

VULKANIITTIIEN GEOLOGIA JA VULKANIITTEIHIN LIITTYVÄT MALMIT

Osmo Inkinen

Inkinen, O., 1985. Volcanic rocks, their geology and associated ores. *Geological Survey of Finland, Report of Investigation 69*, 62—69. 8 figures, one table.

The paper deals first with volcanic formations, starting with volcanic discharge products. A brief description is given of komatiitic nickel-sulphide ores and hydrothermal ore formations, two of the types associated with volcanic rocks. Special attention is focused on the hydrothermal alterations of ores differing in location. Two examples of ores associated with volcanic rocks in Finland are given: Metsämonttu from the Aijala — Orijärvi ore district and Kalliokylä (Kiuruvesi) from the Vihanti — Pyhäsalmi district. Finally, the author takes a look at exploration for ores associated with volcanic rocks.

*Lapin Malmi
Kairatie 56
SF-96100 ROVANIEMI, FINLAND*

Johdanto

Vulkaaninen toiminta liittyy olennaisena osana maapallon kehityshistoriaan. Eri puolilta maailmaa tehtyjen vulkaniittitutkimusten perusteella on vulkaanisen toiminnan ja malminmuodostuksen keskenäisiä suhteita opittu ymmärtämään entistä paremmin. Monet malmiesiintymät, joita aikaisemmin on pidetty vulkaaniseen ympäristöön myöhemmin tunkeutuneina (epigeneettisinä), ovat uusimmissa tutkimuksissa osoittautuneet olevan vulkaniittien kanssa samansyntyisiä (syngeneettisiä) ja usein myös kerrossidonnaisia (strata-bound) tai jopa kerrosmaisina (stratiform).

Vulkaaniset muodostumat

Vulkaaniset muodostumat syntyvät vulkaanisista purkaustuotteista, jotka olomuotonsa perusteella voidaan jakaa kaasumaisiin, nestemäisiin ja kiinteisiin. Vulkaaninen purkaus voi olla merenalainen tai mantereellinen, ja se alkaa yleensä kaasupurkauksilla. Nestemäisinä putkautuvat erilaiset laavat, jotka viskositeettinsa perusteella voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: pinnaltaan rosoiseen, fragmenttiseen Aa-tyyppiin ja notkeampaan Pahoehoe-tyyppiin. Kiinteitä tuotteita edustavat vulkaaniset heitteleet, jotka dimensioiltaan vaihtelevat vulkaanisista pommeista tuhka- ja tomupurkauksiin (taulukko 1).

Vulkaaniset heitteleet kasaantuvat kerrostumalla tai valumalla, ja ne kuuluvat pyroklastisiin sedimentteihin. Laavat taas edustavat magmakivien (igneous rocks) pintasyntyisiä vastineita (extrusive rocks).

Vulkaaniset kivet voidaan syväkivien (intrusive rocks) tavoin jakaa eri kivilajiluokkiin niiden SiO₂-pitoisuuden perusteella. Tällöin pääjako on seuraava

- | | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| — emäksiset vulkaniitit | n. 50 % SiO ₂ , |
| — intermediaariset vulkaniitit | n. 60 % SiO ₂ , ja |
| — happamat vulkaniitit | n. 70 % SiO ₂ . |

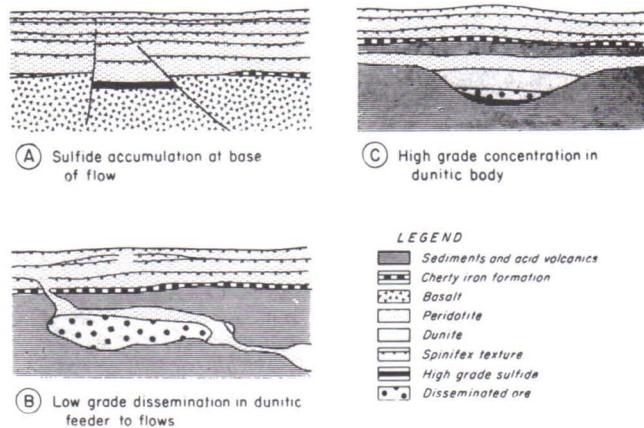
Pyroklastisissa muodostumissa myös fragmenttien koolla on tärkeä merkitys, kos-

Taulukko 1. Vulkaaniset purkaustuotteet (Decker ja Decker 1981).
Table 1. Volcanic discharge products (Decker and Decker 1981).

Form	Name	Characteristics (dimensions)
Gas	Fume	
Liquid	Lavas	
	Aa Pahoehoe	rough, blocky surface smooth to ropy surface
Solid	Airfall fragments	
	dust	< 1/16 mm
	ash	1/16—2 mm
	cinders	2—64 mm
	blocks	> 64 mm solid
	bombs	> 64 mm plastic
	Pyroclastic flows	hot fluidized flows
	Mudflows	flows fluidized by rainfall, melting ice and snow, or ejected crater lakes

Kuva 1. Vulkaanisia nikkelisulfidimalmi-tyyppejä (Naldrett ja Arndt 1976). A = Kambalda-tyyppi; B = Mt. Keith-tyyppi; C = Perseverance-tyyppi.

Fig. 1. Volcanic nickel-sulphide ore types (Naldrett and Arndt 1976). A = Kambalda type; B = Mt. Keith type; C = Perseverance type.



ka sen avulla saadaan viitteitä purkausaukon paikasta.

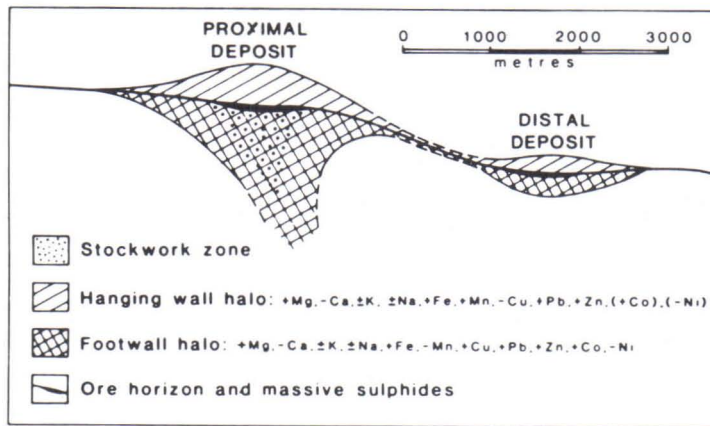
Sulfidimalmien kannalta on merkittävää, että vulkaanisissa purkauksissa rikin määrä on huomattavasti suurempi kuin keskimäärin sedimenteissa, ilmakehässä ja valtamerissä. Toisin sanoen, olisimme jo ajat sitten hukkuneet rikkisaasteeseen, jos rikki ei sulfidimalmeja muodostaen sitoutuisi metalleihin.

Vanhoja orogeenisten tapahtumien läpikäyneitä vulkaniitteja on usein vaikea tunnistaa ja luokitella, koska metamorfoosi on aiheuttanut niissä rakenteellisia ja kemiallisia muutoksia. Malminetsinnän kannalta on tärkeää, ettei alueellisen metamorfoosin aiheuttamia muutoksia sekoiteta malmiutumiseen liittyviin hydrotermisiin muutoksiin, joita tässä esityksessä käsitellään malmimuodostuksen yhteydessä tarkemmin.

Vulkaniitit ja malmimuodostus

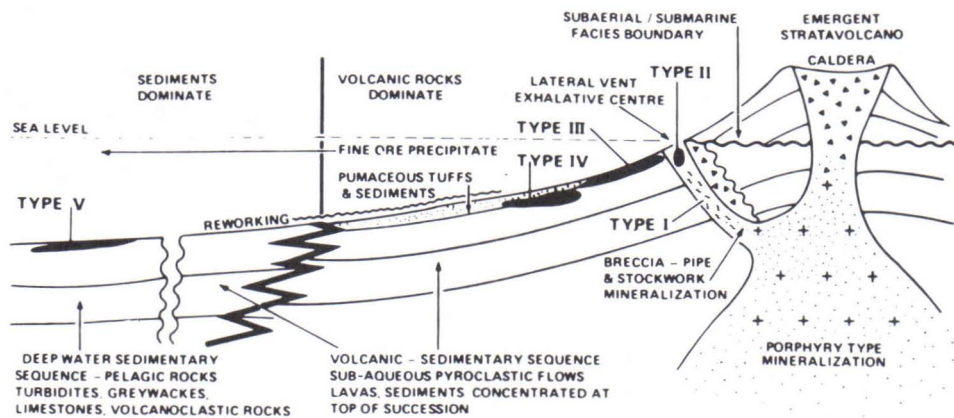
Luonnon suuressa kiertokulussa vulkaaniset muodostumat ovat koostumukseltaan magmaattisten syväkivien kaltaisia, mutta niiden muodostumisympäristö on pinnallinen, siis sama kuin sedimenteillä. Vulkaniitteihin liittyy monenlaista malminmuodostusta.

Lähimpänä magmaattisia malmeja ovat vulkaanisissa purkauksessa syntyneet malmit kuten komatiittisiin ultraemäksisiin laavoihin liittyvät Ni-sulfidimalmit. Tällaisia malmiesiintymiä tavataan arkeisilla vihreäkivialueilla Länsi-Australiassa, eteläisessä Afrikassa ja Kanadassa, mutta myös meillä Suomessa on mahdollista löytää komatiitteihin liittyviä Ni-sulfidimalmeja. Kuvassa 1 (Naldrett ja Arndt 1976) on esitetty vulkaanisten



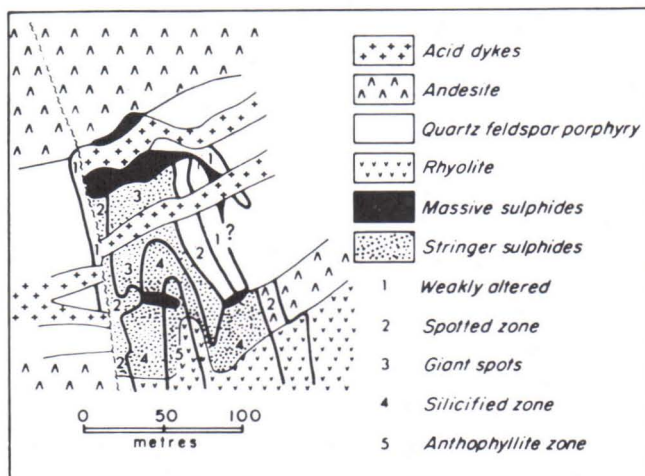
Kuva 2. Massiivisten proksimaali- ja distaalimalmien muuttumiskehät, New Brunswick, Kanada (Govett 1983).

Fig. 2. Alteration haloes of massive proximal and distal ores, New Brunswick, Canada (Govett 1983).



Kuva 3. Kuroko-tyyppiset sulfidimalmit vulkaanis-sedimenttisessä ympäristössä (Govett 1983).

Fig. 3. Sulfide ores of Kuroko type in a volcanic-sedimentary environment (Govett 1983).

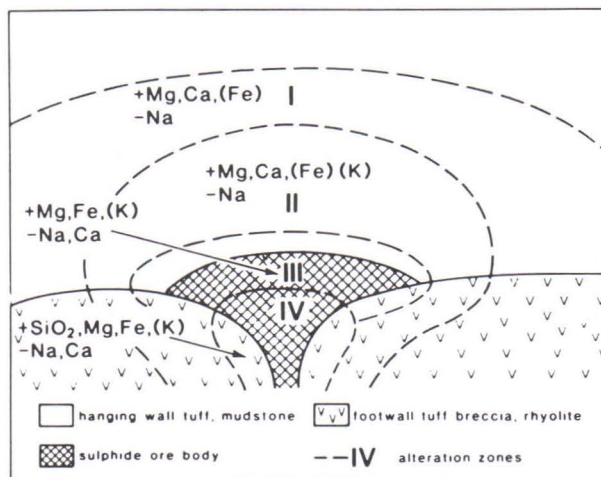


Kuva 4. Millenbachin esiintymän geologia ja muuttumisvyöhykkeet, Québec, Kanada. (Govett 1983).

Fig. 4. Geology and alteration zones of the Millenbach deposit, Québec, Canada (Govett 1983).

Kuva 5. Kuroko-tyyppisen malmin muuttumisvyöhykkeet (Govett 1983).

Fig. 5. Alteration zones of ore of Kuroko type (Govett 1983).



Ni-sulfidimalmien tyypillisiä esiintymistapoja ja kivilajiympäristöä Länsi-Australiassa.

Myös mantereellisiin basaltteihin on todettu liittyvän Ni-Cu-sulfidimalmeja (+ PGE), kuten Norilskin esiintymät. Lisäksi tunnetaan magnetiittilaavapurkauksia kuten El Laco Pohjois-Chilessä ja Cerro de Mercado Meksikossa (Papunen 1983).

Edellisiä tyyppisiä yleisempiä ovat kuitenkin vulkaanis-sedimenttisessä ympäristössä esiintyvät hydrotermiset malmit, jotka ovat yleensä sulfidisia monimetallimalmeja.

Vulkaanisen purkausaukon tuntumassa olevia malmeja kutsutaan proksimaalimalmeiksi ja siitä kauempana olevia distaalimalmeiksi. Proksimaalimalmit sijaitsevat vulkaniittiympäristössä, jossa purkauspaikan läheisyyden takia usein tavataan myös karkeita fragmenttisia pyroklasteja. Vulkaanisen toiminnan ansiosta lämmennyt merivesi on aiheuttanut voimakkaita hydrotermisia muutoksia ympäristön kivilajeissa. Proksimaalimalmit ovat epäsymmetrisiä ja vyöhykkeellisiä, ja niiden muuttumisvyöhykkeet sijaitsevat pääasiassa jalkapuolella. Distaalimalmit liittyvät vulkaniittien ja sedimenttien muodostumaan kerrossarjaan, vyöhykkeellisyys ja muuttumisilmiöt ovat niissä vähäisiä (kuva 2).

Colleyn kaaviomallissa (Govett 1983) erotetaan paikan mukaan 5 hydrotermista malmityyppiä (kuva 3). Malmityypille I on ominaista runsas sulfidipirote ja -juoniverkosto sekä sivukivien voimakas muuttuminen (serisiittyminen, kloriittiutuminen, kvartsiutuminen). Tyyppi edustaa massiivisten sulfidimalmien pohjaosia kuten Kypros-tyyppisissä malmeissa.

Tyyppi II on tavallisin arkeeinen sulfidimalmityyppi vulkaanisen tulokanavan tuntumassa. Tyyppille tunnusomaiset piirteet käyvät ilmi kuvasta 4.

Malmityyppi III sijaitsee hieman kauempana tulokanavasta. Tämän niin sanotun Kuroko-tyypin esiintymistapa ja muuttumisilmiöt on esitetty kuvassa 5.

Malmityyppi IV on jo erillään tulokanavasta (distaalimalmi). Varsinainen muuttumispiippu puuttuu, mutta muutosilmiöt näkyvät kivissä malmin suuntaisena kerroksena (vrt. kuva 2).

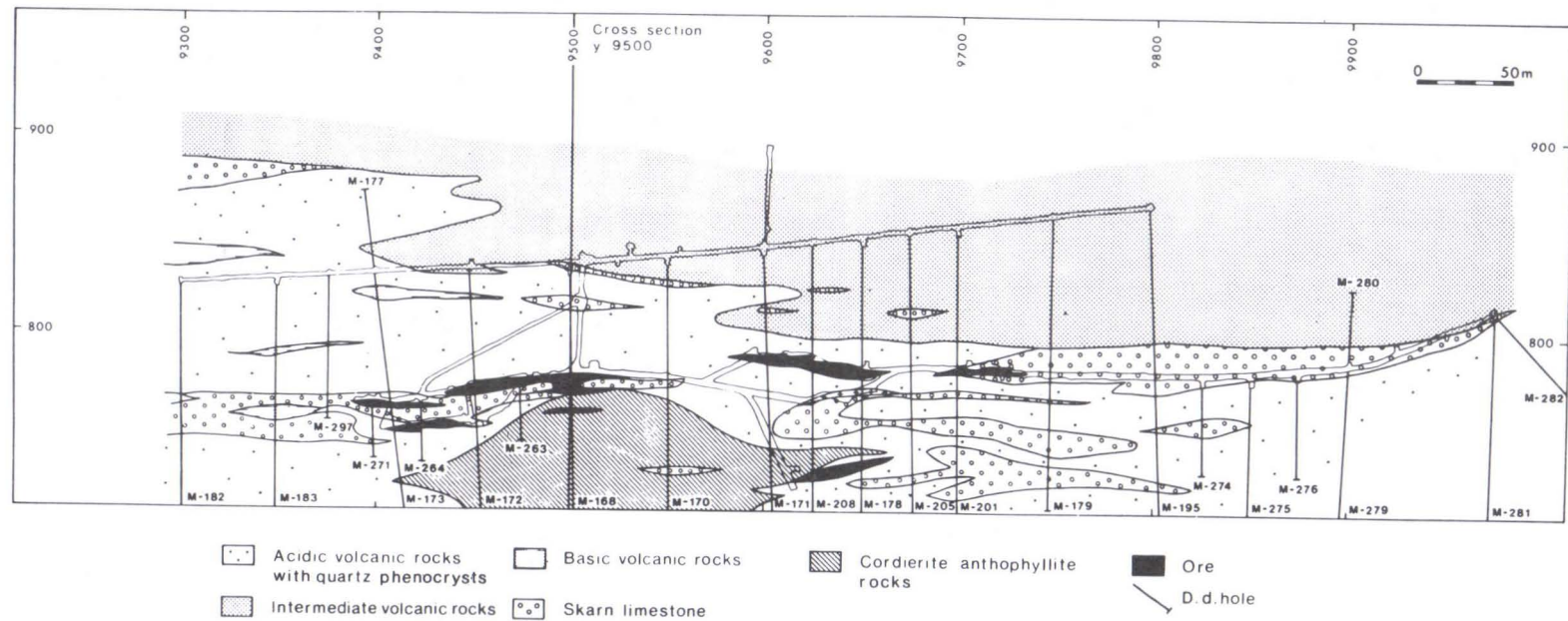
Malmityyppi V edustaa ääritapausta tyyppistä IV. Vulkaaniset piirteet ja hydrotermien muuttuminen ovat tässä tyyppissä vähäisiä ja epämääräisiä.

Vulkaniitteihin liittyvät malmit Suomessa

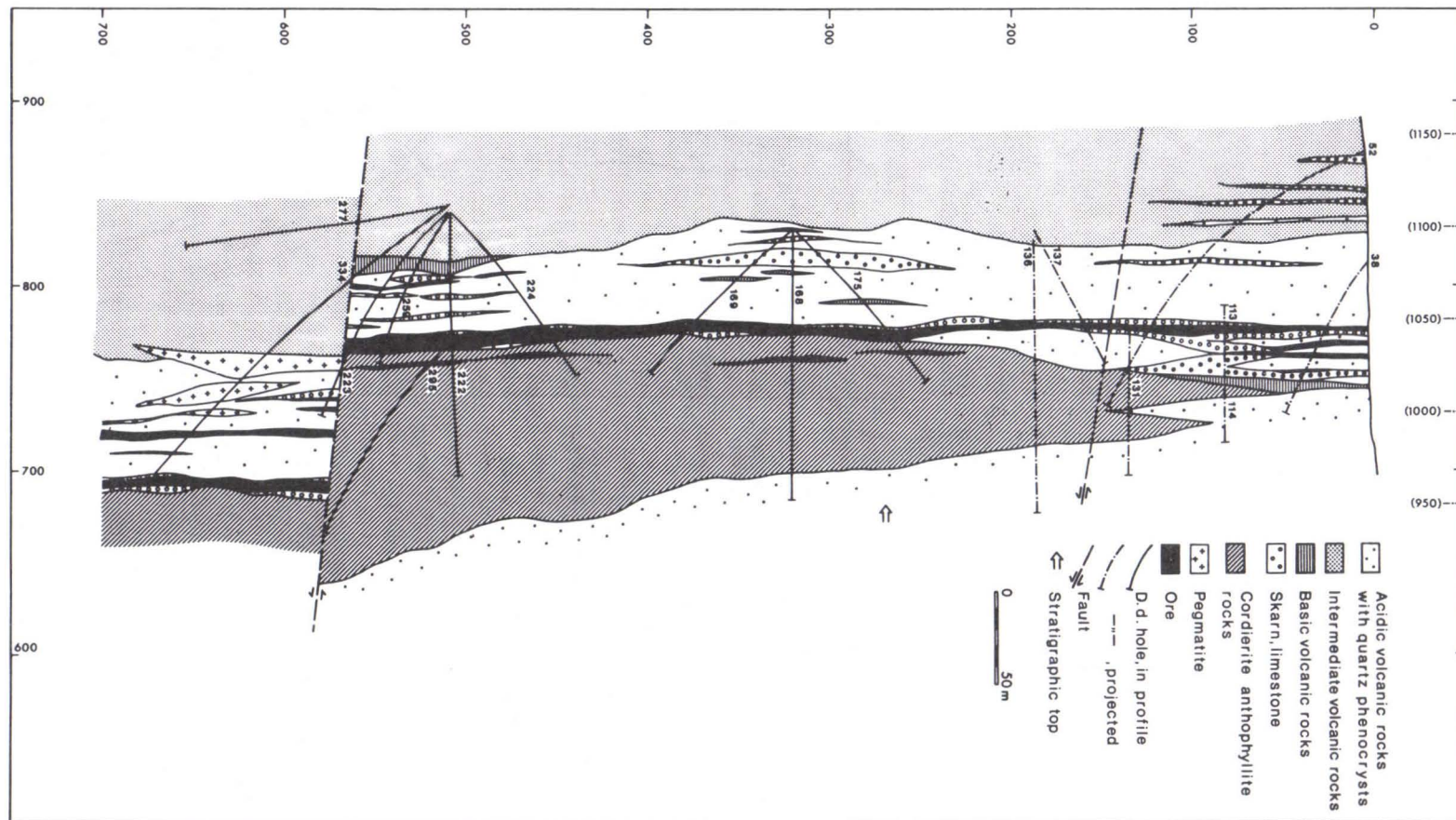
Suomen malmiesiintymistä ainakin Outokummun, Orijärven – Aijalan ja Vihannin – Pyhäsalmen malmeja pidetään synnyltään vulkaniitteihin liittyvinä. Myös Lapin vulkaniiteista odotetaan löytyvän uusia malmeja, merkkeinä näistä ovat Kittilän vihreävikompleksiin liittyvät Pahtavuoman, Saattoporan ja Riikonkosken esiintymät (Inkinen 1979).

Seuraavaksi käsitellään Aijalan – Orijärven aluetta Metsämontun esimerkin valossa (Latvalahti 1979) ja Vihannin – Pyhäsalmen aluetta Kiuruveden kalliokylän mallin perusteella (Huhtala 1979).

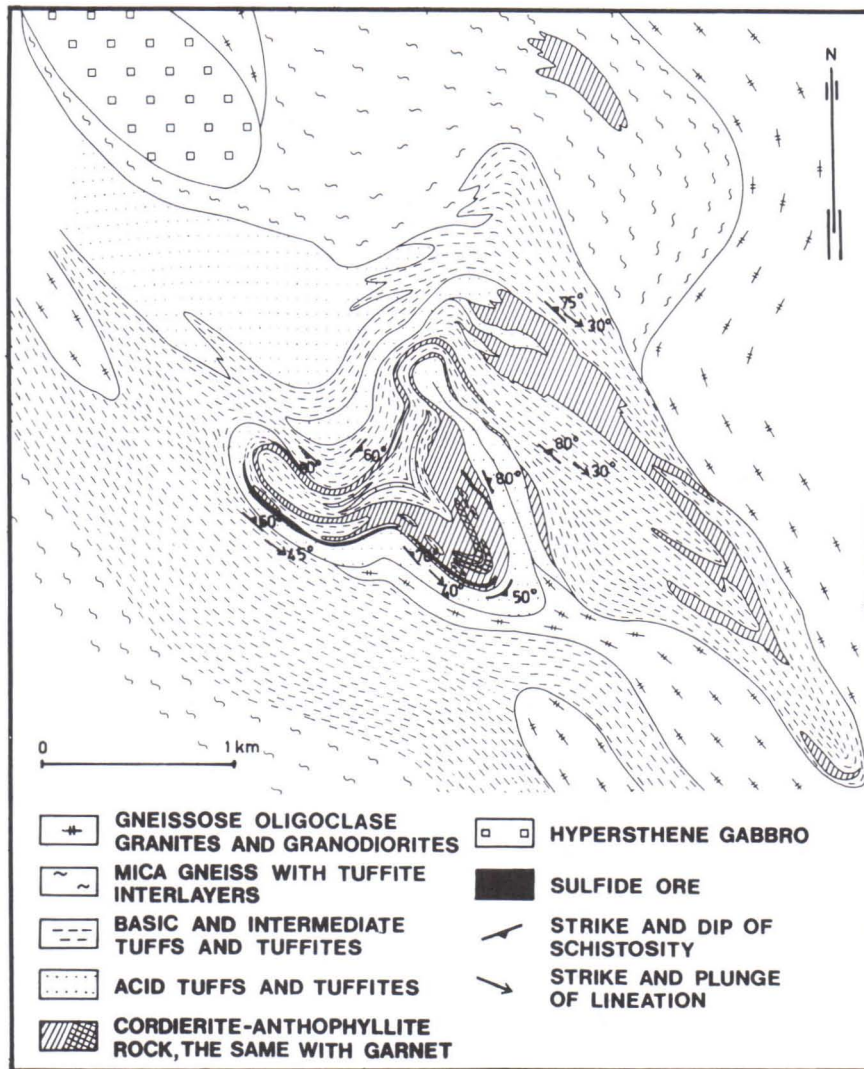
Aijalan – Orijärven alueelta tunnetaan Aijalan Cu-Zn-malmi, Metsämontun Zn-



Kuva 6. Metsämontun malmiesiintymä, +320-taso (Latvalahti 1979).
Fig. 6. Metsämonttu deposit, + 320 level (Latvalahti 1979).



Kuva 7. Metsämontun malmiesiintymä, leikkaus Y = 9,500 (Latvalahti 1979).
 Fig. 7. Metsämonttu deposit, section Y = 9,500 (Latvalahti 1979).



Kuva 8. Kalliokylän esiintymä (Huhtala 1979).
Fig. 8. Kalliokylä deposit (Huhtala 1979).

Pb-malmi ja Orijärven Zn-Cu-malmi sekä useita vähäisiä mineralisaatioita. Nämä malmit liittyvät vulkaniitteihin, ja niille on tyypillistä hydrotermiset muuttumisilmiöt, jotka kivissä näkyvät dolomiittiutumisenä, kvartsiutumisenä ja serisiittiytymisenä sekä rauta-magnesiummetasomatoosina. Nämä merkit viittaavat proksimaalityypiseen malminmuodostukseen (kuvat 6 ja 7).

Myös Vihannin – Pyhäsalmen alueen malmeja pidetään vulkaanisen aktiivisuuden tuotteina, joskin metamorfoosi on monin paikoin tuhonnut tai muuttanut kivien primaarirakenteita. Malmit ovat kerrossidonnaisia rikkikiisu-Zn-Cu-malmeja vulkaanis-sedimenttiossa ympäristössä. Hydrotermiset prosessit ovat liottaneet kivilajeissa Na:a ja Ca:a, ja vastaavasti Mg:n, Fe:n ja Al:n määrät ovat niissä kasvaneet. Metamorfoosin vaikutuksesta on hydrotermisesti muuttuneista kivilajeista syntynyt serisiitti-, antofylliitti- ja kordieriittipitoisia kivilajeja (kuva 8).

Kiuruveden Kalliokylän tapauksessa hydrotermiset muutokset viittaavat proksimaalityyppiin, mutta sedimenttivaltainen ympäristö sopii paremmin distaalityyppiin.

Vulkaniitteihin liittyvien malmien etsintä

Kuten edellä on esitetty, syntyy vulkanismin tuotteina erilaisia kivilajeja, joihin taas liittyy erityyppisiä, pääosaltaan sulfidisia malmiesiintymiä.

Vulkaniitteihin liittyvien malmien etsinnässä on geologisen kartoituksen osuus ratkaiseva. Kartoitusta haittaavat meillä Suomessa paljastumien puute sekä vähäiset resurssit käyttää syväkairausta kallioperäkartoituksen tukena. Tästä syystä malminetsintä tukeutuukin vahvasti geofysiikkaan ja geokemiaan.

Vulkaaniset sulfidimalmit ovat yleensä monimetallimalmeja, ja ne näkyvät geokemian tutkimuksissa anomaalisina metallipitoisuuksina. Fysikaalisesti niille on tyypillistä hyvä sähkönjohtokyky sekä suuri tiheys. Kuitenkin hydrotermisten malmien ympärille liittyy malmia paljon laajempi muuttumisvyöhyke, jonka fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet poikkeavat huomattavasti malmin ja sen muuttumattomien sivukivien ominaisuuksista ja muuttumiskehän vaikutukset saattavat jopa kätkeä varsinaisen malmin. Tämän vuoksi on tärkeää, että tunnemme vulkaaniset prosessit niihin liittyvine malmeineen ja osamme soveltaa tätä tietoa malminetsinnän tarpeisiin.

Kirjallisuusviitteet — References

- Decker, R. & Decker, B., 1981. Volcanoes. Freeman, San Francisco. 244 p.
- Govett, G.J.S., 1983. Rock geochemistry in mineral exploration. Handbook of exploration geochemistry, Vol. 3. Elsevier, Amsterdam. 461 p.
- Huhtala, T., 1979. The geology and zinc — copper deposits of Pyhäsalmi — Pielavesi district, Finland. Econ. Geol. 74, 1069—1084.
- Inkinen, O., 1979. Copper, zinc and uranium occurrences at Pahtavuoma in the Kittilä greenstone complex, northern Finland. Econ. Geol. 74, 1153—1166.
- Latvalahti, U., 1979. Cu-Zn-Pb ores in the Aijala — Orijärvi area, southwest Finland. Econ. Geol. 74, 1035—1060.
- Naldrett, A. J. & Arndt, N.T., 1976. Volcanogenic nickel deposits with some guides for exploration. Society of Mining Engineers, AIME Transactions 260, 13—15.
- Papunen, H., 1983. Vulkanismi ja malminmuodostus. Vulkaniittisymposio 3.—4.3.1983, Pohtimolampi. Moniste, Geologinen tutkimuslaitos ja Lapin Malmi. 1 s.