

Petrologie en ertsafzettingen in Finland

door Drs. E.J.L. Dietvorst en
Dr. M.A. Zakrzewski
(Instituut voor Aardwetenschappen,
Vrije Universiteit, Amsterdam)

INLEIDING

Het zal de oplettende bezoeker van Scandinavië niet ontgaan dat er grote overeenkomsten bestaan tussen de landschappen van centraal Zweden en Finland. Deze gelijkenis stamt maar voor een deel uit de laatste ijstijd, toen het oppervlak van beide gebieden door het er overheen schuiven de landijs werd gepolijst. De overeenkomsten in geologische geschiedenis zijn een zeker zo belangrijke reden.

PETROLOGIE

De continentale delen van de aardkorst bestaan uit stabiele, aaneengesloten gesteenteblokken van precambrië oudheid (schilden), die doorsneden worden door langgestrekte bewegingszones (gebergtevormende of orogene zones), waarin plooiing en overschuiving optrad (gebergtevorming of orogenese) van de precambrië gesteenten. Het Baltische Schild omvat met een oppervlak van meer dan 500.000 km² het zuidelijk deel van Noorwegen, het Kola Schiereiland (U.S.S.R.) en de grootste delen van Zweden en Finland. Dit schild, dat ook wel eens als het Fennoscandische Schild wordt aangeduid, is de noordelijke begrenzing van een groot Euraziatisch schild waarvan ook het Russische Platform en het Oekraïense Massief deel uitmaken.

Aan de westzijde wordt het Baltische Schild begrensd door een bewegingszone van Caledonische oudheid (650-450 miljoen jaar), waarin de precambrië gesteenten zijn geplooid en gebroken.

Een belangrijk deel van het Baltische Schild bestaat uit oorspronkelijke sedimenten en stollingsgesteenten, die in de loop van de geologische geschiedenis op grote diepte in de aardkorst terecht zijn gekomen. Daar ondergingen ze belangrijke veranderingen ten gevolge van de daar heersende druk en temperatuur (metamorfose) en werden omgevormd tot gneizen en schisten. Hier en daar waren druk en temperatuur zo hoog, dat de gesteenten gedeeltelijk begonnen te smelten (anatexis), waarbij een gesteentesmelt (magma) werd gevormd van meestal granitische samenstelling. De resulterende menggesteenten (migmatieten) bestaan uit een granitisch stollingsgesteente waarin brokstukken en slieren van het opgesmolten gesteente zijn overgebleven, zie foto 1. Het granitische magma kan zich ook in magmakamers verzamelen en in de bovenliggende korst dringen (intrusie) waarbij zich grote gesteentelichamen (plutonen) vormen. De gesteentetypen die volgens de genoemde processen ontstonden zijn nu evenwel aan het aardoppervlak ontsloten, wat betekent dat het bovenliggende gesteentepakket (zeker vele kilometers dik) door erosie moet zijn verwijderd.

Met behulp van radio-actieve tijdmeters kan het tijdstip in de geologische geschiedenis worden vastgesteld waarop de metamorfose plaats vond en de diverse magma's kristalliseerden. De bepaling en toepassing van deze zgn. "radiometrische" ouderdommen is eerder toegelicht in *Gea* (1976), vol. 9, nr. 2, p. 44-50.



foto 1. Een migmatietwand langs de kustweg Oulu - Kemi. (Foto E.G.v. Diggelen)

De twee belangrijkste bouwelementen van het Finse deel van het Baltische Schild (fig.1) zijn de "Svecokareliden" (1700-1900 miljoen jaar oud) die de grootste delen van Zuid- en West-Finland omvatten en de oudere "Pre-svecokareliden" (2600-2800 miljoen jaar) in Midden-Finland en het oostelijk deel van Lapland (fig. 2). Op het Kola Schiereiland (U.S.S.R.) worden gesteenten aangetroffen met nog hogere ouderdom (meer dan 3600 miljoen jaar). Precambrië gesteenten jonger dan de Svecokareliden, de "Post-svecokareliden", worden in Zuid- en Midden-Finland aangetroffen.

Presvecokareliden

Het overgrote deel van de Presvecokarelische gesteenten in Finland bestaat uit hoog metamorfe schisten en gneizen met een granitische tot granodioritische samenstelling, waarin op vele plaatsen migmatieten voorkomen (1b in fig. 2).

Het granulietcomplex in Lapland (1a in fig. 2) bestaat in hoofdzaak uit hyperstheen-houdende stollingsgesteenten (norieten en charnockieten) en gneizen met o.a. sillimaniet, cordieriet en hyperstheen.

Svecokareliden

De Svecokareliden kunnen worden onderverdeeld in een Svecofennische en een Kareelische orogene zone. Tot zo'n twintig jaar geleden veronderstelde men een grotere ouderdom voor de Svecofenniden dan voor de Kareeliden, maar radiometrische bepalingen hebben de gelijke ouderdom van beide orogene gordels aangetoond.

a. Kareliden

De Kareliden vormen een 700 km lange gordel die van Karelië naar het noord-westen loopt tot aan de noordpunt van de Botnische Golf (2 in fig. 2). Ze bestaan voor het belangrijkste deel uit sedimenten die in Oost-Finland zijn afgezet op de Presvecokarelische ondergrond. Aan de basis van de Kareliden komen lokaal continentale afzettingen voor ("Sariolische arkosen") die gevormd zijn in bekken op een landoppervlak met weinig relief. De overige delen van de Karelische gesteenteserie zijn marien en bestaan uit conglomeraten en diverse typen zandstenen ("Jatulische afzetting"). Allerlei vulkanische gesteenten die karakteristiek zijn voor gebergtevormende perioden komen als inschakelingen voor.

In de omgeving van de Presvecokarelische ondergrond zijn de Kareliden geplooid en langs horizontale breukvlakken over soms grote afstanden naar het oosten verplaatst, over de Svecokareliden heen. De graad van metamorfose is het laagst in Oost-Finland en neemt in de richting van de aansluiting met de Svecofenniden toe. In de westelijke delen van de gordel, waar de graad van metamorfose het hoogst is, komen veel granodiorieten voor.

b. Svecofenniden

De Svecofenniden vormen een gordel van metamorfe sedimenten (metasedimenten) en migmatieten, die zich in oost-west richting over geheel Zuid-Finland uitstrekt en via de Åland-Eilanden te vervolgen is tot ver in Zweden (3 in fig. 2). De metasedimenten liggen in smalle zones tussen de migmatieten en dieptegesteenten ingeklemd. Een groot deel van deze metasedimenten bestaat uit zgn. "leptiet", een fijnkorrelig, licht gekleurd gesteente dat uit kwarts en veldspaat bestaat. De leptiet is gevormd door metamorfose van vulkanische (rhyolitische) en zandige sedimenten.

De graad van metamorfose is het laagst in de omgeving van Tampere (fig. 2) en neemt naar het zuiden toe. In de richting van de Finse Golf worden de gesteenten gnezeus en op veel plaatsen migmatitisch met als karakteristieke mineralen granaat, cordieriet en sillimaniet. Bekend uit Zuid-Finland zijn granaat-cordieriet-gneizen die met de naam "kinzigiet" worden aangeduid.

c. Svecokarelisch magmatisme

In een vroeg stadium van de Svecokarelische gebergtevorming zijn kalium-arme stollingsgesteenten geïntroduceerd in de sedimenten. Tonalieten en charnockieten vormen van deze groep de omvangrijkste gesteentelichamen. Tegen het einde van de gebergtevormende periode zijn er mikroklienrijke (kalium-rijke) granieten geïntroduceerd en vormden er zich geweldige migmatiet-massa's (4 in fig. 2).

Postsvecokareliden

Na de Svecokarelische gebergtevorming brak een tijd van betrekkelijke stabiliteit aan. De intrusie van rapakivi-granieten (1650-1700 miljoen jaar) bracht niet veel verstoring mee (5 in fig. 2). Deze granieten snijden dwars door de oudere gesteente-eenheden heen. Een bijzonder kenmerk is de "rapakivi-textuur": een roze-rood kaliveldspaatkristal omgeven door een wit verwerend oligoklaasrandje (zie omslagfoto).

Na de intrusie van de rapakivi-granieten volgde een lange periode van erosie en werd het gevormde schild geëgaliseerd tot een schiervlakte, waarop ca. 1300 miljoen jaar geleden de "Jotnische" sedimenten werden afgezet (6 in fig. 2). Vooral in slenkssystemen in Midden-Finland kunnen deze zandstenen geweldige dikten bereiken van soms meer dan 1000 meter. De Jotnische sedimenten en de rapakivi-granieten worden doorsneden door zgn. "Jotnische diabazen", ganggesteenten met een gabbro-samenstelling.

ERTSAFZETTINGEN

A. Niet-metallische mineraalafzettingen

Naast de meer bekende afzettingen van metallische (sulfidische) ertsen is er een groep van gesteenten die door hun bijzondere samenstelling een economisch belang hebben gekregen. Een aantal van de bekendste voorkomens van deze niet-metallische ertsen in Finland wordt hieronder beschreven.

Anthophylliet-asbest-afzetting van Paakkila

Anthophylliet-asbest komt maar op enkele plaatsen in Europa voor. Bij Paakkila, 18 km ten westen van de Ootokumpu-mijn, werd sinds het begin van deze eeuw gemijnd, maar in 1975 werd de produktie wegens gebrek aan vraag gestaakt.

Sinds mensenheugenis zijn de asbest-voorkomens bij Paakkila door de plaatselijke bevolking gebruikt voor de fabricage van ovenstenen en vuurvaste schalen, die uit een mengsel van klei en verweerde asbest werden gemaakt. Archeologische onderzoeken hebben aangetoond dat hiervan in het Stenen Tijdperk al gebruik werd gemaakt en het hoogtepunt van deze ceramische industrie lijkt zo'n 4500 jaar geleden te liggen.

De serpentinit met het hoogstgradige asbest komt maar in een klein gebied voor als kleine klonten en lensvormige lichamen. Van deze lenzen, die zo'n 40-60 m lang en 10-25 m breed kunnen zijn, zijn de beste al gemijnd. Elke lens kon een maximum van 100.000 ton asbest-serpentijn opleveren.

Zeepsteen- (talk) afzetting van Lahnaslampi

Ook de zeepsteen en talkschisten worden al eeuwen door de plaatselijke bevolking gebruikt voor het maken van ovens. Tegenwoordig ligt de belangrijkste toepassing van de Finse talk echter in de papierindustrie.

De talkmijn bij Lahnaslampi ligt in Oost-Finland, 25 km ten ZO van Kajaani. De produktie van talk begon in 1969 door de toepassing van een uniek flotatieproces, waarbij talk uit zeepsteen geconcentreerd wordt. De zeepsteen-afzetting bij Lahnaslampi is een vertikaal, lensvormig lichaam van zo'n 200 meter dikte. Het ontsloten oppervlak is tenminste 10 ha en de exploitatie vindt dan ook plaats in een groeve.

De belangrijkste mineralen in de afzetting zijn talk (meer dan 50%) en magnesiet ("breunneriet"). De opake mineralen (1-2%) zijn in de eerste plaats magnetiet en verder pyrrhotien en pentlandiet en hun omzettingsprodukten melnikoviet en bravoiet. Het totale nikkelgehalte is hoogstens 0,2%, maar concentratie is economisch mogelijk geworden en vindt sinds 1972 plaats.

OUDERDOM (miljoen jaren)	CYCLUS	STADIUM	PROCESSEN en GESTEENTEN
± 1300		niet orogeen	Afzetting van Jotnische zandstenen erosie Intrusie van Jotnische bazalt
1650		postorogeen	Rapakivi graniet
1700			
	SVECO-KARELISCH	orogeen	migmatizatie plooiing en metamorfose laat-orogene graniet syn-orogene tonaliet
1900			
		geosynclinaal	afzetting van zandige en vulkanische sedimenten
2100			
		niet orogeen	erosie
2600			
	PRESVECO-KARELISCH	orogeen	migmatizatie hoog-gradige metamorfose plooiing synorogene graniet
2800			sedimentatie

fig. 1 Geologische evolutie van het Baltische Schild.

Kwartsiet-afzetting van Nilsä

In het onderste deel van de Kareelische sedimenten komen uitgestrekte horizonten van Jatulische kwartsieten voor, die accumuleerden op de Presvecokareelische ondergrond. Het kwartsgehalte van deze kwartsieten is dikwijls meer dan 90%. Bij diverse tektonische gebeurtenissen (plooiing en breukvorming) heeft secundaire concentratie van kwarts plaats gevonden.

Nilsä, 45 km ten NO van Kuopio, is de enige plaats in Finland, waar kwartzand wordt gemijnd en gewassen. Sinds 1914 wordt hier kwartzand geproduceerd. De belangrijkste binnenlandse afnemers zijn de glas-, staal- en springstofindustrie.

Apatiet-afzetting van Sokli

De jongste intrusiefgesteenten in Finland zijn de carbonatieten van Sokli (350 miljoen jaar). Ze bedekken een gebied van meer dan 20 km² en maken van Sokli het grootste carbonatietvoorkomen ter wereld. De carbonatietplug is rond van vorm, meet ongeveer 5 km in doorsnee en heeft vermoedelijk verticale wanden.

Pas in 1967 werd de afzetting met behulp van geofysische luchtverkenning gevonden en vingen onderzoekingen aan naar de samenstelling en afmeting ervan. Voor zover be-

kend is de afzetting nog niet in exploitatie genomen vanwege de hoge kosten die het transport van de produkten zou vergen; de afzetting ligt ver van de bewoonde wereld. Door boringen is een reserve aangetoond van 50.000.000 ton erts met gemiddeld 19% P₂O₅.

Het belangrijkste mineraal is calciet en naast het overvloedig voorkomen van apatiet wordt ook magnetiet, phlogopiet, amfibool, serpentijn en clinohumiet gevonden.

De Sokli-plug ligt in een topografische depressie, waar door verwerking en glaciatie vrijwel geen ontsluitingen te vinden zijn. Het bovenste deel van de plug is tot een diepte van soms wel 60 meter verweerd.

Apatiet-afzetting van Siilinjärvi

Het carbonatietcomplex bij Siilinjärvi is een fosfaatafzetting die, voor zover bekend, ook nog niet in productie is genomen. Deze afzetting ligt 20 km ten noorden van Kuopio en werd in de vijftiger jaren ontdekt. Het complex bestaat uit een vertikaal, plaatvormig lichaam dat ongeveer noord-zuid loopt en omringd wordt door gneizen van Presvecokareelische ouderdom. De radiometrische ouderdom van het Siilinjärvi-carbonatietcomplex is ongeveer 2500 miljoen jaar. Het behoort dus tot de Presvecokareeliden en is daarmee het oudste carbonatietvoorkomen van het Bal-

tische Schild en waarschijnlijk zelfs van de wereld. Het Siilinjärvi-complex is ongeveer 16 km lang en 1.5 km breed met een oppervlak van 14.7 km².

De voornaamste gesteentetypen van het complex zijn glimmeriet, syeniet en carbonatiet. De glimmeriet bestaat uit phlogopiet, alkali-amfibool en apatiet met accessoire hoeveelheden zirkoon, sulfiden en ijzeroxiden. De carbonatiet bestaat uit calciet met phlogopiet, alkali-amfibool, dolomiet en apatiet als accessoria. De apatiet-rijke gesteentetypen komen vooral in de kern van het complex voor, met name in carbonaat-rijke gesteenten. De glimmeriet-carbonatietserie wordt aan bijna alle zijden omgeven door syeniet.

Wollastoniet-afzetting van Ihalainen

Wollastoniet is in Zuid-Finland een vrij veel voorkomend mineraal. De enige economisch belangrijke wollastoniet-vindplaats in Finland is bij Ihalainen. De kalksteenafzetting daar wordt omgeven door een groot rapakivi-granietmassief. De wollastoniet komt voor in associatie met kwarts, grossulariet, diopsied en serpentijn in het centrale deel van de kalksteen. De wollastoniet vindt toepassing in de productie van poreuze bouwmaterialen, maar vooral ook in de ceramische industrie.

Kogelgraniet van Virvik

Hoewel het hier niet gaat om een ertsvoorkomen, maken we toch melding van een voorkomen van kogelgraniet bij Virvik, een stadje 15 km ten oosten van Porvoo, dat oostelijk van Helsinki ligt. De omgeving bestaat uit migmatitische graniet, waarin talrijke schistrestanten voorkomen. De kogelgraniet is hier maar op één ontsluiting te vinden, die omgeven is door kwartaire afzettingen. Zie ook foto 2.

In de kogelgraniet bij Virvik zijn twee typen te onderscheiden. Het grootste deel van de ontsluiting bestaat uit gesteente met kleine kogels, terwijl de rest veel grotere en complexere kogels bevat. De kleinere kogels komen in ontelbare hoeveelheden voor in een granitische of granodioritische matrix en hebben een diameter van 2 tot 5 cm. Elke kogel heeft een kern, meestal een aggregaat van vrij grove plagioklaas, soms met een weinig biotiet. In enkele gevallen bestaat de kern uit een enkel veldspaatkristal. Rond zo'n kern komen 1-3 schillen voor met afwisselend biotietrijke en plagioklaas-rijke samenstelling. De kogels zitten dicht op elkaar gepakt.

De grote kogels zijn 15-30 cm in diameter en bestaan uit een kern waaromheen talloze schillen zitten die afwisselend licht en donker zijn. De kernen zijn gelijk aan die van de kleine kogels, maar er zijn meer biotiet-rijke kernen. De dikte van de individuele schillen varieert van 1 mm tot enkele centimeters.

Pegmatieten

Belangrijke mineraalvoorkomens leveren de pegmatieten, zoals die van Vitaniemi in Midden-Finland en het pegmatietveld van Kemiö, een eiland aan de zuidwestkust. Pegmatieten hebben een gevarieerde mineraalinhoud; het zou te ver gaan de mineralisaties hier uitgebreid te behandelen. Voor meer gegevens verwijzen we naar de vindplaatsliteratuur (3) en naar een toekomstige Gea-publicatie.

B. Metallische ertsen

Introductie

Finland neemt een bijzondere positie in op de metaalmarkt, omdat het metalen produceert, die elders in politiek instabiele of communistische landen voorkomen. Hiertoe behoren vanadium, dat voornamelijk in Zuid-Afrika en in de U.S.S.R. geproduceerd wordt, kobalt (grootste producent is Zambia) en chromiet (Zuid-Afrika, Rhodesië, U.S.S.R.).

Een overzicht van de Finse productie van delfstoffen is weergegeven in Tabel 1. De gegevens, afkomstig uit "Mining Journal", gelden voor 1977 en zijn weergegeven in duizend ton.

TABEL I

produkt	erts-concentraat	zuiver metaal
ijzererts	739.1	1763 ^{a)}
ijzererts uit pyriet	402.0	
chromiet	602.3	33.6 ^{b)}
kobalt	197.9	1.0
koper	193.9	42.8
zink	131.2	138.0 ^{c)}
nikkel	81.1	9.4
lood	1.4	
pyriet	295.0	29.1 ^{d)}
vanadium-pentoxide	3.3	
cadmium		.527
zilver		.0253
kwikzilver		.0217
selenium		.0117
goud		.00085
kalksteen	3965.0	
talk	156.6	
kwarts	119.0	
veldspaat	71.9	
wollastoniet	8.9	
apatiet	2.6	
cement	1712.0	

- ruw ijzer; daarnaast nog 32600 ton edelstaal. Het erts wordt gedeeltelijk geïmporteerd.
- als ferrochroom
- deels van geïmporteerd erts
- elementair zwavel

Geschiedenis

De ertsexploitatie in Finland begon in de 17e eeuw, toen Finland een provincie van Zweden was. In die tijd draaide de erts- en metaal-productie in Zweden op volle toeren met de meer of minder vrijwillige medewerking van Finnen. Hun aanwezigheid in Zweden en hun bijdrage aan de ertsproductie blijkt onder meer uit de vele namen met het voorvoegsel "Finn-", die in de Middenzweedse ertsprovincie Bergslagen voorkomen; b.v. Finngruvan, Finnbergetsgruvan, Finnfalsgruvan, Finnmossen, Finnhytte, Finntorpsgruvan, etc.

Het is aannemelijk dat de uit Bergslagen vertrokken mijnwerkers in Zuid-Finland aan mijnbouw zijn begonnen; in 1677 werd een koper-lood-zilvermijn begonnen bij Ajjala, in 1758 een bij Orijärvi. Deze mijnen zijn tot 1958 in productie geweest, onderbroken door kortere of langere periodes van stilstand. In Zuid-Finland zijn momenteel geen

ertsmijnen in productie, maar men voert een actief prospectieprogramma uit op zoek naar nieuwe ertsvorraden.

De moderne ertsexploitatie in Finland begon met de ontdekking van de Outokumpu ertsafzetting in 1910. Deze ontdekking is een klassiek voorbeeld van de "boulder tracing"-prospectiemethode. In maart 1908 kreeg de Finse geoloog Trüstedt een steen toegezonden die door de afzenders als een "stuk meteoriet" omschreven werd. De geoloog had al snel in de gaten dat het een zwerfsteen was, maar dan wel een bijzondere, want hij zat vol met kopererts van een onbekend type. Waar kwam die steen oorspronkelijk vandaan vóórdat hij door het ijs was meegenomen? Met onder andere een aantal geografen is Trüstedt twee jaar bezig geweest om via vele duizenden zwerfstenen de bedding en de stroomrichting van het landijs 45 km terug te vervolgen tot in de buurt van het dorpje Outokumpu, waar de stroom van koperhoudende zwerfstenen ophield (of eigenlijk begon). Na een reeks proefboringen kon toen twee jaar later de grootste kopermijn van Europa geopend worden, die nu nog steeds in bedrijf is. Een nieuwe ertsexploratietechniek, "boulder-tracing", was geboren. Het leukste is echter, dat aan de hand van modern geochemisch en mineralogisch onderzoek aan de eerste gevonden zwerfsteen, die in het museum van Outokumpu bewaard wordt, blijkt dat deze zeer waarschijnlijk niet van het Outokumpu erts afkomstig is. Een blunder? Nee! Een hoop voor het ontdekken van nieuwe ertslichamen.

De boulder-tracing-methode was aanleiding tot het ontdekken van nog andere ertsafzettingen in Finland; Otanmäki (1938), Vihanti (1939). Elk jaar zijn nog honderden boulder-prospectoren bezig met het opsporen van ertshoudende boulders. Men gebruikt daarbij ook honden, die onder een bedekking van enige meters zand of kiezel de sulfiden, of eigenlijk het zwavelzuur dat ontstaat bij de verwerking van sulfiden, kunnen ruiken.

Veel van de ertsafzettingen hebben geen dagzoom aan het aardoppervlak en worden opgespoord met behulp van gecombineerde geologische en geofysische methoden. Voor ijzererts en erts die pyrrhotien bevatten worden magnetische methoden toegepast. Voor sulfiden zijn elektrische methoden in gebruik.

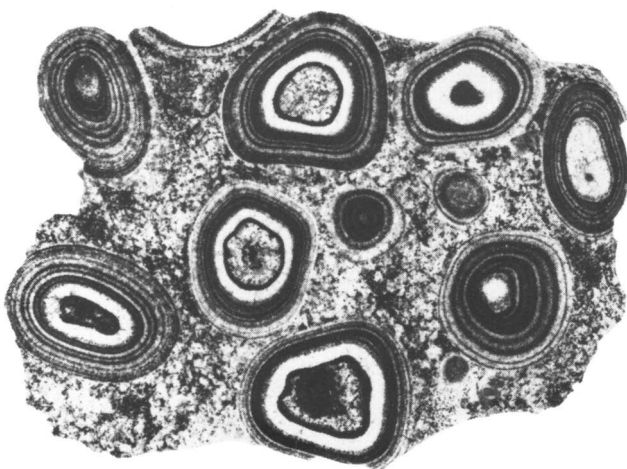


foto 2. Kogelgraniet. Het afgebeelde voorbeeld is afkomstig van een voorkomen bij Kangasela in het Merengebied. Collectie en foto: Geologisch Instituut Amsterdam.

<i>Presvecokarelisch</i>	1a. <i>granulietcomplex</i>
	1b. <i>graniet-gneiscomplex</i>
<i>Svecokarelisch</i>	2. <i>Karelische schistgordel</i>
	3. <i>Svecofennische schistgordel</i>
	4. <i>orogene plutonische gesteenten</i>
<i>Postvecokarelisch</i>	5. <i>rapakivi-graniet</i>
	6. <i>Jotnische sedimenten</i>

Het ontdekken van de Outokumpu ertsafzetting betekende ook het begin van de Outokumpu Maatschappij, een van de grootste mijn- en hoogoven-ondernemingen in Europa. Van de 14 mijnen die in Finland in productie zijn, zijn er 10 eigendom van Outokumpu Oy.

Geologische positie van ertsafzettingen

De belangrijkste geologische eenheid die erts bevat zijn de Svecokareliden met hun metasedimenten en metavulkanieten. Zoals te zien is op de geologische kaart (fig. 2), omvat deze formatie het grootste deel van het oppervlak van Finland. De erts zijn echter gebonden aan een zone die 40 tot 150 km breed en 400 km lang is. De Zweedse Boliden-ertsprovincie wordt beschouwd als de mogelijke voortzetting van deze zone. Ca. 90% van de sulfidische erts in Finland die exploitabel zijn, bevindt zich in deze belangrijkste metallogene gordel. Hiertoe behoren de erts van het Outokumpu-district, de erts van de Vihanti-zinkzone, en de Kotalahti-nikkel-koperzone.

Ten zuidwesten van de hoofdgordel zijn Aijala, Orijärvi en veel kleine ertsafzettingen bekend. Ten noorden ervan liggen de belangrijke ijzer-erts van Otanmäki en Mustavaara, evenals de grote chromiet-ertsafzetting van Kemi. In de granulieten van Noord-Lapland zijn goud-placers bekend, zie foto 3.

Het Outokumpu-district

In het Outokumpu-ertsdistrict liggen verschillende koperafzettingen met kobalt, zink en nikkel. De Outokumpu-ertsafzetting (Keretti-schacht) is in deze zone de belangrijkste. De afzetting ligt in een gebreccieerde kwartsiet-horizont, die zich ca. 4 km uitstrekt in ZW-NO richting. In het "hangendes" komt een lens van ofiolitische serpentinit voor, terwijl op het "liegendes" lagen van zwarte schisten en micaschisten voorkomen. De serpentinitlensen worden dikwijls omringd door dolomiet. Op het contact van dolomiet en kwartsiet worden beroemde chroomvoerende skarnmineralen aangetroffen (eskolaiet, chromiet, zink-chromiet, picotiet, uvaroviet, chroom-epidoot, Cr-diopsied, Cr-toermalijn, Cr-biotiet, fuchsiet en kämmeriet).

Het erts is massief en bestaat voor 75% uit sulfiden: pyrrhotien, chalcopyriet, pyriet, sfaleriet en kobalt-pentlandiet. Accessorisch: pentlandiet, cubaniet, valleriit, linnaei, galeniet, stannien, gedegen goud en mackinawiet. Het erts bevat gemiddeld: 3.5-4% koper, 1% zink, 24-26% ijzer, 23-25% zwavel, 0,12% nikkel, 0,24% kobalt, 0.8 gr/ton goud, 9 gr/ton zilver, 25-50 gr/ton selenium en 0.1% tin. Goud, zilver en seleen worden als bijproducten bij de koperproductie gewonnen. Kobalt en nikkel worden gewonnen uit een pyrietconcentraat. Zwavel wordt gebruikt voor de fabricage van zwavelzuur en de rest, hoofdzakelijk bestaande uit Fe₂O₃, gaat naar ijzerhoogovens. De concentratie-plant van Outokumpu behoort tot de meest geautomatiseerde ertsverwerkingsapparatuur ter wereld.

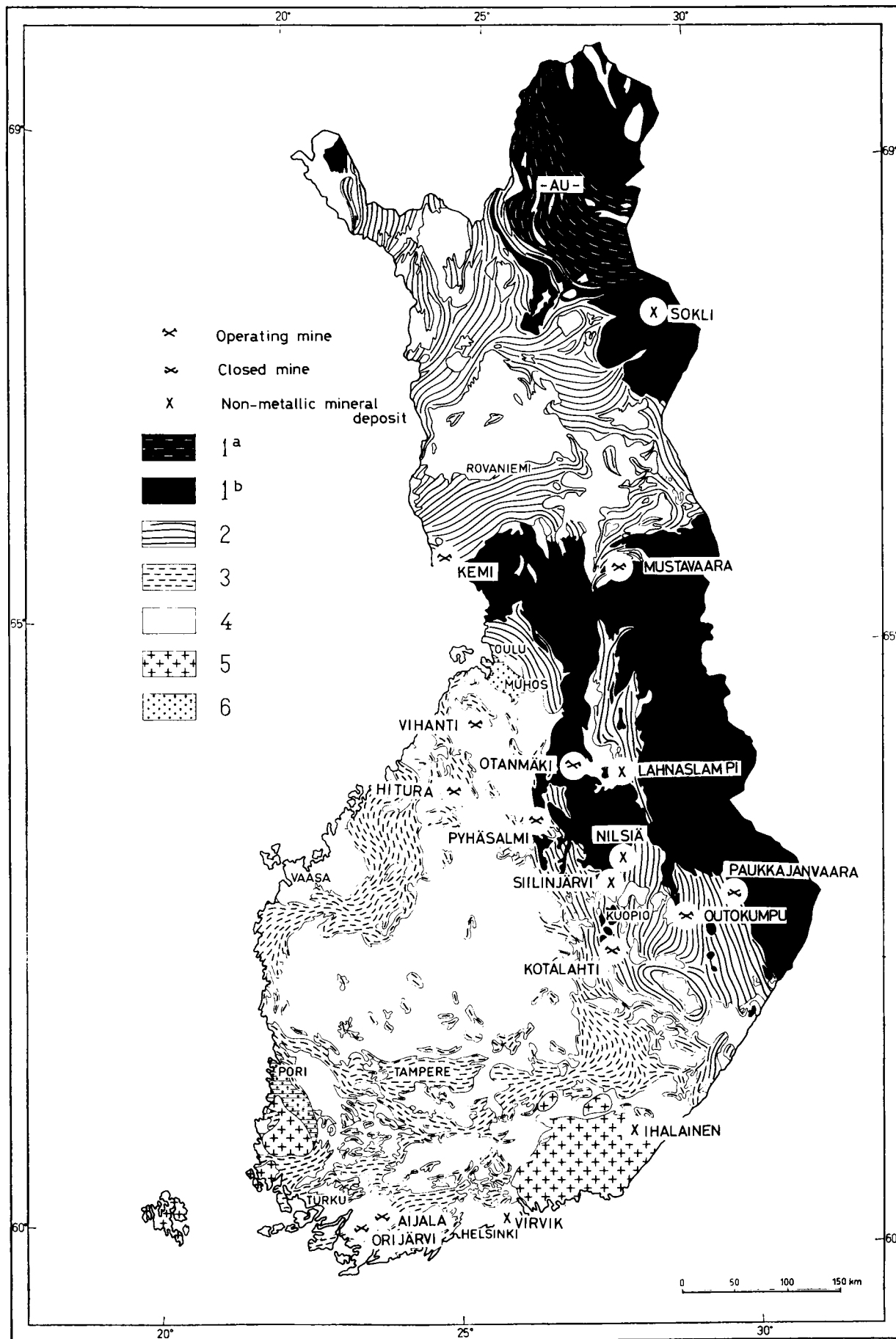


fig. 2 Geologische kaart van Finland (naar Simonen) met de locaties van ertsafzettingen.

Erts van hetzelfde type wordt ook gewonnen in de mijnen van Vuonos en Luikonlahti, maar de Outokumpu-mijn is de enige van de Finse sulfidmijnen waar mooie kristallen gevonden kunnen worden; vooral chroomrijke silicaten. Alle andere mijnen leveren massief erts en tientallen mineralen zijn alleen onder de microscoop te determineren. Enthousiaste verzamelaars zullen in of bij de hier genoemde mijnen zeker ook aantrekkelijk materiaal weten te vinden, waarin vele van de vermelde mineralen macroscopisch herkenbaar voorkomen.

De Vihanti-zone

De Vihanti-ertsafzetting behoort met Pyhäsalmi tot een ertszone die 40 km breed en 200 km lang is. Deze ertsafzettingen zijn gebonden aan het Karelische schistcomplex. Dit complex heeft een uitbreiding in ONO-WZW richting en bevat dolomiet-skarnen, kwartsieten en cordieriet-gesteenten. Er zijn twee ertstypen aangetroffen: zinkerts en pyrieterts. Het zinkerts is gebonden aan het noordelijke contact tussen kwartsiet en dolomiet waar de ertsen dolomiet vervangen. De pyrietertsen liggen meer naar het zuiden, meestal in kwartsiet (veelal gebreccieerd) maar soms ook in skarn. In de pyrietertsen komt pyriet, pyrrhotien, chalcopyriet, sfaleriet en galeniet voor. De zinkertsen bevatten gemiddeld 10-11% zink, 0.53-0.85% koper, 0.46-0.54% lood, 2.3-2.5% bariumoxide, 0.4 gr/ton goud, 26-30 gr/ton zilver. Het zinkerts bestaat uit de volgende mineralen: sfaleriet, chalcopyriet, galeniet, pyrrhotien en pyriet.

Microscopisch zijn gedetermineerd: cubaniet, valleriet, arsenopyriet, stannien, molybdeniet, gedegen goud, gedegen zilver, magnetiet, rutiel, uraniniet, grafiet, borniet, tetrahedriet, tennantiet, gudmundiet, boulangeriet, pyrrhotiet, nikkelen, jamesoniet, bournoniet, freibergiet, berthieriet, bariet, gahniet, toermalijn, fluoriet, chalcosien, limoniet en markasiet.

De Pyhäsalmi-ertsafzetting vormt een lens van massief erts die concordant aan de nevangesteenten is. Gemiddeld 75% van het erts bestaat uit ertsmineralen: een grofkorrelige compacte pyrietmassa met sfaleriet, pyrrhotien, chalcopyriet en bariet, kwarts en mica. In het nevangesteente wordt fijnverdeelde pyriet aangetroffen, soms wel tot 10 m van het contact. Aanrijking van sfaleriet in smalle banden veroorzaakt een gebande textuur parallel aan de uitbreiding van het ertslichaam. Als accessorische mineralen worden aangetroffen: galeniet, zilver-tetrahedriet, bismut-tetrahedriet, altaiet-hessiet, gedegen goud, zilver en arsenicum, electrum, arsenopyriet, molybdeniet en andoriet, alle op microscopische schaal. Het erts bevat gemiddeld 0.85% koper, 2.8% zink, 33% ijzer, 37% zwavel, 0.2 gr/ton goud, 17 gr/ton zilver, 5% bariumoxide en 0.06% lood.

De Kotalahti-zone

De Kotalahti-Hitura-ertsafzettingen zijn gelegen in de Savo-schistzone, die uit adergneizen bestaat met ultrabasische en basische intrusiva. De Kotalahti gabbro-intrusie vormt een differentiatieserie van peridotiet naar kwartsdioriet met pyroxenieten en hoornblendieten. De ertsen zijn gebonden aan peridotieten en pyroxenieten en zijn te verdelen in drie typen:

- gedissemineerd erts (fijn verdeeld),
- breccie-erts,
- massief erts.

De belangrijkste mineralen in alle drie de typen zijn pyrrhotien, pentlandiet en chalcopyriet.

De Hitura-peridotietintrusie is gedeeltelijk geserpentiniiseerd en vermoedelijk heeft het proces dat tot serpentinizatie leidde ook gezorgd voor het ontstaan van economische ertsconcentraties, omdat de beste ertsen voorkomen op het contact tussen peridotiet en serpentinitiet. Ook in Hitura kan men gedissemineerde en massieve ertsen onderscheiden en spelen dezelfde mineralen (pyrrhotien, pentlandiet en chalcopyriet) een belangrijke rol. Deze ertsparagenese is ook karakteristiek voor de magmatische nikkel-koperertsen in andere delen van de wereld. Soms is deze paragenese nog aangevuld met platinagroep-mineralen, zoals in Sudbury (Canada) of Norilsk (USSR). In de Finse ertsafzettingen zijn echter maar geringe concentraties aangetroffen.

De Otanmäki-mijn

De ertsafzetting omvat honderden lensvormige ertslichamen, die tezamen met gebreccieerde anorthosieten een 2 km lange boog vormen in amfiboliet. Aan de zuidzijde van deze boog komt een hoornblende-gabbrolichaam voor. Op het contact tussen gabbro en amfiboliet komen de belangrijkste ertslenzen voor. Ertsen en nevangesteenten zijn meestal geband.

De belangrijkste mineralen zijn magnetiet en ilmeniet. In de magnetiet komt vanadium (0.62% V_2O_5) voor. De magnetiet bevat ontmengingen van spinel (ulvöspinel, pleonast en hercyniet) en vergeleken met andere ijzer-titaanertsafzettingen, zelden van ilmeniet. In de ertsen komen ook 1-2% sulfiden voor: pyriet, pyrrhotien, chalcopyriet en pentlandiet. Accessorisch zijn ook titaniet, rutiel, anataas, perovskiet, högborniet, korund, hoornblende en chloriet aanwezig.

Voor aanrijking wordt gebruik gemaakt van erts met een gemiddeld gehalte van 38-40% magnetiet, 27-31% ilmeniet en 1-2% sulfiden. Het erts wordt tot 0.1-0.2 mm gemalen, waarna aanrijking plaats vindt van magnetiet door magnetische concentratie en van ilmeniet en sulfiden door flotatie. Het magnetietconcentraat wordt verder in de vanadium-plant verwerkt. Vanadium-pentoxide is het belangrijkste produkt van de Otanmäki-mijn.

De Kemi-mijn

Deze mijn ligt aan de noord-kust van de Botnische Golf. De ertsafzetting is gebonden aan een ultrabasisch intrusief gesteente, dat gesitueerd is tussen migmatitische granieten en karelische schisten. De ertszone is 15 km lang en maximaal 1500 m breed. De dikte van de ertsbanden zelf varieert van enkele centimeters tot 2 à 3 meter, deze banden zijn soms wel over 4.5 km te vervolgen. Het erts bevat 27% Cr_2O_3 met een chroom: ijzerverhouding van 1.6:1. In de nabijheid van de ertsen zijn de ultrabasische gesteenten omgezet in serpentinieten. Chromiet, het enige belangrijke mineraal, vormt korrels van ca. 0.2 mm. Andere mineralen zoals magnetiet, ilmeniet, hematiet, rutiel en sulfiden (pyriet, chalcopyriet en milleriet) zijn accessorisch. Chromiet wordt met behulp van een magneetscheider aangerijkt.

De Paukkajanvaara-mijn

Deze mijn ligt in Noord-Karië en is de enige Finse uraniummijn. Hij was in 1960 en 1961 in productie, maar op het ogenblik produceert Finland geen uranium. De mineralisatie treedt op in Karelische kwartsieten en conglomeraten, die door talrijke metamorfe diabaasgangen



worden doorsneden. De mineralizatie vindt plaats als impregnaties aan het contact met deze diabazen of als spleetopvullingen. Het belangrijkste uranium-mineraal is urano-faan. Andere mineralen zijn meta-autuniet, gummiert en uraninit. In de uraniumhoudende mineralen en in magnetiet komt vanadium voor. De gemiddelde U:V ratio in het erts is ongeveer 4:1.

Genese

Syngenetisch of epigenetisch

Discussies over het ontstaan van ertsen gaan over de vraag of het erts tegelijk gevormd is met de omliggende gesteenten (syngenetisch) of later in deze gesteenten is geïntroduceerd (epigenetisch). Het antwoord op deze vraag verkrijgt men uit de vorm van de ertslichamen, de vorm van de ertskorrels en de verhouding tussen de ertsmineralen en de gangmineralen. Zo zijn aders die dwars door gelaagde nevangesteenten heen snijden zeker epigenetisch. Gedissimineerde korrels zijn meestal syngenetisch. Het ontstaan van syngenetische ertsen is afhankelijk van dezelfde geologische processen als het ontstaan van het nevangesteente zelf. Vooral als het gaat om niet-metamorfe gesteenten, zijn de genetische problemen van de nevangesteenten gemakkelijker oplosbaar dan die van de ertsen. Metamorfe processen kunnen de oorspronkelijke verhoudingen zodanig verduisteren, dat het vrijwel onmogelijk wordt de geschiedenis van een ertsafzetting te ontrafelen. Zo een ertsafzetting wordt dan tot een klasse van metamorfe ertsafzettingen gerekend.

De Finse ertsafzettingen kunnen volgens bovengenoemde regels als volgt gekarakteriseerd worden:

- duidelijk syngenetisch zijn: Hitura, Kotalahti, Otanmäki en Kemi. Ook de apatietertsen in Sokli zijn syngenetisch ten opzichte van de carbonatiet.
- duidelijk epigenetisch: breccie-erts in Kotalahti en de kleine aders in sulfidische ertsafzettingen. De carbonatiet in Sokli is epigenetisch ten opzichte van de precambrische nevangesteenten. Ook pegmatieten zijn epigenetisch.
- waarschijnlijk syngenetisch zijn de massieve ertsen van Outokumpu, Pyhäsalmi en Vihanti.

foto 3. Goud wassen in Lapland (Tankavaara, Z van Ivalo). Niet alleen Amerika, maar ook Lapland heeft een "gold-rush" gekend. Deze ving aan met de ontdekking van goud in de Ivalo-rivier in 1868. Gedegen goud wordt meestal gevonden in kwartsgangen, waarin het is afgezet door hete gassen of warme waterige oplossingen.

Bij de verwerking van het gesteente wordt het goud met de andere verweringsprodukten uitgespoeld en door de rivieren afgevoerd. Als gevolg van het hoge soortelijk gewicht (s.g. 19,3 dus 1 cm³ goud weegt minstens 19 gram) komt het goud in de rivieren tot afzetting als korreltjes of klompjes tussen de zanden en grinden (rivier-goud). Deze "secundaire goud-afzettingen" zijn rijker dan de "primaire".

Het riviergoud kan door wassen worden gewonnen. In Lapland heeft men vanaf 1868 goud gewassen. Bij Tankavaara, Vuotso wordt zelfs goud gewassen uit glaciële afzettingen (keileem).

Hier kan men thans tegen een kleine vergoeding zelf de handen uit de mouwen steken en het geluk beproeven, bijgestaan door een paar oude doorgewinterde goudwassers, (foto en tekst E. G. v. Diggelen).

De oorsprong van goud-placers is gecompliceerder. Goud in de huidige toestand kunnen we beschouwen als syngenetisch met de alluviale afzettingen; net als zand is het door verwerking van moedergesteente ontstaan. Maar goud in een primair gesteente is meestal epigenetisch. Het ontstaat bij hydrothermale processen die jonger zijn dan de gesteenten zelf.

Mineraalparagenesen

Een ander middel bij genetische studies is het onderzoek aan mineraalparagenesen. Hierbij worden de samen voorkomende mineralen, erts- en gesteentevormende mineralen, nader bekeken. Mineralen als pyriet of chalcopyriet komen in bijna elk ertstype voor, omdat ze over een groot bereik van fysische omstandigheden gevormd kunnen worden. Andere mineralen zoals pentlandiet, chromiet, magnetiet en platinamineralen zijn gevormd binnen een veel beperkter bereik van fysisch-chemische condities en geven daarom meer informatie over de vormingsomstandigheden. Ook het samen voorkomen van mineralen kan deze informatie verschaffen.

De belangrijkste Finse ertsparagenesen zijn:

- magnetiet-ilmeniet in basische gesteenten (Otanmäki, Mustavaara),
- pyrrhotien-pentlandiet-chalcopyriet in basische en ultrabasische gesteenten (Hitura, Kotalahti),
- chalcopyriet-sfaleriet-galeniet in metavulkanieten (Outokumpu, Pyhäsalmi, Vihanti),
- pentlandiet-chroommineralen-magnetiet in serpentiniten (Outokumpu),
- chromiet in serpentinit (Kemi),
- apatiet-mineralen met zeldzame aarden in carbonatiet (Sokli).

Er bestaan overgangen tussen deze paragenesen; in de ertsafzetting van Otanmäki komt naast de magnetiet-ilmeniet-paragenese ook een pyrrhotien-pentlandiet-chalcopyriet-paragenese voor. In de Hitura-Kotalahti-ertsen daarentegen komen naast de pyrrhotien-pentlandiet-chalcopyriet-paragenese ook kleine hoeveelheden magnetiet en ilmeniet voor. In Outokumpu komt pentlandiet-pyrrhotien-chalcopyriet voor met magnetiet en ook met accessorische chromiet. Het chromieterts in Kemi komt voor met accessorische magnetiet-ilmeniet en pyrrhotien-chalcopyriet-millieriet (NiS).

Conclusies

De genese van de sulfidische erts in Finland is niet gemakkelijk te achterhalen, omdat de meeste door latere metamorfe processen sterk veranderd zijn. In zo'n geval zoekt men naar een niet-metamorfe ertsafzetting die qua nevengeesteenten en ertsinhoud vergelijkbaar is. Zo zijn de erts van Outokumpu, Vihanti en Pyhäsalmi te vergelijken met de Japanse Kurokotype-afzettingen en over hun vulkanische oorsprong bestaat geen twijfel. De erts van Hitura en Kotalahti behoren tot een duidelijk ander type, vergelijkbaar met de beroemde Sudbury-ertsafzetting in Canada. Deze afzetting is ontstaan door bezinking van de zware bestanddelen in het nog vloeibare magma, wat leidde tot concentratie van de sulfiden en platinagroep-mineralen.

Een vergelijkbare ontstaanswijze wordt ook toegeschreven aan magnetiet-ilmeniet- en chromietertsen.

Literatuur

1. Een belangrijke samenvatting van de petrologie van Finland is te vinden in:
Das finnische Grundgebirge, door A. Simonen (1971), Geol. Rundschau, 60, 1406-1421.
2. Een goede beschrijving van mineraalvoorkomens staat in Mineral Deposits of Europe, Vol. 1: Northwest Europe. Finland wordt behandeld door P. Isokangas. Verder in dit deel: Zweden, Noorwegen, Denemarken en Groenland, Ierland en het Verenigd Koninkrijk. Uitg. The Institution of Mining and Metallurgy, The Mineralogical Society, Londen, 1978.
3. Een vijftiental mineraal- en gesteentevoorkomens, met de ligging ervan, wordt gegeven in:
Mineraalfundstellen, Band 4: Skandinavien (bevattende Noorwegen, Zweden, Finland)
door Dr. H-J. Wilke, Chr. Weise Verlag, München, 1976.

De Kwartairgeologie van Finland

door E.G. van Diggelen

In dit artikel worden een aantal van de vele interessante geomorfologische fenomenen belicht, zoals die tijdens een reis dwars door Finland kunnen worden aangetroffen. Het grootste deel hiervan is gevormd in het Kwartair, de jongste periode van de geologische tijdschaal. Daar deze landschapsvormen uit los sediment bestaan, zijn het ideale voedingsbodems voor een weelderige plantengroei. Finland is dan ook het land van de bijna onbegrensde boomgroei.

Het grootste areaal wordt ingenomen door het boreale naaldwoud. Alleen in het zuidelijkste deel vinden we nog een randje van de Noordepese gemengde woudzone, met o.a. eiken en essen. In het noordelijkste deel van Lapland ligt de dennengrens. Gaan we van het zuiden naar Fins Lapland dan zal het landschapsbeeld grotendeels worden bepaald door een eindeloze bomengordel met dennen, berken en sparren. Dit is de naaldwoudzone, slechts hier en daar onderbroken door een dorp, omgeven door wat bouwland, een onverwacht moderne stad of een eenzaam houten huis met sauna. Alleen de westkust van Finland vormt hierop een uitzondering. Hier vinden we de vruchtbare kleigronden met hun agrarische bedrijven. Pas in Fins Lapland verdwijnt de spar uit het landschap en worden de bossen minder dicht. Nog iets noordelijker verdwijnt ook de den langzamerhand en komen we in het Voor-arctische gebied (figuur 1). Hier groeien geen naaldbomen meer. Wel treffen we er dwergvormen aan, zoals de lage berk (*Betula tortuosa*), en een overvloedige groei van rendiermos, dat het voedsel van de rendieren is (foto 1). Vooral Lapland is nog een woest en eenzaam gebied. Hier komt men buiten de hoofdwegen, waarvan er maar weinig zijn, nauwelijks een mens tegen. Toch is er sprake van een toenemend toerisme. De Lappen maken daar dankbaar ge-

bruik van, door in de zomermaanden, als de rendieren meer noordelijk de hogere bergen in zijn getrokken, hun tentjes langs de Noordkaaprouten neer te zetten. Hier verkopen ze hun souvenirs, zoals rendiervellen, messen (puukko), rendiergeweien. Lapland is het land van de Lappen, de rendieren en de middernachtzon. Maar ook vooral van de muggen, die men maar op de koop toe moet nemen.

In Fins Lapland treft men ook de "tunturi's" aan: kale afgeronde bergjes van vele honderden meters hoog. Door hun hoogte is de boomgrens er snel bereikt, zodat ze slechts begroeid zijn met mossen. Hier treedt de harde ondergrond aan de oppervlakte.

Toch moet men zich van dat "berglandschap" niet te veel voorstellen. Het is nauwelijks mogelijk om er ook maar iets van te zien.

Rijdend van Rovaniemi naar Inari (ca. 300 kilometer) zal men niet veel anders aantreffen dan dezelfde bossen en veengebieden die de reiziger vanuit Zuid-Finland al ca. 800 kilometer vergezelden. Pas vanuit Inari naar de Noordkaap wordt het gezichtsveld ruimer.

Langs de thans op veel plaatsen geasfalteerde weg kan men daar genieten van de eerste "toendra's" en de steeds hoger wordende bergen.

Omdat het landijs zo bepalend is geweest voor de ontwikkeling van het Finse landschap worden de volgende vier aspecten van de geologische geschiedenis van Finland besproken:

- Finland vóór de komst van het landijs
- Finland onder het landijs
- Finland tijdens het afsmelten van het landijs
- Finland na het verdwijnen van het ijs.