmalmen er det to mindre malmkropper, India og Bakindia. Størrelsesforholdet mellom hovedmalmen, India og Bakindia er 91:7,5:1,5. Opprinnelig hadde disse tre malmene et malmkvantum på ca. 23 mill. tonn.

På det geologiske kartet har jeg lagt inn horisontalprosjeksjonen av hovedmalmen.

Nedenfor er vist Løkkenmalmen i horisontal- og vertikalprojeksjon. Malmens lengde er 2,4 km., bredden varierer mellom 100 og 250 m. og maksimal mektighet er 60m.



Både hovedmalmen, India- og Bakindiamalmen ligger parallelt, med strøk øst-vest og fall mot nord. Alle har en dragning i felt på ca. 80° mot vest.

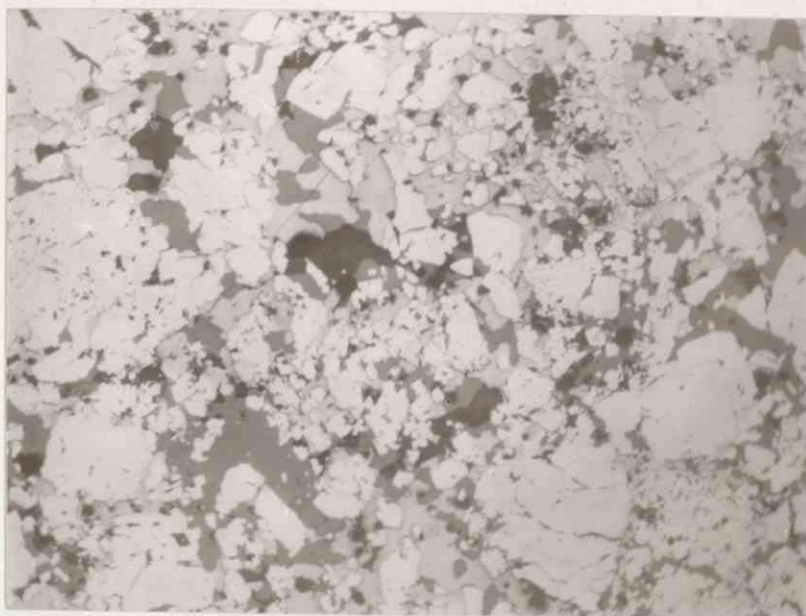
Til høyre på ovenstående bilde er også vist et tverrsnitt gjennom de tre malmkroppene. C.W. Carstens mente at alle disse tre malmkroppene ligger på samme stratigrafiske nivå. I profil 30 b kan man følge overgangen fra hovedmalmen til Indiamalmen, og i 38 b går India- og Bakindiamalmen nesten sammen.

Løkkenmalmens mineralselskap er svovelkis, kobberkis, sink-

blende, samt kvarts, silikatmineraler og kalkspat. Mengdeforholdet er ca. 70-75 % svovelkis, 6 % kobberkis, 3 % sinkblende og 12 % kvarts. Lokalt har man også funnet bornitt, brogetkobber og koboltglans.

Løkkenmalmen holder ca. 41,7 % S, 37 % Fe, 14 % uoppl., 2,1 % Cu, 1,8 % Zn, 0,07 % Mn, 0,05 % As, 0,002 % Pb, 0,01 % Cd, 0,007 % Se, 0,05 % Co, 0,001 % Ni, 16 gr. Ag/tonn og 0,2 gr. Au/tonn.

Selv om Løkkenmalmen er å betegne som temmelig homogen, så kan det forekomme partier som er meget rike på kobberkis, og andre som er meget rike på sinkblende. Jeg skal vise eksempler på disse malmtypene. Nedenfor vises et mikrobilde i 150 ganger forstørrelse av en typisk Løkkenkis. Bildet er tatt av polerpreparat nr. 1.



Mikrofoto av typisk Løkkenkis, 150 X, parallelt lys, grønnfilter.

Mineralselskapet er svovelkis, kobberkis, sinkblende og bergart. På bildet ovenfor er svovelkisen hvit-lys grå, kobberkisen grå, sinkblende mørkegrå, og bergart sort. Kornstørrelsen ligger for det meste i området 0,01-0,1 mm. På neste side har jeg tatt med et mikrobilde i 140 ganger for-

størrelse av en kis fra et parti som er meget rikt på kobberkis. Bildet er tatt av polerpreparat nr. 2.

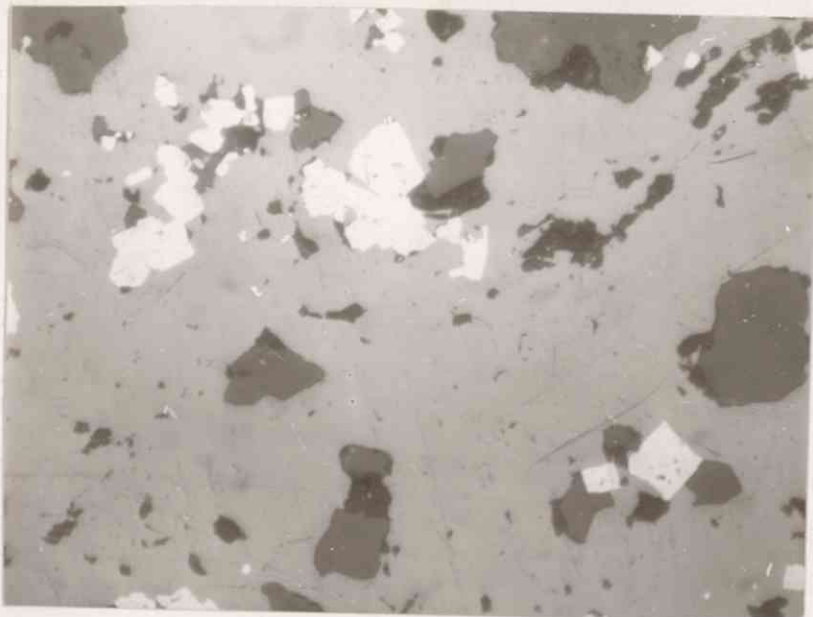


Mikrofoto av Løkkenkis, rik på kobberkis, 140 X, parallelt lys, grønnfilter.

Mineralselskapet er også her svovelkis, kobberkis, sinkblende og bergart, men mengdeforholdet mellom disse er et annet enn i foregående preparat. På bildet ovenfor er svovelkisen hvit. Den ligger i en grunnmasse av kobberkis som er grå. Bergartsmineralene er sorte. Sinkblende har jeg ikke funnet på bildet, men den finnes i preparatet. Midt på bildet sees en større svovelkiskrystall som er oppsprukket, og sprekkene fylt med kobberkis. Svovelkisen har ofte god krystallutvikling.

Øverst på neste side har jeg med et mikrobilde av en sinkblenderik kis fra tverrslag 26 vest, nivå 430. Bildet er tatt av polerpreparat nr. 3. Mineralselskapet er sinkblende, svovelkis og bergart. Kobberkis har jeg ikke kunnet finne i dette preparatet. Svovelkisen, som har godt utviklete krystaller, ligger i en grunnmasse av sinkblende. I enkelte av svovelkiskrystallene finnes innleiret sinkblende. På bildet er de hvite krystallene svovelkis, alt det lysegrå sink-

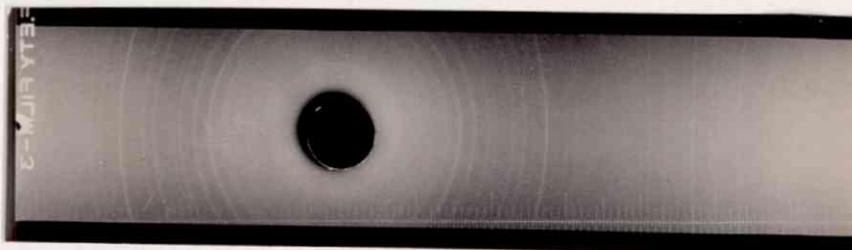
blende, og det mørkegrå og sorte bergart.



Mikrofoto av sinkblenderik kis fra Løkken, 150 X, parallelt lys.

For å få en oversikt over de gangmineraler som finnes i Løkkenkisen, har jeg fått laget to tynnslip. Tynnslip nr. 1 viser et mineralselskap som, foruten ertsmineraler, består av kalkspat, kvarts, feltspat (2V-stor), kloritt og muskovitt. Tynnslip nr 2 viser et mineralselskap som består av kvarts(mere enn i tynnslip nr. 1), kalkspat(med tydelig tvillingdannelse), grønn kloritt og muligens litt muskovitt.

I Løkkenmalmen er det også funnet markasitt. Jeg har tatt og undersøkt en slik ved røntgen, for å finne ut om det virkelig er markasitt eller om det er svovelkis. Kopi av røntgenfilmen vises nedenfor.



Filmen viser sikker svovelkis. Det er vanlig å finne slike pseudomorfer av svovelkis etter markasitt, det omvendte er

meget sjelden. Som jeg så vidt har nevnt på side 41, ser det ut som at markasitt er stabil ved temperaturer noe under 350°C . Den ytre krystallform på prøven viste tydelig at mineralet primært hadde vært markasitt. Dette skulle tyde på at temperaturen i hvert fall her under dannelsen hadde vært temmelig lav. Men kan nok gå ut fra at det med sikkerhet har vært store lokale temperaturvariasjoner under dannelsen av en så stor malmstokk. Nå kan man jo ikke med full sikkerhet si at markasitten er det primære heller, men som nevnt er pseudomorfer av markasitt etter svovelkis meget sjelden, så markasitt er nok temmelig sikkert her det primære.

Av andre malmmineraler som opptrer ved Løkken må nevnes magnetitten i hengen av hovedgruva. Denne opptrer over en feltutstrekning av flere hundre meter, og med atskillige meter mektighet. Magnetitt er et vanlig mineral i forbindelse med kisforekomster, og er dannet ved en differensiasjonsprosess. Som det fremgår av figur side 23 er magnetitt stabil ved siden av magnetkis og svovelkis.

I Løkkenmalmen finnes også magnetitt-kisbreksjer, altså bruddstykker av magnetitt i en grunnmasse av kis. Dette skulle tyde på at magnetitten er det eldste mineralet. Innholdet av magnetitt ellers i Løkkenmalmen er antakelig tilnærmet lik null.

I den østlige del av hovedgruva opptrer det i hengen en kisbreksjesone. Dette har C.W. Carstens brukt som bevis på en epigenetisk dannelselse og også på en hydrotermal dannelselse. Breksjen kan vanskelig tydes på annen måte enn at kisoløsninger, evt. et kismagma, er injisert i en eldre bergart.

Som nevnt ligger Løkkenmalmen i grønnsten. Morfologisk

bærer den sterkt preg av foldningstektonikken i feltet. Grønnstenen som ligger nærmest malmen er sterkt omvandlet. Særlig i hengen har omvandlingen gått langt inn i grønnstenen, således opp til 50-100 m. fra kiskontakten. Grønnstenen er her blitt omvandlet til et aggregat av kloritt, serisitt og kvarts. At omvandlingen har vært sterkest i hengen kan vel henge sammen med at gasser og damp har spilt inn her og trengt oppover i grønnstenen. En utførligere beskrivelse av sidestestens omvandling finnes i C.W. Carstens: "Forelesninger i malmgeologi ved Oslo universitet, vinteren 1947-1948".

Som jeg allerede har nevnt finnes det flere malmer av gangkistype i Løkkenfeltet. Her må i første rekke nevnes Høidal (3 km øst for Løkken) og Dragset (8 km vest for Løkken). Disse to forekomstene og hovedmalmen på Løkken ligger alle tilnærmet på en rett linje. Denne linje faller også sammen med bergartenes strøkretning, og går således noenlunde øst-vest. På de fleste steder ser det ut som at kiskene er nært knyttet til større eller mindre gabbroer, selv om dette ikke er noen regel. På Høidal har man en markert gafling av kisgangene på flere steder, som nokså sikkert tyder på at det har funnet sted en epigenetisk kisinjeksjon. Også ved Dragset kan man på bunnen av dagstrossa ved Sydgruva se en gafling av kisgangene. Ved Dragset er det ikke funnet noen tilknytning til gabbro.

Av andre forekomster i Løkkenfeltet kan nevnes de nedlagte Aamot gruve, Kong Karls gruve, Victoria gruve, samt en hel del større og mindre skjerp.

Det kunne nevnes mye mere av interesse om de forskjellige gangkiser i Løkkenfeltet, men det ville her føre for langt å gå i detalj, så jeg skal foreløpig la det være med dette. I neste avsnitt har jeg en undersøkelse av sinkblenden i Løkkenmalmen, med henblikk på bestemmelse av dannelsestemperaturen.

Bidrag til bestemmelse av Løkkenmalmens dannelses-temperatur
ut fra jerninnholdet i sinkblenden.

Den rene sinkblende (ZnS) er farveløs og forekommer ytterst sjelden i naturen. Nesten alltid inneholder sinkblenden mere eller mindre jern, og ofte også spor av andre elementer. Sinkblenden i de komplekse sulfidmalmer inneholder ofte litt Cd og Mn. Vanligvis er farven på sinkblenden gul-brun til nesten sort.

Oppløseligheten av FeS i ZnS er avhengig av de trykk- og temperaturforhold som rå; med andre ord, jerninnholdet i sinkblenden er en funksjon av betingelsene som mineralet er dannet under. Hvis vi nå går ut fra at det har vært overskudd av FeS under dannelsen av sinkblenden, så vil sinkblenden ha så mye jern som den kan oppta under de trykk- og temperaturbetingelser som rådde. Jernsulfid kan en, i følge Kullerud, Padget og Vokes, anta er i overskudd i de fleste tilfelle, slik at sinkblenden har så høyt jerninnhold som mulig etter de rådende PT-betingelser. Særlig når sinkblenden opptrer i en kompleks sulfidmalm, som f.eks. på Løkken, skulle man tro at det har vært tilstrekkelig FeS tilstede.

FeS - ZnS -diagrammet finnes i Kullerud (s.65).

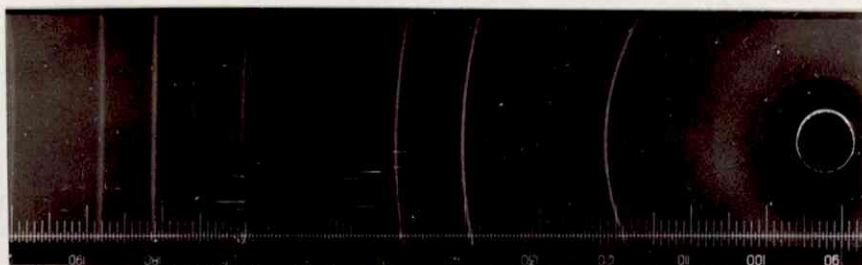
Ved å bestemme jerninnholdet i sinkblenden kan en altså etter dette, under visse forutsetninger, bestemme dannelsesbetingelsene.

En slik undersøkelse har jeg gjort med sinkblende fra hovedmalmen på Løkken. Prøven ble tatt i et sinkblenderikt parti i tv. 26 V, nivå 430. Sinkblenden opptrådte her som et tynt mørkebrunt lag inne i kisen. Bestemmelse av jerninnholdet i sinkblende kan gjøres på mange måter; f. eks. kjemisk,

ved spesiell vekt bestemmelse, lysbrytning, røntgen osv. Kjemisk bestemmelse ville nok her være å foretrekke. Jeg har bestemt jerninnholdet ved røntgenanalyse, da man her ikke er avhengig av å ha ren sinkblende. Ved de andre metodene må man selvfølgelig separere ut ren sinkblende før den kan analyseres. Hvis man ved røntgenmetoden har f.eks. noen prosent kis og bergart sammen med sinkblenden, så vil sinkblendelinjene på røntgenfilmen likevel dominere fullstendig, og ikke vanskeliggjøre tydingen. Dette er et av de store fortrinnsrøntgenanalysene har. Samtidig er metoden temmelig rask, særlig her hvor man har et regulært mineral. Gitterkonstanten beregnes da forholdsvis hurtig.

Prinsippet for bestemmelse av jerninnholdet i sinkblende etter røntgenmetoden er at sinkblendens gitterdimensjoner øker når Zn erstattes av Fe. Når man finner gitterkonstanten kan man fra en enkel kurve lese av det tilsvarende jerninnhold.

Forsøket ble kjørt på Geologisk Instituts røntgenapparat fra North American Philips Co., Inc. For å få så nøyaktige resultater som mulig brukte jeg kameraet med største diameter (D=114,6 mm). Forsøket ble kjørt med Cu-stråling og med Ni-filter i 2t. og 10 min. ved 45 kV og 22 mA. Kopi av filmen vises nedenfor.



For å eliminere feil på grunn av at filmen kan krympe ved fremkallingen, har jeg fotografert inn en målestav i kanten av filmen. Utmålingen på filmen har jeg gjort ved at jeg har

satt filmen i et fotografisk forstørrelsesapparat, og derved fått både filmen og målestaven forstørret. Herved blir det mye nøyaktigere avlesning. Men det er ikke til å unngå at det blir en tilfeldig feil ved avlesningen av linjeavstandene (som er lik 4 0 i Braggs likning). Denne feilen vil i tallverdi være noenlunde konstant for alle avlesninger. For mest mulig å eliminere denne feil har jeg, i overensstemmelse med Bunn, målt ut bare de ytterste linjer på filmen. Dette er på grunn av at en liten feil på en stor vinkel vil representere mindre prosentvis feil enn den samme feil på en liten vinkel. Mine målinger har som middel av de 5 ytterste linjer gitt en gitterkonstant:

$$a_0 = \underline{5,406 \text{ (kX)} = 5,417 \text{ (Å)}}.$$

Jeg mener å kunne garantere at denne verdi er riktig med sine 3 desimaler. Å bestemme gitterkonstanten ved røntgen nøyaktigere er vanskelig, hvis man ikke blander i prøven et stoff med kjent gitterkonstant (f.eks. NaCl). Da kan man nok få en nøyaktighet av ≈ 1 i fjerde desimal.

Etter tabell i Kullerud (s. 77) svarer denne verdi av a_0 temmelig nøyaktig til 20 vekts-% FeS eller 21,7 mol-% FeS i sinkblenden. Dette tilsvarer et jerninnhold på 12,7 %.

Som nevnt før vil det ofte inngå både Cd og Mn i sinkblenden, som i voksende mengde begge vil forsøke gitterdimensjonene. I følge Kullerud ligger kadmiuminnholdet i vanlige forekomster mellom 0,1 og 0,3 %. Jeg har 3 analyser av sinkblende fra Løkken som viser 0,32, 0,23 og 0,24 % Cd. Dette vil ikke gi noen merkbar forandring hos gitterkonstanten (vil bare influere ubetydelig på fjerde desimal). Med hensyn til Mn viser analyser at Løkkenmalmen holder ca. 0,07 %. Selv om alt dette hadde opptrådt som sulfid og

inngått i sinkblenden, så ville ikke dette ha gitt noen påviselig forandring i gitterdimensjonene hos sinkblende. Etter dette kan en således gå ut fra at den forholdsvis store gitterkonstanten hos sinkblenden fra Løkken utelukkende skyldes jerninnholdet. Ren sinkblende (ZnS) har gitterkonstant $a_0 = 5,3985(\text{kX}) = 5,4094(\text{\AA})$, og sinkblende med 36,5 vekts-% FeS har $a_0 = 5,4134(\text{kX}) = 5,4243(\text{\AA})$. Min verdi på $5,406(\text{kX}) = 5,417(\text{\AA})$ gir altså 20 vekts-% FeS som tilsvarer 12,7 % Fe . Det morsomme er at denne verdi stemmer godt overens med kjemiske analyser av sinkblende fra Løkken. De tre tidligere nevnte analyser av sinkblende derfra viser jerninnhold på 11,52, 10,48 og 12,80 % Fe .

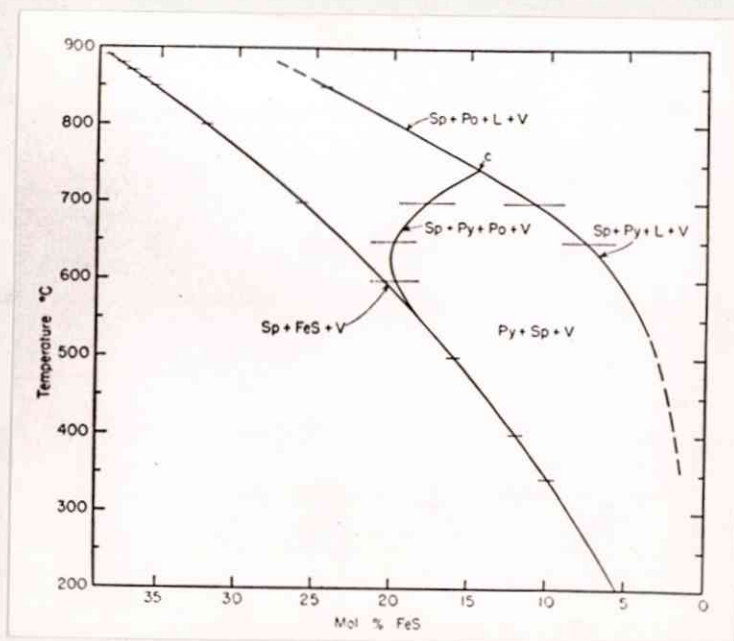
Før jeg går videre vil jeg nevne at de resultater Kullerud er kommet til over sammenhengen mellom gitterkonstanten hos sinkblende og jerninnholdet nylig er blitt korrigert. Så sent som i september-oktober-nummeret av *Economic Geology* er det en artikkel av Brian J. Skinner, Paul B. Barton, Jr. og Gunnar Kullerud som omhandler de feil som har sneket seg inn i Kulleruds første arbeide. For det første er 2 måleenheter for gitterkonstanter blitt sammenblandet; nemlig kX -enheten og Ångstrøm-enheten. Mellom disse er det følgende relasjon: $1 \text{\AA} = 1,00202 \text{ kX}$. (For utførligere opplysninger om de 2 måleenheter henvises til W.L. Bragg: *The Conversion Factor for kX-units to Ångstrøm*, i *American Mineralogist*, vol 32 (1947) p. 592). Jeg vil nevne at gitterkonstanten fåes i kX -enheter etter de tabeller og kurver som brukes på Geologisk Institutt (fra Philips).

Av andre feil som er kommet inn i Kulleruds arbeide er en omregningsfeil fra vekts-% til mol-% FeS , samt en feil som skyldes en oksydasjon av FeS ved knusingen for røntgenanalysen.

Disse rettelsene vil gi et noe lavere jerninnhold i sink-

blenden enn det man får etter tidligere undersøkelser, men da det selvfølgelig er det maksimale jerninnhold jeg er interessert i, vil jeg bruke min tidligere verdi på 12,7 % Fe. De kjemiske analyser viser også like høyt eller høyere jerninnhold, slik at min verdi i hvert fall ikke ligger høyere enn det maksimale jerninnhold i sinkblenden fra Løkken.

Av den nedenstående figur kan en se hvordan sinkblendens jerninnhold varierer som funksjon av temperatur ved forskjellige fasekombinasjoner. Som man ser vil en sinkblende som er

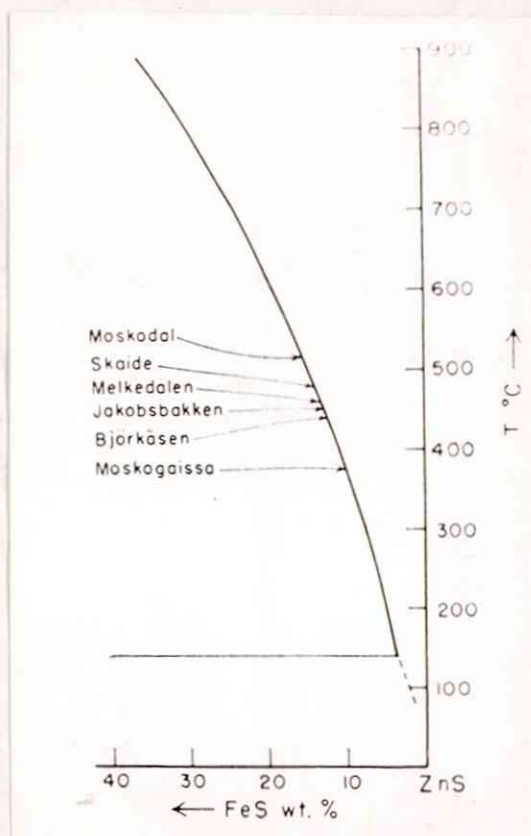


dannet i likevekt med svovelkis, og hvor det ikke er magnetkis tilstede, være dannet over nedre kurve. Ved Løkken finnes sinkblenden sammen med svovelkis. Magnetkis finnes ikke; så man kan derfor

bruke den nederste kurve som minimumstemperatur sinkblenden er dannet ved. For å finne hvilken temperatur, mellom øverste og nederste kurve, sinkblenden er dannet ved er det nødvendig å kjenne både svovelets damptrykk og relasjonen mellom jerninnholdet i sinkblende og svoveltrykket.

Som nevnt vil trykket influere på dannelsesstemperaturen, slik at det må korrigeres for dette. Trykket som rådde under dannelsen av de forskjellige malmer er selvfølgelig å anslå bare på skjønn. Kullerud mener at området 1500±1000 atm. skulle dekke området for dannelsesstrykket av våre malmforekomster i den kaledonske fjellkjede. Trykket trenger man ikke anslå så nøyaktig, da en variasjon i trykk på ±1000 atm.

bare vil gi en temperaturvariasjon på $\pm 25^{\circ}\text{C}$. Etter kurve til



venstre, som er tatt fra Kulleruds undersøkelser, kan dannelses temperaturen hos sinkblendene finnes som funksjon av veks-% FeS. På kurven er innlagt en del kjente forekomster for å illustrere hvor de ligger i dannelses temperatur. Etter kurven får jeg dannelses temperaturen til å ligge på:

$$T = 620^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}.$$

Dette er en god del høyere enn den dannelses temperatur man er kommet til for de fleste

andre undersøkte norske forekomster. Mange av dem ligger i området $400\text{--}500^{\circ}\text{C}$. Men jeg kan også nevne forekomster som ser ut til å ha vært dannet ved like høy eller høyere temperatur. Eksempel: Broken Hill (620°C), Orijärvi (560°C), Outokompu (600°C), Grua, Hadeland (620°C), Sextus, Røros (595°C), Falun (645°C) m.m. Nå må det påpekes at hele malmforekomsten ikke trenger å være dannet ved denne temperatur. Det kan selvfølgelig forekomme lokale temperaturvariasjoner, men hvis metoden er pålitelig skulle i hvert fall temperaturen minst ha vært oppe i noe over 600°C .

Denne temperaturen, sammen med de andre nevnte, ligger så høyt at de i hvert fall må ligge øverst i hydrotermalområdet, hvis man i det hele tatt skal ta dem til inntekt for den hydrotermale dannelseshypotese. Etter litteraturen angis hydrotermalområdet til ~ 500 eller 600°C eller høyere, og trykk opptil flere tusen atmosfære.

Det kan nok også være sannsynlig at bestemmelsen av dannelsesstemperaturen ut fra jerninnholdet i sinkblende er forbundet med feil som man i dag ikke kjenner. Alle diagrammer, kurver og tabeller som anvendes her er jo eksperimentelt oppsatt fra hydrotermalforsøk, så det kan vel tenkes at resultater som leses fra disse kan differere en del fra det man kan få i naturen. Det fysikalske og kjemiske miljø som rådde under dannelsen av malmforekomstene kan nok være vesentlig forskjellig fra det man arbeider med ved eksperimentene. En ting man må være oppmerksom på, er at laboratorieforsøkene foregår under statiske forhold (i stålsylindere), slik at den faste fase og gassfasen er utsatt for samme trykk. I naturen vil nok de mineraldannende prosesser sikkert ofte foregå under helt andre forhold. Samtidig med hydrotermalprosessene kan det foregå deformasjoner i bergartene, slik at den faste fase derved kan få et langt høyere trykk enn væske og gassfasen. Oppløselighetsforholdene vil herved kunne forandres vesentlig. Jeg kan i denne forbindelse nevne at det er flere mineraler, med kjent kjemisk sammensetning, som man hittil ikke har klart å fremstille syntetisk.

De siste rapporter fra Geophysical Laboratory i Washington, hvor disse forsøkene foregår, viser at man bør være forsiktig med å trekke for raske slutninger. Fremtiden kan nok her gi endel korreksjoner.

Litt om forholdet vasskis-gangkis i Løkkenfeltet.

Som nevnt opptrer det i Løkkenfeltet to forskjellige kistyper, nemlig vasskis og gangkis. Disse er i så mange henseender vidt forskjellige, at de også må oppfattes som forskjellige dannelser. Både morfologisk, strukturelt og kjemisk er de meget ulike.

Vasskisene opptrer nesten hvor som helst i Bymarkgruppen, mens gangkisene er mindre utbredt. Disse siste synes som regel å være knyttet til gabbroer, evt. trondhjemitter.

For å få en mere personlig oppfatning av forholdet mellom disse to kistypene, har jeg selv studert flere områder hvor dette forholdet lett kan undersøkes.

Hvis man ser på det geologiske kartet, så ser man at Løkkenmalmen ligger i samme lengdedrag som vasskisdraget Høidal-Løkken. Det viser seg til og med at Løkkenmalmen på flere steder ligger i direkte kontakt med vasskisen. Høidalsmalmen ligger også i samme draget.

I hovedgruva på Løkken har man flere steder god anledning til å studere forholdet vasskis-gangkis. Vasskisen opptrer for det meste i liggen av gangkisen.

Under mitt opphold på Løkken tok jeg for meg tre profiler av malmen og tegnet inn vasskislagene i forhold til gangkisen. De tre profilene var 56, 59 b og 62 b. Disse er gjengitt på henholdsvis side 65, 66 og 67.

Gangkisen har jeg tegnet inn etter profilkartet på markscheiderkontoret. Da disse profilkartene var i målestokk 1:800, og jeg gjerne ville ha dem i 1:1000, har jeg tegnet dem om på tracing og tatt lyskopier.

Å få tegnet inn den nøyaktige beliggenhet av de forskjellige vasskislagene var ofte meget vanskelig. På nivå 430 og 456

Nivå:

Profil 56

-340

-380

-430

- Grönnssten
- Gangkis
- Vasskis

-65-

M=1:1000

0 50 100m



Nivå:

Profil 59b



Nivå:

Profil 62b

-340



-380

-430

- Grönnssten
- Gangkis
- Vasskis

-67-

M=1:1000

0 50 100m



kunne man få inn beliggenheten ganske nøyaktig, men på de høyere nivåer bød det på store vanskeligheter. De aktuelle tverrslag på nivå 380 var nemlig utilgjengelige på grunn av ras. Det samme gjaldt en del liggstigorter mellom nivå 430 og nivå 380. Under opptegningen av profilene har jeg hatt stor nytte av professor Trygve Strands rapport, hvor han har beskrevet en hel rekke vasskislager i gruva. Dessuten har jeg hatt en del nytte av rapporter fra diamantboringer i gruva. God hjelp fikk jeg også av mange av stigerne som ofte kunne huske beliggenheten av vasskislagerne som nå var blitt utilgjengelig.

Selv om jeg har gjort profiltegningen så nøyaktig som mulig, tør jeg ikke garantere at alt er riktig. Stort sett tror jeg imidlertid at bildet skal være temmelig riktig. Som det fremgår av profilene side 65, 66 og 67, ser det ut som at det er samme vasskislagerne som går igjen i de tre. Det 8-10 m mektige vasskislaget som skjærer den gamle liggkommunikasjonsorten på nivå 430 har jeg fulgt meget langt, muligens ligger dette laget minst under hele malmstokken. De to andre vasskislagerne er nok også høyst sannsynlig samme lagene i de tre profilene. Det vasskislaget jeg har vært mest interessert i er det som flere steder ligger i direkte kontakt med gangkisen. Dette har jeg prøvt å følge så nøyaktig som mulig. Litt over nivå 430 er det flere steder like under malmen drevet et spesielt tappennivå, da avstanden fra malmen og ned til sålen her er såvidt stor. På disse tappennivåene har jeg hatt god anledning til å studere vasskislaget nærmest gangkisen. Det viste seg her flere steder at vasskislaget ikke bestandig følger gangkisen. Flere steder kunne man ha grønnsten mellom vasskisen og gangkisen. Tverrslag 26 vest (profil 59 b) var også et utmerket sted

hvor man kunne studere vasskislagene i forhold til gangkisen. Grunnen til at jeg spesielt har vært interessert i dette vasskislaget som ligger i kontakt med gangkisen, er for å finne ut om det kan være noen mere eller mindre jamn overgang mellom vasskis og gangkis, og om det da eventuelt kunne tenkes å være noen genetisk sammenheng mellom disse kistypene. Jeg synes det er ganske nærliggende å tenke på noe slik, i og med at man finner kisene sammen.

Mine undersøkelser har gitt som resultat at overgangen mellom vasskis og gangkis er skarp og markert. Nedenfor tar jeg med et bilde som er tatt i tverrslag 26 vest på nivå 430, som ganske tydelig viser den markerte overgang gangkis-vasskis-grønnsten. Bergart og kis er forsynt med navn, dessuten har jeg trukket opp grensene mellom disse med rød tusj.



Foto i målestokk ca. 1:18 av vasskislag i kontakt med gangkis i tverrslag 26 vest, nivå 430.

Under mitt opphold på Løkken fikk jeg også anledning til

å sette på et diamantborhull gjennom vasskislaget i liggen av gangkisen, for å undersøke overgangen mellom vasskis og gangkis. Hullet ble påsatt i tv. 26 V, og gikk først gjennom ca. 1 m gangkis, så 3-4 m vasskis og så et stykke inn i grønnstenen i liggen. Det kunne hekler ikke her observeres noen jevn overgang mellom vasskis og gangkis. Vasskisen hadde også her enkelte steder sekundære årer av gangkis nærmest kontakten. Disse gikk for det meste tvers på vasskisens lagning.

Et meget interessant fenomen kunne man se på hengen av gangkisen i samme tverrslag. Som tidligere nevnt opptrer det her et omvandlet vasskislage, som er temmelig intimt sammensveiset med gangkisen. Dette vasskislaget er meget forskjellig fra vanlig vasskis. Jeg har på profilet side 66 tegnet laget med vasskisens farve. På side 40, hvor jeg så vidt har omtalt dette vasskislaget, har jeg tegnet det med gangkisens farve. Jeg vil presisere at dette høyst sannsynlig er et metasomatisk fenomen, i likhet med f. eks. putekisen, så det ville nok være mest riktig å kalle dette for gangkis. Overgangen mellom dette "foredlete" vasskislaget og gangkisen er ikke skarp, så for den del kunne gjerne hele den nedre malmspissen være metasomatisk omvandlet vasskis. I hengen av malmstokken rundt 20 magasin opptrer det også slik "foredlet" vasskis. Her har man en veksel av ganske tynne, homogene kistriper og tynne jaspisstriper. Selv tror jeg det er liten sannsynlighet for at hele den nedre malmspissen er en metasomatisk omvandlet vasskis, da dette i tilfelle måtte ha vært en meget mektig vasskis.

Når man ser på snittene av malmen, så ser det ut som at malmen med sikkerhet skjærer på tvers av lagningen i grønnstenen, og således støtter en epigenetisk dannelselse av malmen. Her må det nevnes at grønnstenen rundt malmen er blitt hydro-

termalt omvandlet, slik at grønnstenen her nærmest har fått en slags falsk skifrihet. Skifriheten er således blitt parallell malmen. For om mulig å se om det er noen forskjell i grønnstenens fall og malmens fall, foretok jeg en del fallmålinger i grønnstenen i den lange stigorten i liggen mellom nivå 430 og 380, altså den stigorten som kommer opp i borsmia. Etter det jeg kunne se her var grønnstenens fall atskillig mindre enn fallet på kisligen like i nærheten. Fallet på kisligen har jeg tatt fra profilkartene. Jeg tror derfor at gangkisen i hvert fall her skjærer på tvers av skifriheten i grønnstenen. Det er ikke så mange steder man kan foreta slike målinger, da grønnstenen ofte er massiv og således ikke har noen skifrihet.

Også i Bakindia har man gangkis i kontakt med vasskis, men disse områdene har jeg ikke hatt anledning til å studere.

Som konklusjon på mine undersøkelser over forholdet vasskis-gangkis kan jeg si at det etter min oppfatning ikke er noe som tyder på at det kan være noen genetisk sammenheng mellom disse.

Nå må jeg innrømme at det ikke var noe i veien for at gangkismaterialet kunne stamme fra vasskisene, da disse to kistypene blant annet her ligger i samme stratigrafiske nivå. Hovedelementene i både gangkis og vasskis er jo svovel og jern, så ved f.eks. en utluting av vasskisene kunne man jo til en viss grad forklare hvor disse elementene kommer fra. Hvor tungmetallene i gangkisen i så fall skulle stamme fra blir noe vanskeligere å tenke seg. Disse kunne jo også stamme fra en utluting av bergartene i nærheten, eller fra andre tungmetallholdige oppløsninger som måtte sirkulere i jordskorpa. Da flere av tungmetallene, f.eks. Cu og Zn, har

stor affinitet til svovel, var det ikke noe rart om disse elementene samlet seg der hvor det er rikelig med svovel. Man kunne her tenke seg en slags filtervirkning, hvor tungmetallene blir holdt igjen.

Personlig må jeg innrømme at denne teorien synes noe søkt, selv om jeg hverken kan eller vil benekte at noe slik kunne ha foregått. Hadde det ikke vært andre svovelkisforekomster i verden enn Løkkenforekomsten, så ville nok teorien ha virket meget sannsynlig. Men så lenge det finnes en mengde forekomster av samme type og tilnærmet samme mineralogiske sammensetning som Løkkenmalmen, og som er sikre hydrotermale dannelser, skulle det ikke være noen grunn til å anta noe annet for Løkken heller. At man i Løkkenfeltet også finner gabbroer som kisene kan være knyttet til er en kjent sak. Gabbroenes sammenheng med kisene har vært en god del diskutert. Professor Trygve Strand skriver i sin rapport side 26-27: "En gammel og hederskronet oppfatning som nå må oppgis, i det minste for Løkkens vedkommende er at de gabbroer som finnes i nærheten av kisene har spillet en rolle som malmbringere. Vi vet nå at gabbroen som ligger over Løkkenmalmene er blitt skjøvet over disse i stiv, avkjølet tilstand. I sin alminnelighet er det i Løkkenfeltet heller ingen tegn til at kisforekomster er knyttet til nærheten av gabbroer". Jeg synes det er noe dristig helt å bortse fra at kisene har en genetisk sammenheng med gabbroene. Med hensyn til forholdene ved Løkken, vil jeg nevne at den overskyvningen som Strand nevner ikke behøver å være så stor. Selv om man flere steder har kraftige knusningssoner behøver ikke dette å være noe indisium på en stor overskyvning. Slik kan man jo få bare ved at bergartene f.eks beveger seg litt frem og tilbake i forhold til hverandre. Altså ved at bergartene står

nesten stille og nærmest gnisser mot hverandre. Selv om overskyvningen hadde vært stor, så kan jeg ikke innse at man likevel helt kan fjerne gabbroen fra bildet. Det finnes da mange eksempler på at kisen ligger langt fra gabbroen også. Dessuten har man så mange eksempler på gabbroer i tilknytning til kisforekomster, at det temmelig opplagt må være en genetisk sammenheng her.

Med hensyn til forholdet vasskis-gangkis i Løkkenfeltet, så mener jeg at det er en annen naturlig grunn til den nære sammenheng mellom disse to kistypene. Vasskisen er som før nevnt ganske sprø og motstår således dårlig ytre påkjenninger. Grønnsteinen derimot er meget seig og motstandsdyktig. Jeg synes derfor at det er logisk at fjellet har sprukket og eventuelt åpnet seg etter vasskislagen ved de påkjenninger som fjellet måtte ha vært utsatt for da malmen ble dannet. En injeksjon av kisoppløsninger kan man så tenke seg har foregått i denne sprekken. Dette forklarer at gangkisen flere steder kan komme i kontakt med vasskis.

Professor Trygve Strands oppfatning at store deler av Løkkenmalmen er dannet intrusivt, synes meget sannsynlig. Å forklare en så stor malmkropp som Løkkenmalmen som dannet utelukkende metasomatisk ved replacement er ganske utenkelig. Hvordan skulle man da i tilfelle få en såvidt regelmessig form på malmkroppene som man nesten alltid har, enten stokker, linser, linjaler o.l?

For å komme nærmere på spor etter dannelsen av de forskjellige kisforekomster, er det nok mulig at man her kunne komme langt ved å undersøke enkelte elementers isotoper. For eksempel hos vasskisene forholdet $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$, og hos både vasskis og gangkis forholdet $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$. Disse forhold ser ut til å være en funksjon av dannelsesmåten. Andre elementer kan også brukes.

Geokjemi.

De to kistypene, vasskis og gangkis, viser seg å være meget forskjellige kjemisk sett. Særlig gjelder dette fordelingen av sporelementer.

På side 52 har jeg tatt med en kjemisk analyse av typisk gangkis fra Løkken.

På grunn av den meget intime veksel mellom kislager og bergartslag, vil en analyse av vasskis vise mye lavere svovelinnhold enn gangkis. Nedenfor har jeg tatt med en typisk vasskis-analyse, for å vise hvordan innholdet av svovel, kobber og uløselig kan variere gjennom vasskislageret. Det er tatt i alt 8 analyser over det 7,23 m mektige vasskislageret.

Meterangivelse:	% S	% Cu	% Uløselig
15,87 - 16,72	25,61	0,01	36,70
16,72 - 17,54	28,63	0,09	34,54
17,54 - 18,48	25,23	0,06	35,38
18,48 - 19,36	23,04	0,01	46,41
19,36 - 20,23	24,17	0,03	41,12
20,23 - 21,19	15,40	0,06	45,66
21,19 - 22,15	27,58	0,02	37,87
22,15 - 23,10	22,85	0,04	41,76
Sum: 7,23 m. Middel:	<u>24,06 % S,</u>	<u>0,04 % Cu,</u>	<u>39,94 % Uløsl.</u>

Dette er typiske verdier for vasskis. Svovelinnholdet pleier å ligge i området 20-30 %, og kobberinnholdet under 0,1 %. Som man ser av ovenstående analyse er det ingen lov-messig sammenheng mellom innholdet av svovel og kobber. Mel-lom svovel og uløselig er det naturlig nok en sammenheng. Da det uløselige vesentlig kommer fra bergartslagene, vil så-ledes høyt innhold av uløselig gi lavt innhold av svovel. Dette

er stort sett i samsvar med analysen.

For å få en oversikt over hvilke elementer som inngår i de to kistypene, har jeg kjørt flere analyser på røntgenspektrograf ved Statens Råstofflaboratorium. Fordelen med å bruke røntgenspektrograf fremfor optisk spektrograf er bl. a. at elementenes røntgenspektre består av så få linjer, slik at spektrogrammene blir meget lette å tyde. Prissippet for røntgenspektrografen er kort forklart følgende:

Når de primære røntgenstråler som kommer fra røntgenrøret treffer prøven som skal analyseres, exciteres (oppstår) det en fluorescensstråling i de forskjellige elementer som inngår i prøven. Denne fluorescensstrålingen kommer da til å bestå av stråler med forskjellige bølgelengder, som vil være avhengig av elementene som finnes i prøven. Det fine her er altså at man får et linjespektrum og ikke som ved primærstrålingen et kontinuerlig spektrum. Det er denne fluorescensstrålingen som blir undersøkt ved røntgenspektrografen. Fluorescensstrålingen fra prøven kollimeres, d.v.s. parallellrettes mellom et stort antall parallelle plater som står meget nær hverandre, før den faller inn på analysekrystallen. Denne har gitterkonstanten d , og befinner seg i sentrum av et presisjonsinstrument for vinkelmåling, et såkalt vidvinkelgoniometer. Analysekrystallen roterer langsomt, slik at strålingen får anledning til å falle inn under alle vinkler θ . Etter likningen $n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta$, inn-treffer refleksjon i krystallen bare når verdien av $2 \cdot d \cdot \sin \theta$ blir lik bølgelengden av noen komponent i den innfallende strålingen. Høyere ordens spektrum er som oftest meget svake. Den reflekterte strålen oppfanges av en detektor som beveges i en sirkelbane med krystallen i sentrum. Denne må beveges med krystallens dobbelte vinkelhastighet. Det blir i praksis

K- og L-seriens emisjonslinjer fra elementene i prøven som oppfanges.

Som analysekrystall blir det brukt forskjellig materiale. Det mest vanlige er stensalt, kvarts, litiumfluorid og topas. Krystallen på røntgenspektrografen jeg brukte var av kvarts. Den har en d-verdi på 3,34 Å, og kan derfor klare bølgelengder opp til 6 Å. Kvarts har dårligere oppløsningsevne enn de andre nevnte krystallene, d.v.s. de forskjellige linjer blir dårligere atskilt.

Detektoren som registrerer intensiteten av strålingen består av et vanlig Geiger-Müller-rør, som står i automatisk forbindelse med et skriveverk og et telleverk. Jeg har valgt å bruke det automatiske skriveverket, hvor man altså får skrevet ned intensiteten av de forskjellige linjene. Disse spektrogrammene kan man så sette seg ned å tyde når som helst, ved at man sammenholder de med en tabell over 2 θ -verdiene hos elementene.

Utstyret som jeg brukte ved forsøkene var fra Philips og hadde følgende betegnelser:

Høyspenningsgenerator.....	PW 1010/30
Vidvinkelgoniometer.....	PW 1050
Elektronisk panel.....	PW 1051
Røntgenrør og tilbehør.....	PW 1520/10

Jeg har tatt bare en halvkvantitativ analyse, da man ellers måtte ha laget seg kalibreringskurver for alle elementene som inngår i de to kistypene. Dette skjer ved at man lager seg prøver med kjente stoffkonsentrasjoner (ved veining) og måler intensiteten. Tre av prøvene jeg har tatt på røntgenspektrografen, har jeg også tatt på optisk spektrograf. Den ene av disse er tatt helkvantitativt, mens de to andre er tatt nesten helkvantitativt (spektrogrammene på disse to er

mengde av denne strålingen reflekteres, enn når man har bare et cellofanpapir. Mye av strålingen blir altså reflektert i det ytterste skiktet av stoffet.

Alle forsøk har jeg kjørt under nøyaktig like betingelser. Samtlige prøver er splittet ut fra gods nedknust til -230 mesh. Røntgenrørets spenning har vært holdt på 50 kV, og strømstyrken på 18 mA. Detektorens spenning har vært 1700 V. Det var meget enkelt å holde forsøksbetingelsene konstant, da apparaturen var utstyrt med stabilisatorer både for strøm og spenning.

Spalten mellom detektoren og prøven hadde 14 mm åpning. Detektorens vinkelhastighet var 1 °/min, og hastigheten på papiret var 400 mm/h.

Ratemeteret stod hele tiden på 16-4-1.

Alle forsøk unntatt ett ble kjørt i vakum.

Utrekninger av prosenter kommer jeg til å gjøre nokså tilnærmet. Da jeg kjenner sammensetningen på en av analysene meget godt, og sammensetningen på to til tilnærmet riktig, kan jeg bruke disse som utgangspunkt for beregningen. Det viser seg nemlig at de såkalte kalibreringskurver (intensiteten som funksjon av konsentrasjonen av et element i %) er temmelig rettlinjjet. Dette gjelder til og med meget godt så lenge man holder seg innen små områder av konsentrasjonen. La oss si at vi f.eks kjenner utslaget for 1 % kobber. Dette kan da meget godt legges til grunn for kobberanalyser mellom f.eks. 0 og 3 % kobber, da man på dette vesle området kan regne med rettlinjjet forløp av kurven. Men har man f.eks. en prøve med 50 % kobber, kan man ikke legge denne analysen for 1 % kobber til grunn for beregningen.

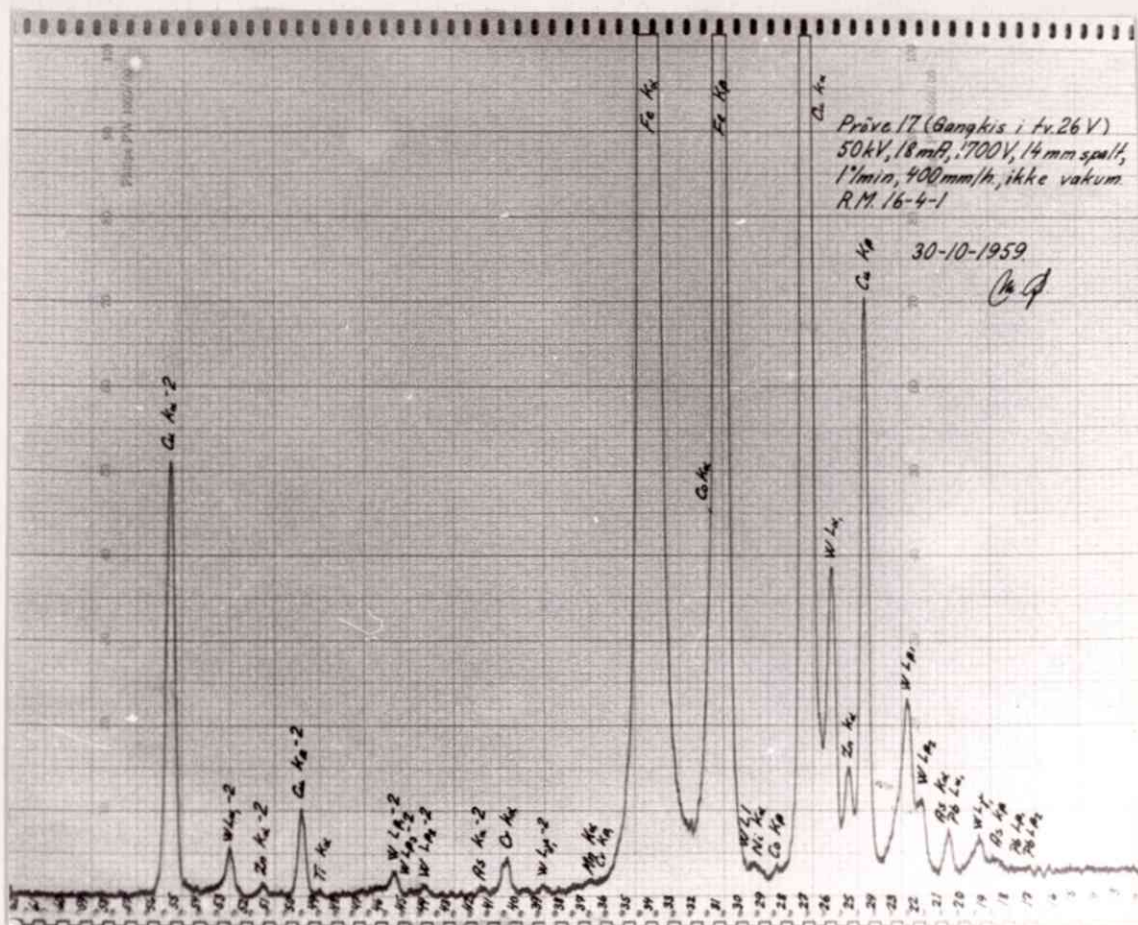
Forutsetningen for at det jeg her har nevnt skal gjelde er at matrissen er den samme. Det vil si at hovedmengden av

analysen er gjengitt nedenfor:

Cu - 2,14 %	Uløst - 12,44 %
Zn - 1,74 %	SiO ₂ - 11,22 %
Pb - 0,07 %	S(total) - 40,31 %
Co - 0,06 %	SO ₃ (v.l.) - 1,07 %
Ni - 0,008 %	Fe(total) - 37,80 %
As - 0,038 %	Al ₂ O ₃ - 1,15 %
Se - 0,0058 %	CaO(total)- 0,54 %
	MgO - 0,88 %

Ikke alle elementene her er analysert på optisk spektrograf, da det er enkelte elementer som man meget vanskelig klarer her.

Nedenfor tar jeg med kopi av et spektrogram av en gangkis-analyse kjørt uten vakum.



Røntgenspektrogram av gangkis fra tv. 26 V, nivå 430.

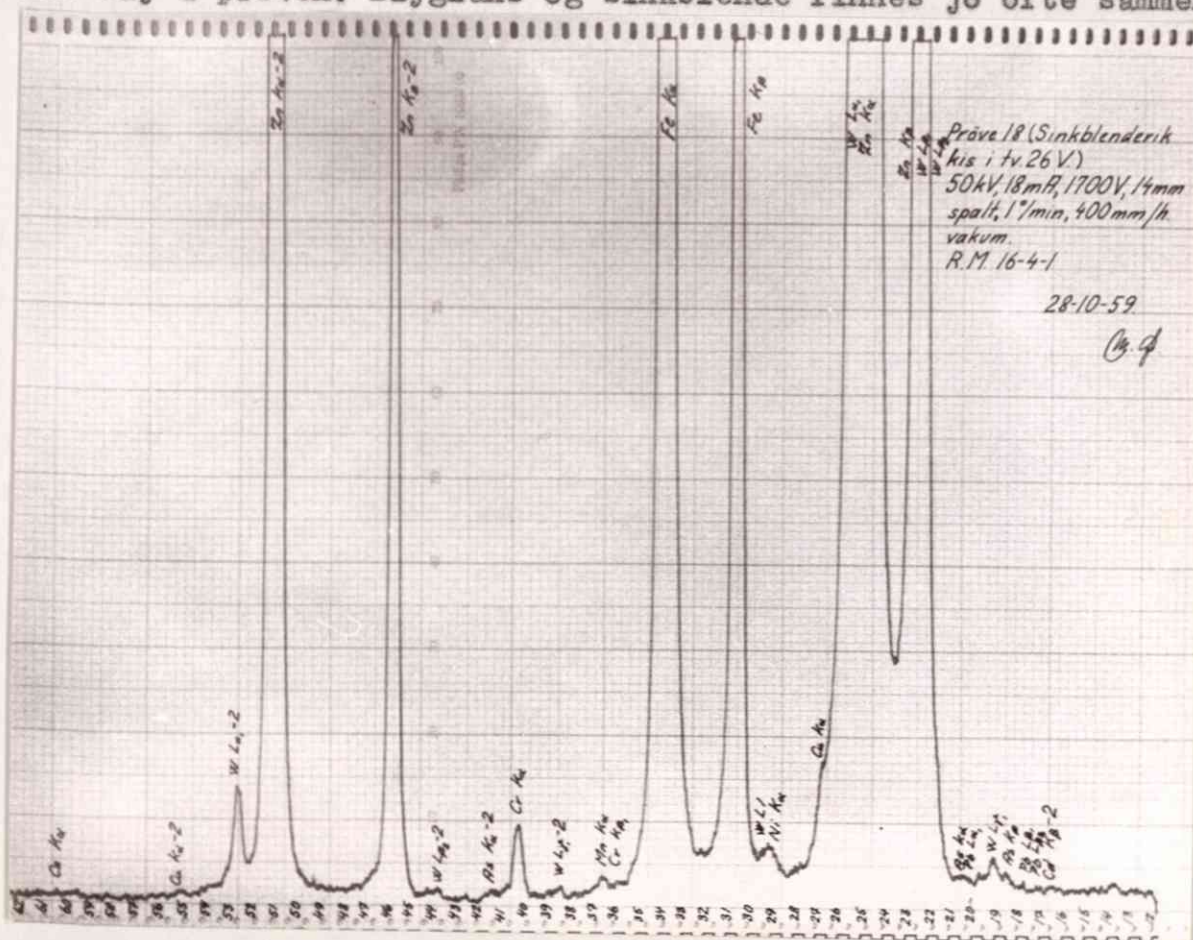
Samme analyse har jeg også kjørt i vakum for å se hvor

stor forskjell det kan utgjøre på de forskjellige utslag. Jeg har ikke laget kopi av dette spektrogrammet. For å illustrere hvor mye det kan utgjøre, setter jeg opp nedenstående tabell, hvor en del utslag er oppsatt både i og uten vakum.

Linje	Utslag i vakum	Utslag i luft	Kvotient
W $L_{\beta 1}$	27	23	1,18
Zn K_{α}	19	15	1,27
W $L_{\alpha 1}$	48	38,5	1,25
Cu K_{β}	83	70	1,19
Cu $K_{\alpha -2}$	63	51	1,24

Som man ser blir ikke alle strålene like sterkt absorbert i luft.

Nedenfor tar jeg med et kopi av et spektrogram av en analyse som jeg har tatt av en sinkblenderik kis. Grunnen til at jeg tar med denne er blant annet for å se om det kan være noe bly i prøven. Blyglans og sinkblende finnes jo ofte sammen.

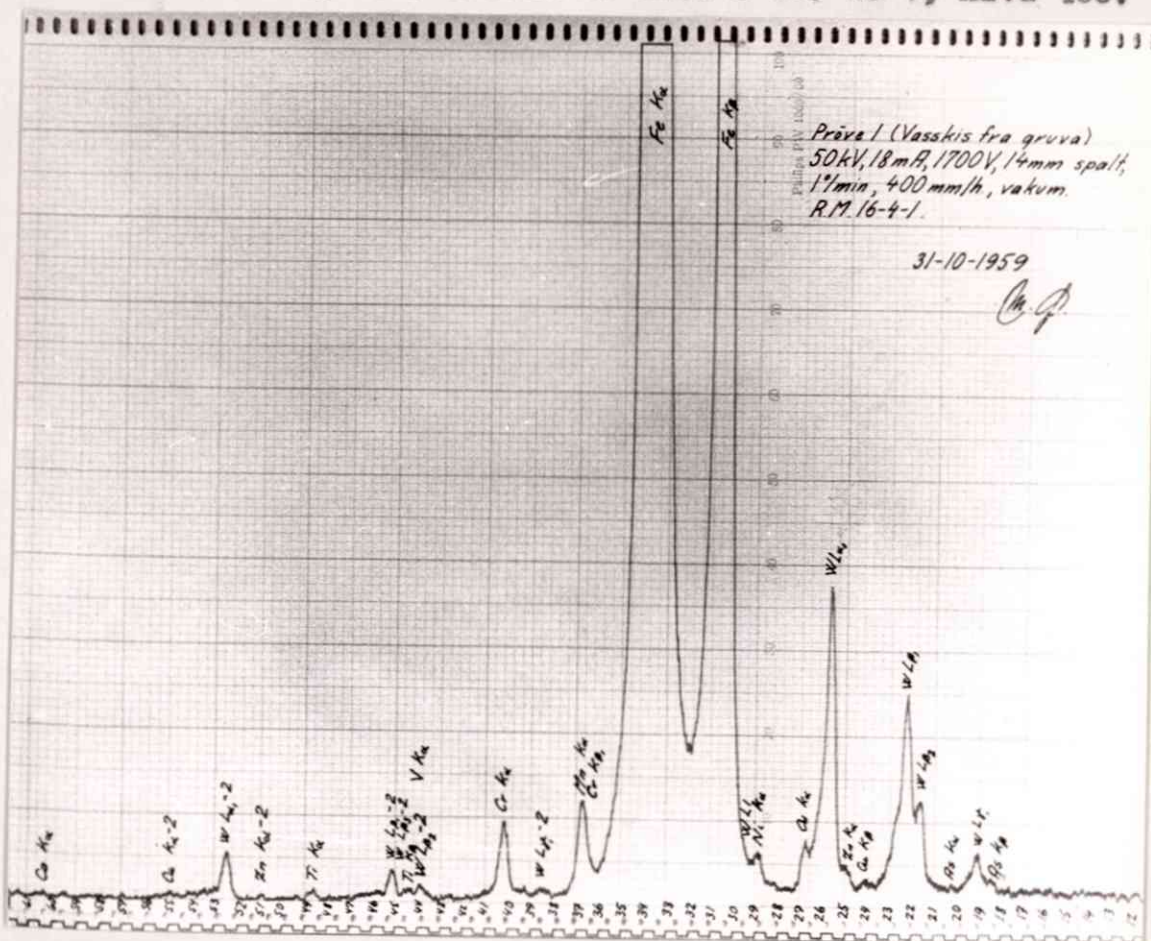


Røntgenspektrogram av sinkblenderik kis i tv. 26 V, nivå 430.

Spektrogrammet viser at innholdet av bly i prøven er tilnærmet lik null. Det er derfor ikke noen grunn til å anta at det ubetydelige innholdet av bly i Løkkenkisen er anriket på de sinkblenderikeste partiene.

Før jeg gjør noen beregninger over innholdet av de forskjellige elementer i analysene, skal jeg ta med en del vasskisanalyser som jeg også har utført. Jeg har her kjørt ganske mange analyser, og mange av spektrogrammene fra disse er også kopiert.

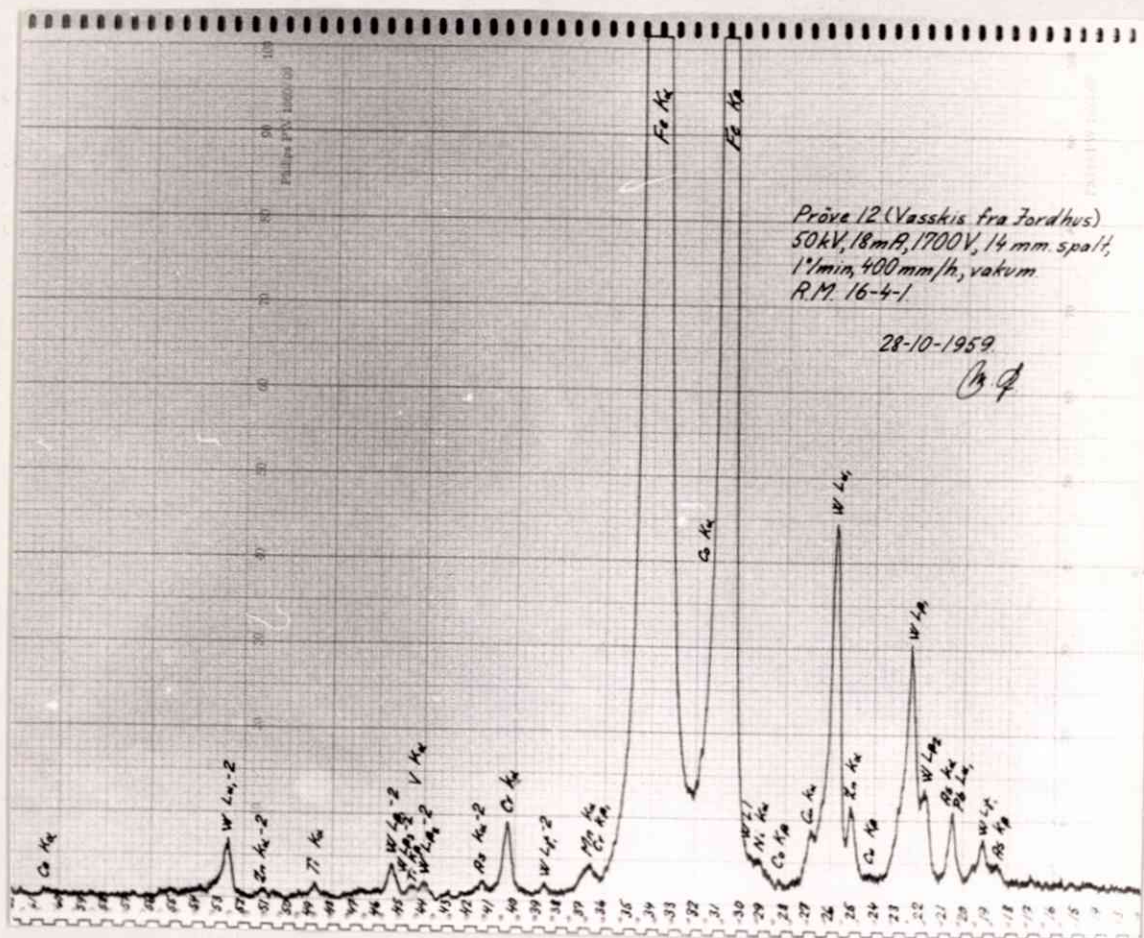
Nedenfor tar jeg med spektrogram av en vasskisanalyse av en vasskis fra gruva. Prøven er tatt i tv. 26 V, nivå 430.



Røntgenspektrogram av vasskis fra gruva.

Hvis man sammenlikner dette spektrogrammet med et av en gangkis(s. 79), så ser man med en gang at elementfordelingen er forskjellig. Særlig når det gjelder Cu og Zn er det stor forskjell. Øverst på neste side har jeg med et spektrogram

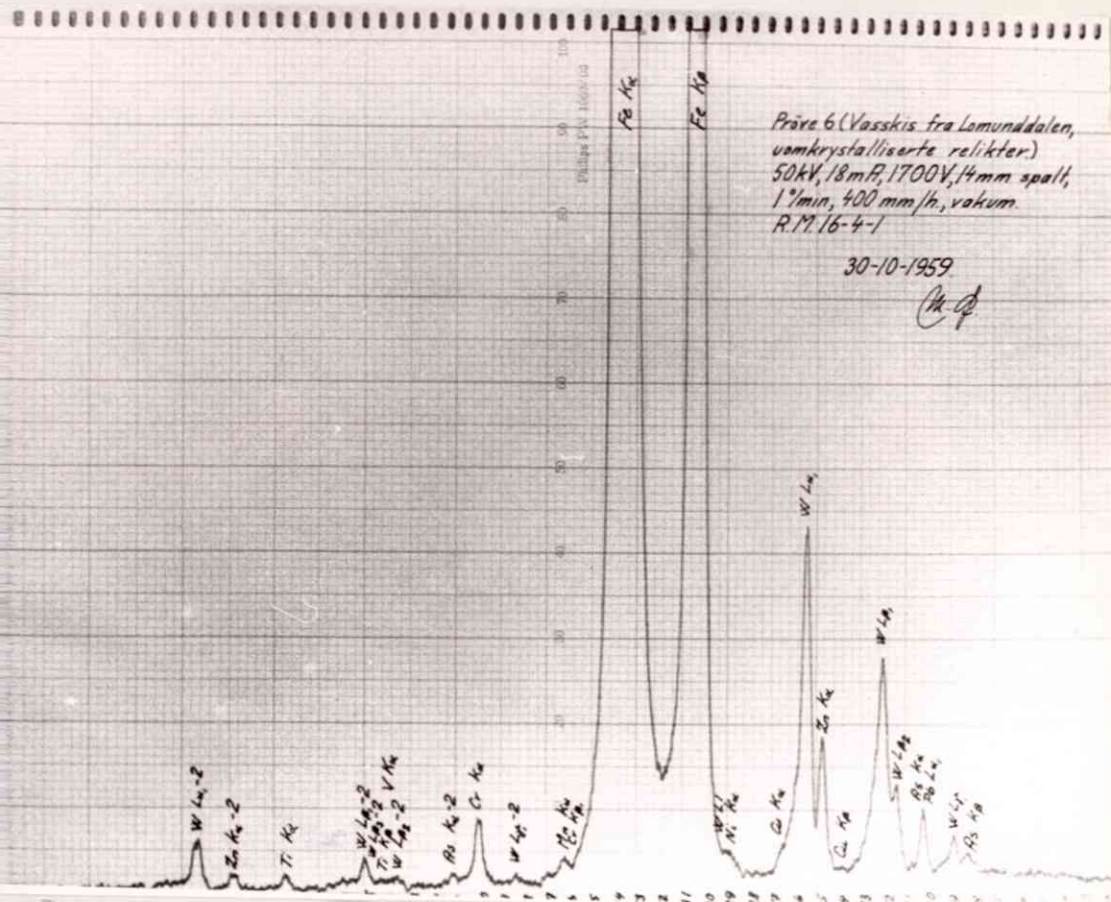
av en vasskisanalyse av en vasskis fra Jordhus.



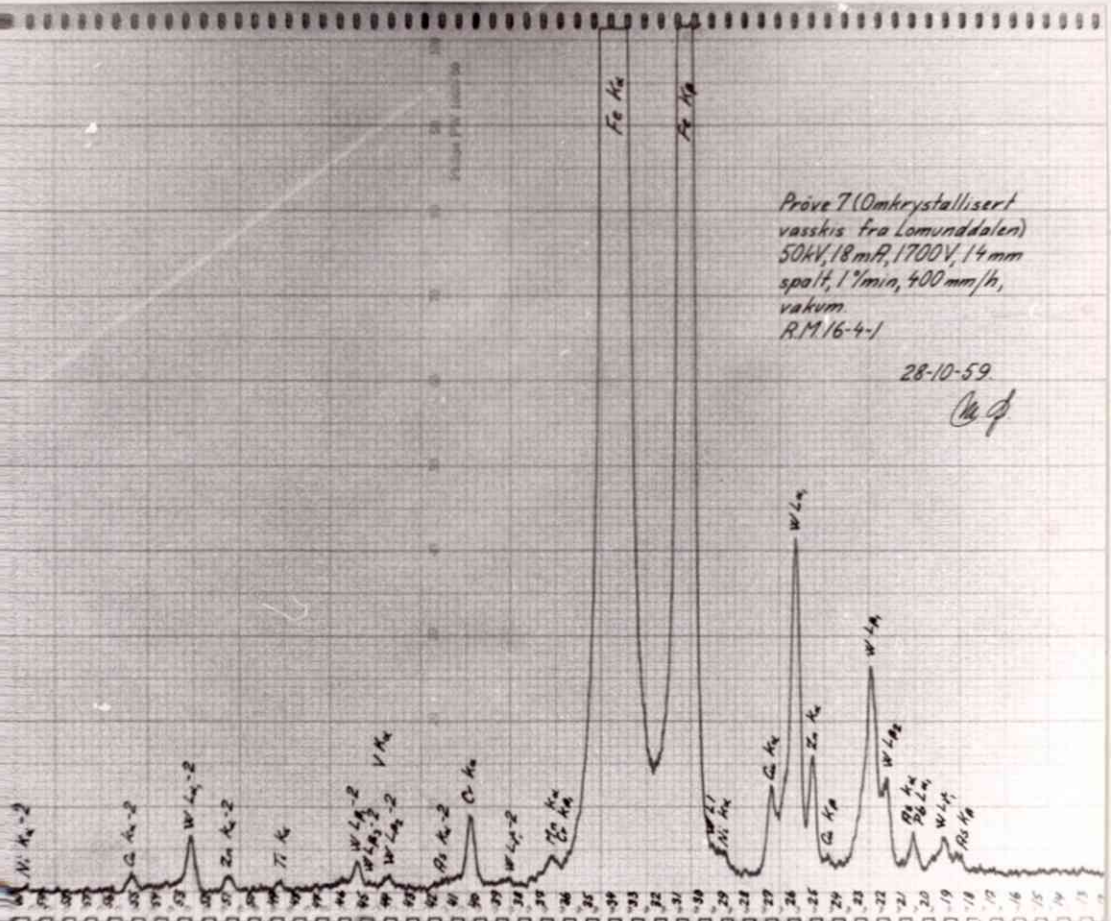
Røntgenspektrogram av vasskis fra Jordhus.

Dette spektrogrammet likner ganske mye på det som er gjengitt på foregående side. Men ser man nøyer på spektrogrammet vil man se at det er enkelte elementer som opptrer i forskjellig mengde i de to. F. eks ser man at Jordhuskisen fører mere Zn og As, og mindre Mn enn vasskisen fra gruva.

På side 31 har jeg beskrevet en vasskis fra Lomunddalen som har en struktur som nærmest minner om en breksje (se foto på samme side). For å finne ut om det kan være noen forskjell i kjemisk sammensetning på grunnmassen og "bruddstykkene", har jeg separert ut så ren kis som mulig fra de to og kjørt på røntgenspektrografen. Jeg har tatt kopi av begge disse spektrogrammene. Øverst på neste side er gjengitt spektrogrammet av kisen i "bruddstykkene"(uomkrystalliserte relikter), og nederst spektrogram av kisen i grunnmassen.



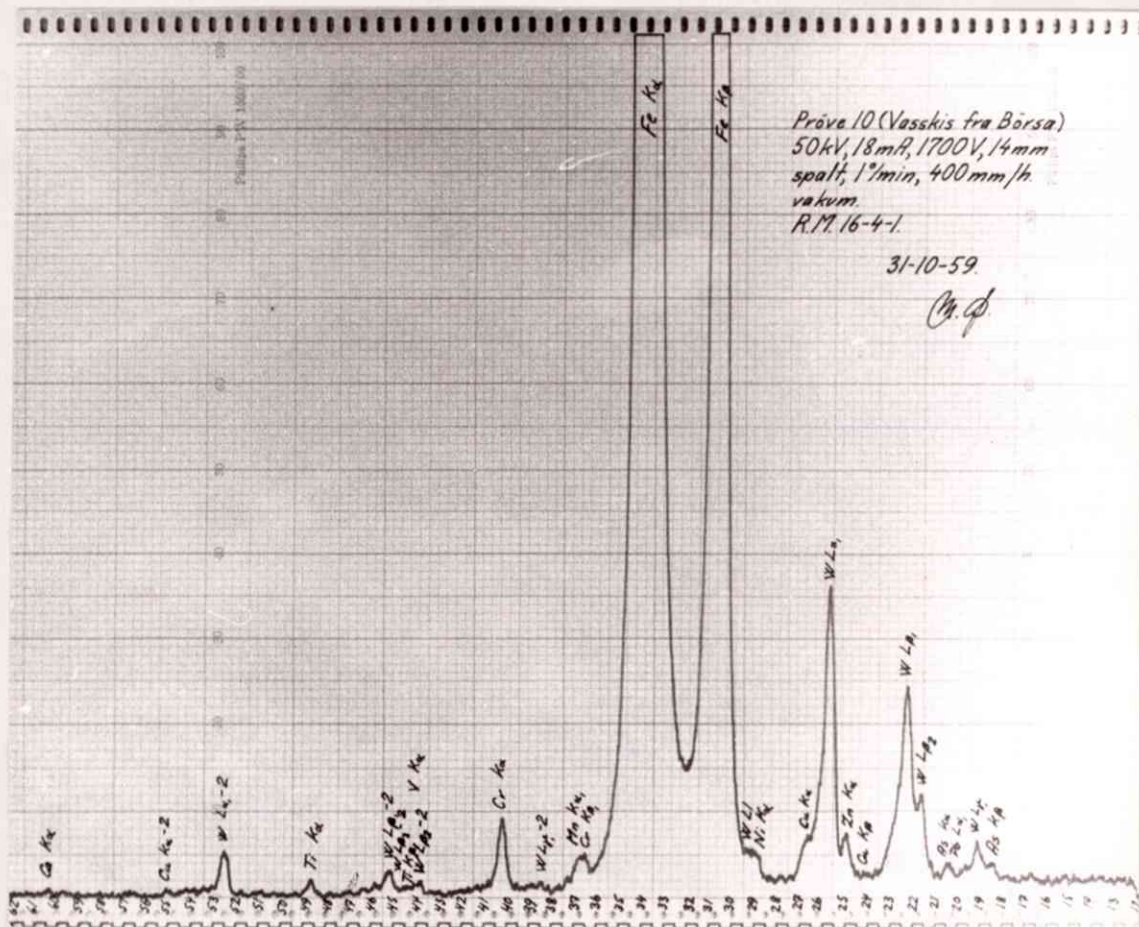
atgenspektrogram av vasskis fra Lomunddalen(omkryst. relikter).



atgenspektrogram av vasskis fra Lomunddalen(omkrystalliseret).

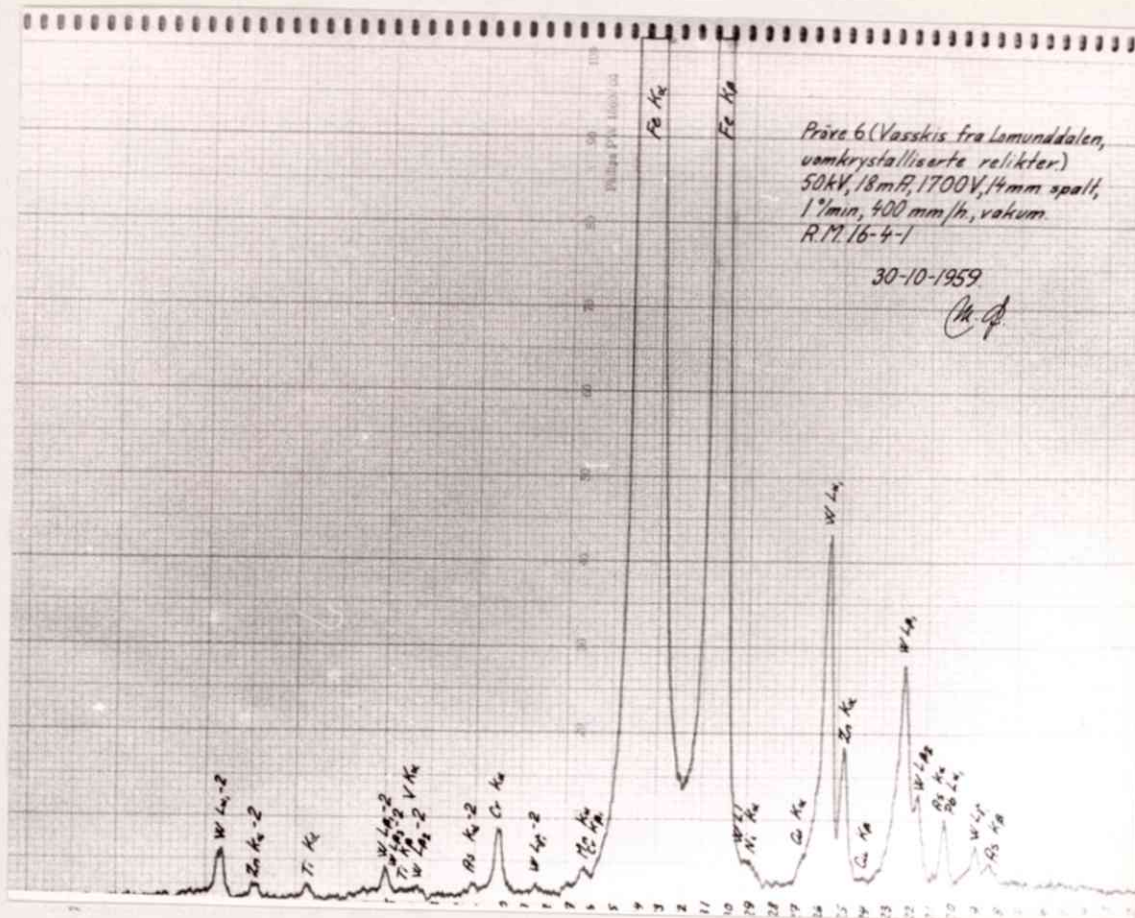
Som det fremgår av spektrogrammene på foregående side er det en del forskjell på elementfordelingen i de to prøvene. Blant annet inneholder den omkrystalliserte grunnmassen noe mere Cu enn de uomkrystalliserte reliktenene. Dette kan tyde på at det har vært en sirkulasjon av kobberholdige oppløsninger under metamorfosen. Med hensyn til Zn er det ubetydelig mere i de uomkrystalliserte reliktenene. Disse inneholder også litt mere As. Grunnmassen inneholder litt Ca som skyldes at kisen ikke er helt ren, men inneholder litt bergart.

Nedenfor har jeg også tatt med et spektrogram av en vasskis fra Børse.

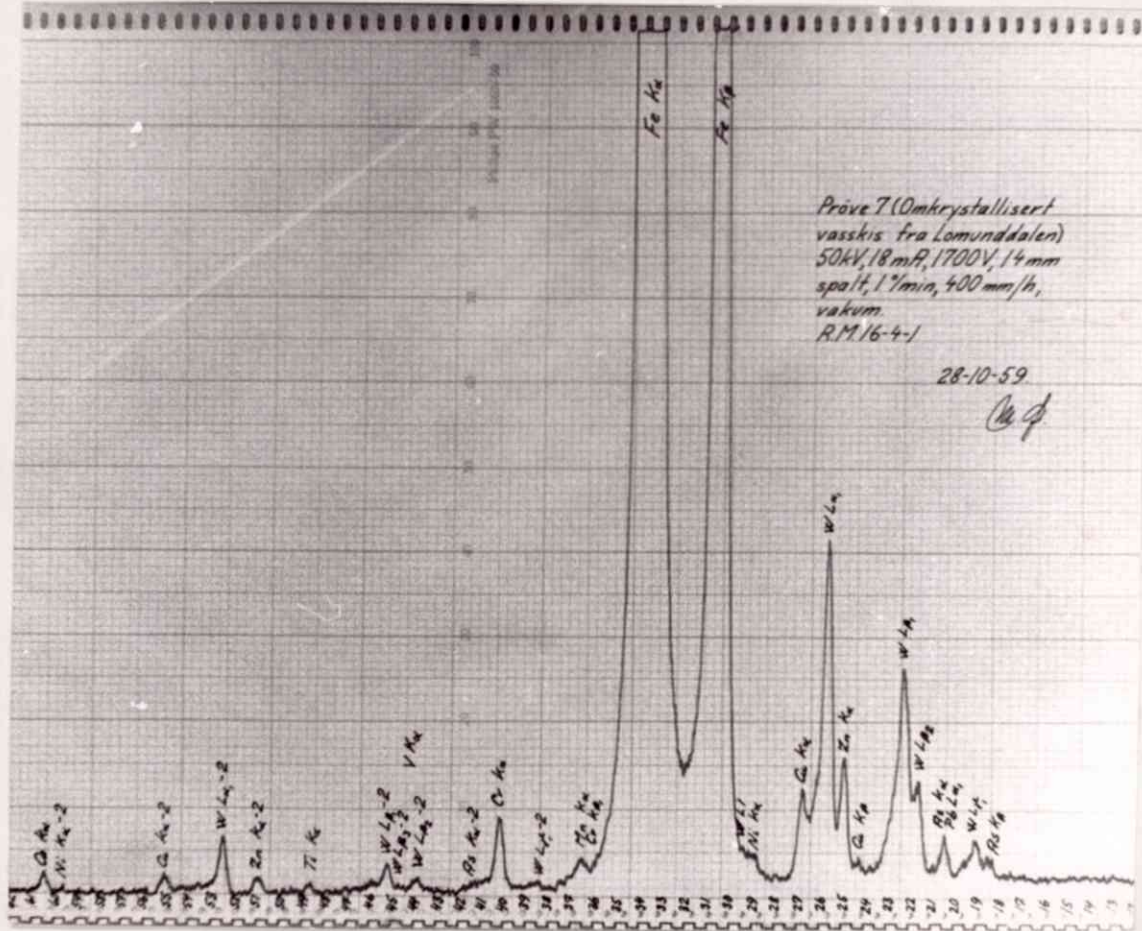


Røntgenspektrogram av vasskis fra Børse.

Som man ser av spektrogrammet viser også denne prøven typisk vasskissammensetning, med lavt innhold av bl.a. Cu og Zn. Også her finnes litt Ca som stammer fra innblanding av bergartsmineraler.

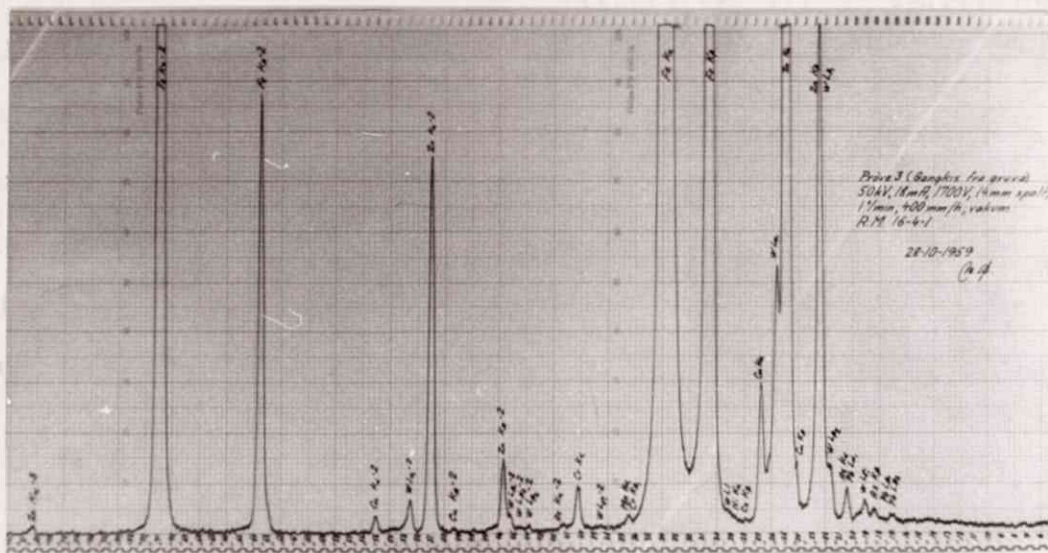


Røntgenspektrogram av vasskis fra Lomunddalen(uomkryst. relikter).

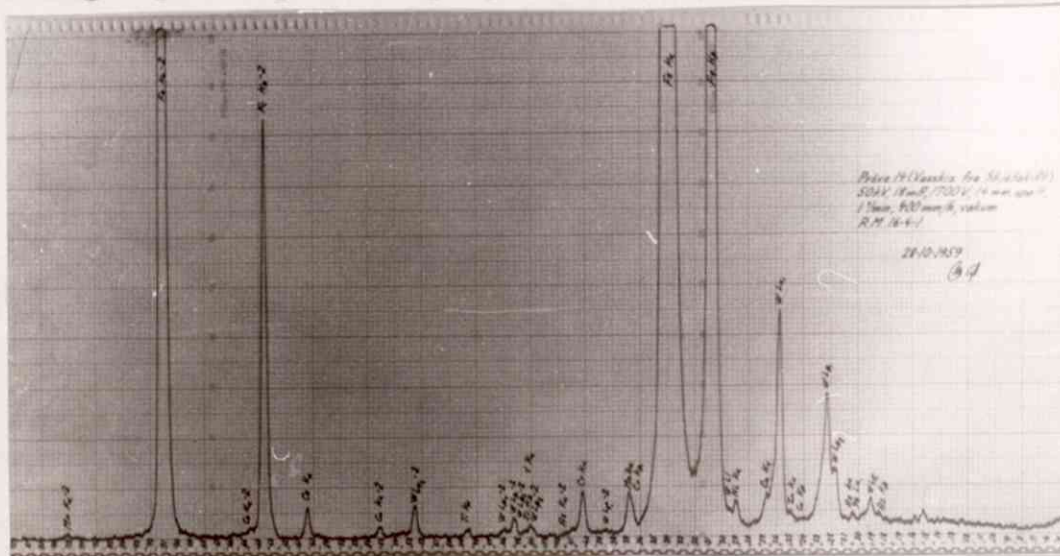


Røntgenspektrogram av vasskis fra Lomunddalen(omkrystalliseret).

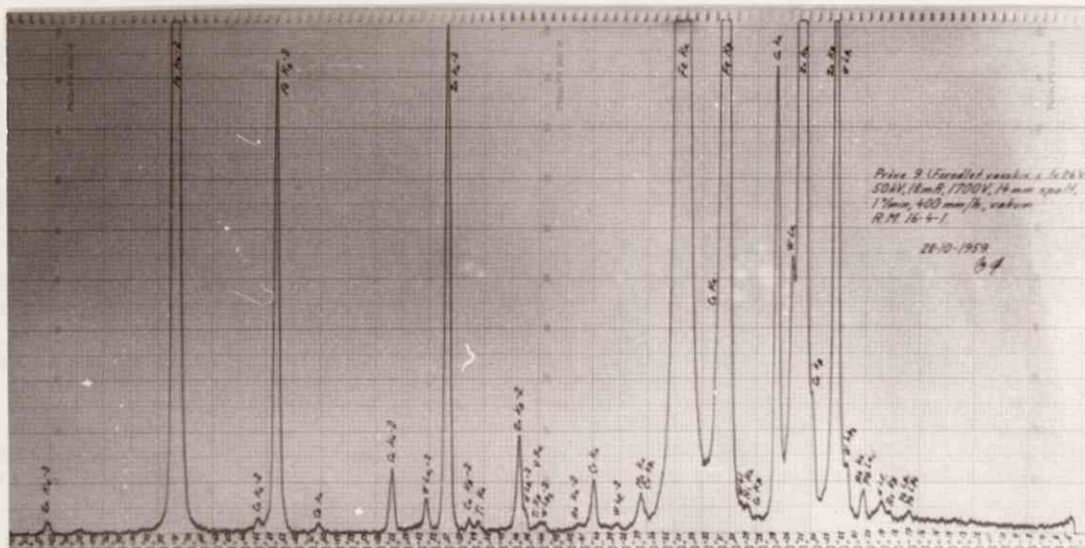
Som nevnt har jeg kjørt en del analyser over et større vinkelområde. Tre spektrogrammer fra disse vises nedenfor.



Röntgenspektrogram av gangkis fra tv. 26 V, nivå 430.



Røntgenspektrogram av vasskis fra Skjøtskift.



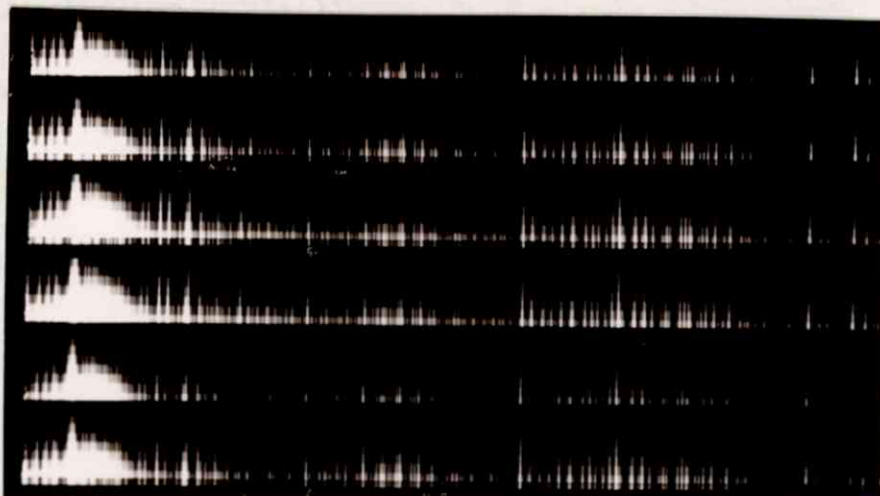
Röntgenspektrogram av "foredlet vasskis" i tv. 26 V, nivå 430.

Vinkelområdet for de tre analysene på foregående side er ca. 5° - 83° . Som man ser fremkommer det ikke noen nye elementer. Fe K_{α} og K_{β} kommer igjen i 2-orden. Det samme gjør Mn K_{α} og Co K_{α} . Dessuten kommer Zn K_{α} igjen i 3-orden. Da Co K_{α} i 1-orden dekkes over av Fe K_{β} i 1-orden, hadde det her vært en fordel å kjøre forbi Co K_{α} -2 ($2\theta=64,77^{\circ}$). For å slippe å kjøre så langt, men samtidig få med Co, har jeg stilt detektoren på $64,77^{\circ}$ og brukt telleverket.

For å få en oversikt over mengden av de forskjellige elementer i de to kistypene, har jeg fått analysert en vasskis og en gangkis(?) på optisk spektrograf. Vasskisen er tatt fra Jordhus(prøve nr. 12). Samme prøve har jeg også kjørt på røntgenspektrograf (s. 83). Gangkisen har jeg satt et spørsmålsteget etter, da den i hvert fall ikke har den vanlige gangkissammensetning. Prøven (nr. 3) er tatt i tv. 26 V, nivå 430 m. Av røntgenspektrogrammet av samme prøve (øverst på side 86) ser man at f.eks. Cu-innholdet er meget lavt. Prøven ble tatt omlag ved hengkommunikasjonsorten, så man skulle tro at man var langt fra den "foredlete vasskisen" som opptrer på hengen av kisen i dette tverrslaget. Av røntgenspektrogrammet av "foredlet vasskis" nederst på side 86 ser man at denne har høyere Cu-innhold enn denne som jeg har kalt gangkis. Jeg har en svak mistanke om at prøve 3 også er en slags foredlet vasskis, selv om man ikke kunne se noen bånding i denne kisen.

Analysene jeg har fått tatt på optisk spektrograf er bare halvkvantitative, men de gir et godt bilde av størrelsesordenen av de forskjellige elementer. For å få analysene helkvantitativt måtte man ha fotometrert linjene som fremkommer på platen. Elementenes optiske spektre består, i motsetning til røntgenspektrene, av en hel rekke linjer. På neste side har

jeg med et kontaktkopi av en del av platen for å vise linjetettheten.



Optiske spektrogram av vasskis og gangkis(?).

Prøvene ble blandet henholdsvis med 2 deler kull og SrCO_3 1:1 + 2 deler kull, og kjørt på kvartsspektrografen. I området som ble anvendt (ca. 2450-3600 Å) har de fleste metallene sine sterkeste linjer. Et unntak er Cr som har sin sterkeste linje på 4250 Å, og som jeg derfor ikke har noen analyse på. Resultatene av analysene vises nedenfor. x angir et tall fra 1 til 9.

<u>Vasskis (prøve 12)</u>	<u>Gangkis(?) (prøve 3)</u>	<u>Merknader</u>
0,001 - 0,003 % Co	≤ 0,001 % Co	
0,01 - 0,03 % Ni	0,001 - 0,005 % Ni	
0,1 - 0,3 % Ti	< 0,01 % Ti	
0,02 - 0,05 % Cu	0,1 - 0,3 % Cu	
x/100 % V	x/100 % V	Ingen vesentl. forskjell på prøvene.
x/1000 % Mo	x/1000 % Mo	- " -
x/100 % Mn	x/1000 % Mn	Ca. 4 ganger så mye i vasskis.
x/100 % Pb	x/100 % Pb	Ca. dobbelt så mye i gangkis.
< 0,001 % Ag	0,001 - 0,005 % Ag	
< 0,1 % Zn	1 - 3 % Zn	

Som man ser her er både innholdet av Cu og Co for lite til at det kan sies å være en vanlig gangkis av Løkkentype.

Jeg skal nå gå over til å gi en mere detaljert geokjemisk karakteristikk av de to kistypene gangkis og vasskis. Dette vil bli gjort både på grunnlag av egne undersøkelser og undersøkelser utført tidligere. Jeg vil da behandle hvert enkelt element for seg.

1. Fe.

Som det fremgår av både røntgenspektrogrammene og av kjemiske analyser, er innholdet av dette element meget stort i begge kistypene. Da vasskisene ofte består av en god del Fe_{1-x}S , vil jerninnholdet i vasskisene som regel være større enn i gangkisen, som for det meste består av FeS_2 .

Middel av 22 generalanalyser fra Løkken viser et jerninnhold på ca. 37 % i gangkisen.

Fe i vasskisene kan variere sterkt etter mengdeforholdet $\text{Fe}_{1-x}\text{S}/\text{FeS}_2$. Med hensyn til Fe i magnetkisene i Løkkenfeltet, vil jeg henvise til mine røntgenundersøkelser på sidene 41-51. Disse viser et innhold på 46-47 mol-% Fe.

Da man i vasskisene kan ha alle overganger fra ren magnetkis til ren svovelkis, er det selvfølgelig umulig å anslå noen fast Fe-prosent. Men den kan i hvert fall alltid (vel å merke hvis kisen er ren og ikke forurensset med bergart) angis å være høyere enn i gangkis (Løkkenkisen). Teoretisk kan den ligge i området 46,6-59,9 % Fe (ren FeS_2 - Fe_6S_7). Magnetkiser med mere jern enn Fe_6S_7 tror jeg ikke det finnes i vasskisene, da disse betinger en temmelig høy dannelses-temperatur.

2. S.

På røntgenspektrogrammene er S ikke med. For det første er innholdet av S meget stort, og for det andre ligger 2 θ for S K_α på hele $106,94^\circ$, så det ville ikke være noen hemsikt

å kjøre analysene så langt. Middel av 22 generalanalyser fra Løkken viser et S-innhold i gangkisen på knapt 42 %. I vasskisene er S-innholdet atskillig lavere. I praksis kan det settes fra 20-30 %. Hvis man hadde separert ut ren kis ville selvfølgelig S-innholdet ha blitt større.

3. Cu.

Som jeg har nevnt tidligere er Cu et typisk element for gangkisen, mens vasskisene er meget fattige på Cu. Min analyse av eksportkis fra Løkken (s. 80) viser et Cu-innhold på 2,14 %. Røntgenspektrogrammet av en gangkis (s. 80) tatt fra tv. 26 V, nivå 430, viser et Cu-innhold på ca. 4,3 %. Dette er høyere enn vanlig i Løkkenkisen. Middeltall av 22 generalanalyser viser 2,3 % Cu.

Med hensyn til Cu-innhold i vasskisene, viser mine røntgenanalyser under 0,1 %. Den optiske analyse av en vasskis fra Jordhus (s. 88) angir Cu-innholdet til 0,02-0,05 %. Denne analyse stemmer godt overens med en mengde Cu-analyser som jeg har samlet fra vasskiser. Cu-innholdet ligger hyppig i dette området, men kan også være litt høyere. Jeg vil angi Cu-innholdet i vasskisene til 0,00-0,1 %.

4. Zn.

Zn er også et element som er typisk for gangkisen. Min analyse av eksportkis fra Løkken (s. 80) viser 1,74 % Zn. Middeltall av 22 generalanalyser gir et Zn-innhold på 1,9 %. De vasskisene jeg har kjørt på røntgenspektrograf viser alle et innhold på under 0,1 % Zn, bortsett fra to prøver fra Lomunddalen (røntgenspektrogrammer s. 84) som viser $\leq 0,1$ % Zn. Innholdet av Zn ser imidlertid ikke ut for å ligge mye under 0,1 % i noen av vasskisene. Prøve 12 (vasskis fra Jordhus) som ble analysert på optisk spektrograf viser under

0,1 % Zn. Analyser viser at innholdet av Zn i vasskisene kan være en del høyere enn det jeg har angitt her. Som verdi kan settes $\leq 0,25$ % Zn.

5. Pb.

Analysen s. 80 viser et Pb-innhold i gangkis på 0,07 %. Da As $K_{\alpha-1}$ og Pb $L_{\alpha-1}$ nesten helt dekker hverandre, blir disse elementene vanskelige å bestemme på røntgenspektrografen. I 19 av de 22 generalanalysene er Pb angitt som spor, og i 3 analyser til 0,06, 0,02 og 0,02 %. Den optiske spektralanalyse s. 88 viser også at det er noen hundredels % Pb i gangkis. I alle tilfelle er Pb-gehalten svært liten, og overstiger sjelden 0,05 %. I vasskisene er Pb-gehalten mindre enn i gangkis. Analyser angir innholdet som regel til 0 % eller spor. Analysen av vasskis fra Jordhus viser at det minst er 0,01 % Pb i denne vasskisen.

6. Co.

Da Co $K_{\alpha-1}$ som før nevnt overdekkes av Fe K_{β} , har jeg måttet bruke den svakere linjen Co $K_{\alpha-2}$, for å få bestemt Co-innholdet. Jeg har her brukt det automatiske telleverket i stedet for å få skrevet ned intensiteten. Prøve 17 (av gangkis) gav praktisk talt samme Co-innhold som eksportkisen fra Løkken, altså 0,06 % Co. Middeltallet av de 22 generalanalysene er 0,066 % Co.

Co-innholdet i vasskisene er for lavt til at det kan bestemmes skikkelig ved røntgenspektrografen. Den optiske spektralanalyse av vasskis fra Jordhus viser 0,001-0,003 % Co. Som øvre grense for Co-innholdet i vasskis kan angis 0,01 %.

7. Ni.

I motsetning til Co er innholdet av Ni større i vasskisene enn i gangkis. Middel av 17 generalanalyser av gangkis viser

0,0026 % Ni. Min optiske spektralanalyse av gangkis viser 0,001-0,005 % Ni. Analysen av vasskis viser 0,01-0,03 % Ni, som er en typisk verdi for vasskis.

8. Mn.

De optiske spektralanalyser på side 88 angir et Mn-innhold på noen hundredels prosent i vasskis og noen tusendels prosent i gangkis. Mn-innholdet i vasskisen er her ca. 4 ganger så stort som i gangkisen. Vasskisene viser alltid et høyere Mn-innhold enn gangkisen. Analyser fra Løkken viser et gjennomsnittlig Mn-innhold på 0,07 % i gangkis. På vasskis finnes det noe knapt med Mn-analyser, men som regel blir angitt >0,1 % Mn.

9. As.

As-innholdet er som regel noe større i vasskis enn i gangkis. Middel av 22 generalanalyser viser et As-innhold i gangkisen på 0,048 %. Vasskisene viser som oftest 0,07-0,08 % As. C.W. Carstens angir >0,05 % As i vasskis og <0,05 % As i gangkis.

10. Se.

Se er nok det element som man kanskje sikrest kan skille en gangkis og en vasskis på. Gangkisen holder bestandig en del Se, mens vasskisene derimot i alminnelighet viser 0 % Se. Enkelte ganger kan vasskisene holde spor av Se, d.v.s. $\leq 0,0001$ % Se. Se inngår isomorft som erstatning for S. Det ser ut som Se alltid følger Cu, da Se-gehalten øker prop. med Cu-gehalten. Middel av 22 generalanalyser viser et Se-innhold i Løkkenkisen på 0,0054 %.

11. Ti.

Etter røntgenspektrogrammene å dømme er innholdet av Ti

meget lite i begge kistypene. Innholdet ser ut til å være noe mere i vasskis. Carstens angir Ti-innholdet i gangkisen til null og som spor i vasskis. Dette ser ikke ut til å stemme helt med mine undersøkelser. Vasskisen fra Jordhus (prøve nr. 12) viser et Ti-innhold på 0,1-0,3 %. Altså ikke så rent lite. Gangkisen (prøve nr. 3) holder $<0,01\%$ Ti.

12. V.

V-innholdet ser også ut til å være litt høyere i vasskis enn i gangkis. De optiske spektralanalyser viser noen hundredels prosent V i begge kistyper. Grunnen til det ofte noe høyere innhold av Ti og V i vasskis enn i gangkis, mener Carstens skyldes at vasskisene som regel fører en del magnetitt. Analysert på ren gangkis og ren vasskis, er det ikke sikkert det ville bli noen forskjell i innhold av disse to elementer.

13. Mo.

Mo-innholdet i vasskis og i gangkis ser ut til å være noenlunde likt. Dette stemmer både med analyser jeg har fått utført og tidligere analyser. Innholdet kan i begge kistyper angis til noen tusendels prosent Mo.

14. Cd.

Innholdet av Cd ser også ut til å være noenlunde likt i de to kistypene, og lik ca. $0,01\%$. Da Cd ofte inngår i sinkblendegitteret, er det nok mulig at det er en tendens til høyere Cd-innhold i gangkis enn i vasskis, men dette har jeg ikke kunnet påvise.

15. Ag.

Gangkisen fører alltid mere Ag enn vasskisen. Middeltall av 22 generalanalyser fra Løkken viser 18 g/tonn i gangkis.

Vasskisene holder gjennomsnittlig ca. 7 g Ag/tonn.

16. Au.

Innholdet av Au ser ut til å være noenlunde likt i de to kistypene, og lik ca. 0,2 g/tonn i gjennomsnitt.

17. C.

Innholdet av rent kullstoff er lik 0 i gangkis, mens vasskisene ofte kan føre en god del C i form av grafitt. C.W. Carstens angir $>0,2\%$ C som gjennomsnittstall for vasskis.

18. P.

P-innholdet ser ut til å være noe høyere i vasskis enn i gangkis. Tidligere analyser angir $>0,02\%$ P i vasskis og $<0,02\%$ P i gangkis.

19. Sn.

Sn er også et element som gir utslag ved spektrografiske analyser. Linjene er imidlertid meget svake, så mengden kan bare angis som spor.

Andre elementer enn de som her er nevnt opptrer i så liten mengde i ren kis, at de meget vanskelig eller umulig kan påvises.

En av vasskisene jeg kjørte på røntgenspektrograf (Nr. 14 Vasskis fra Skjøtskift) viste et betydelig innhold av Sr. Se røntgenspektrogrammet side 86. Utslaget ligger på $2\theta = 15,09^\circ$ (Sr $K_{\alpha-1}$). For å være helt sikker på at det virkelig var Sr, fikk jeg tatt en kvalitativ analyse på optisk spektrograf. Denne viste også Sr. Forklaringen på det høye Sr-innholdet mener jeg nå å ha funnet. Vasskisen fra Skjøtskift inneholdt en del jaspis og derfra tror jeg Sr-innholdet stammer. Jaspis dannes som kjent av radiolarier

og disse innholder Sr. På side 479 i "Geochemistry" av Rankama og Sahama står det om dette: "The skeleton of a radiolarian consists entirely or almost entirely of strontium sulfate". Dette skulle være enda et bevis på at jaspis dannes av radiolarier.

Som man kan se av røntgenspektrogrammene viser de fleste analysene litt innhold av Ca. Dette kommer fra bergarts-mineraler, hos gangkisen vesentlig fra kalkspat.

Undersøkelsene viser at det i geokjemisk henseende er meget stor forskjell på de to kistypene. En kjemisk analyse vil således fort kunne avgjøre hvilken kistype man har.

X

Litteraturfortegnelse.

- Abelson, Philip Hauge. Researches in Geochemistry. 1959.
- Brøndbo, Knut. Geologisk og petrografisk beskrivelse av
Høidal gruve. Diplomarbeide.
- Bragg, W.L. The conversion factor for kX-units to Ångström.
American Mineralogist, vol. 32, p. 592.
- Bugge, Carl. Kartbladet Rennebu. N.G.U. nr. 56.
- Bunn, C.W. Chemical Crystallography.
- Carstens, C.W. Geologiske undersøkelser i Trondhjems omegn,
N.G.U. nr. 83.
- " Løkkenfeltets geologi. N.G.T. vol. 29, pp. 9-25.
- " Der unterordovicische Vulkanhorizont in dem Trondhjem-
gebiet. N.G.T. bd. 7, 1923.
- " Die Kiesvorkommen in dem Porsangergebiet. N.G.T. bd. 12.
- " Zur Frage der Genesis der norwegischen Kiesvorkommen.
Zeitschrift f. prakt. Geologie, 1932, S. 97-99.
- " Zur Genesis der Kiesvorkommen des Trondhjemgebiets. Det
kgl. norske Videnskabers Selsk. Skrifter, 1935.
- " Zur Frage der Metamorphose der Schwefelkieserze. Det kgl.
norske Videnskabers Selsk. Forh. Bd. 14, S. 9-12, 1941.
- " Oversigt over Trondhjemsfeltets bergbygning.
- " Zur Geochemie einiger norwegischen Kiesvorkommen. Det
kgl. norske Videnskabers Selsk. Forh. Bd. 14, S. 36-39, 1941.
- " Om geokjemiske undersøkelser av malmer. N.G.T. vol. 21,
pp. 213-221.
- " Ein neuer Beitrag zur geochemischen Charakteristik
norwegischer Schwefelkieserze. Det kgl. norske Videnskab-
ers Selsk. Forh. Bd. 15, S. 1-4, 1942.
- " Forelesninger i malmgeologi ved Oslo universitet,
vinteren 1947-1948.

- Carstens, C.W. Über kupferhaltige Kiesvorkommen des Leksdalstypus. Det kgl. norske Videnskabers Selsk. Forh. Bd. 15, S. 161-164, 1942.
- " Über sedimentäre Schwefelkiesvorkommen. Det kgl. norske Videnskabers Selsk. Forh. Bd. 14, S. 120-123, 1941.
- " Über den Co-Ni-Gehalt norwegischer Schwefelkiesvorkommen. Det kgl. norske Videnskabers Selsk. Forh. Bd. 15, S. 165-168, 1942.
- " Rapport over malmletningsarbeider i Løkkenfeltet 1934-1939.
- Czamanske, Gerald K. Sulfide Solubility in Aqueous Solutions. Economic Geology, vol. 54, nr. 1, 1959.
- Grønvold, F og Haraldsen, H. On the Phase Relations of Synthetic and Natural Pyrrhotites (Fe_{1-x}S). Acta Chemica Scandinavica, nr. 6, 1952.
- Guinier, A. X-Ray Crystallographic Technology.
- Hawley, J.E. og Nichol, I. Selenium in some Canadian Sulfides. Economic Geology, vol. 54, nr. 4, 1959.
- Huber, N.K. og Garrels, R.M. Relation of pH and Oxidation Potential to Sedimentary Iron Mineral Formation. Economic Geology, vol. 48, nr. 5, 1953.
- Kullerud, G. The FeS-ZnS System. A Geological Thermometer. N.G.T. vol. 32, pp. 61-147.
- " Utviklingen av apparatur for hydrotermalforskning, N.G.T. vol. 34, pp. 219-237.
- Kullerud, G, Padget, P og Vokes, F.M. The Temperature of Deposition of Sphalerite-bearing Ores in the Caledonides of Northern Norway, N.G.T. vol. 35, pp. 121-127.
- Kullerud, G og Yoder, H.S. Pyrite Stability Relations in the Fe-S System. Economic Geology, vol. 54, nr. 4, 1959.
- Lahee, Frederic H. Field Geology. 5 ed. 1952.

- Landergren, S. On the Geochemistry of Swedish Iron Ores and associated Rocks. S.G.U. ser. C, nr. 496, 1948.
- Marmo og Mikkola. On Sulfides of the Sulfide-bearing Schists of Finland. Bull. Comm. Geol. Finl. nr. 156, pp. 1-42, 1951.
- Newhouse, W.H. Some Forms of Iron Sulphide occurring in Coal and other Sedimentary Rocks. The Journal of Geology, vol. 35, pp. 73-83, 1927.
- Ramdohr. Erzmikroskopie.
- Rankama, K. Isotope Geology.
- Rankama, K og Sahama, Th.G. Geochemistry.
- Schneiderhöhn-Ramdohr. Lehrbuch der Erzmikroskopie.
- Schwartz, W. Die Bakterien des Schwefelkreislaufes und ihre Lebensbedingungen. Freiburger Forschungshefte C 44, 1958.
- Skinner, B.J., Barton, P.B. og Kullerud, G. Effects of FeS on the Unit Cell Edge of Sphalerite, Economic Geology, vol. 54, nr. 6, 1959.
- Strand, T. Rapport om Løkkenfeltets geologi. 1957.
- Sæther, E. Mikroskopering av mineraler og bergarter.
- Thomassen, L. Kjemisk Røntgenspektrografi.
- Vogt, Th. Forelesninger i malmgeologi.
- " Origin of the Injected Pyrite Deposits. N.T.H. avhl. 1935.
- Winchell og Winchell. Elements of opt. Mineralogy.
- Dessuten følgende årlige rapporter fra Geophysical Laboratory, Washington:
- 1955-1956, 1956-1957 og 1957-1958.
- Samt Løkken Verks jubileumsbok:
- "En Norsk Grube Gjennom 300 År".
