M 19/37/-89/1/10
Koskee: 3714, 3723, 3732, 3741
Sodankylä
Koitelainen
Tapani Mutanen
16.2.1989

KOITELAISEN MALMITUTKIMUKSET VUOSINA 1979 - 1989

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ 3
YLEISTÄ 6
AIKAISEMMAT JA RINNAKKAISET TUTKIMUKSET 11
TUTKIMUSVAIHEET 11
1. vaihe: kesä 1969 11
2. vaihe: kesäkuu 1973 - kesäkuu 1977 12
3. vaihe: kesä 1977 - syksy 1978 13
4. vaihe: kevät 1979 - kesä 1982 14
5. vaihe: 1983 - 1989 15
MALMITUTKIMUKSET VUOSINA 1979 - 1989 17
Geologiset maastotutkimukset 17
Geokemialliset tutkimukset 18
Geofysikaaliset tutkimukset 22
Kairaukset 25
Kivi- ja malmianalyysit 26
Mikroanalyysit 27
Mineraaliseparoinnit 27
Ikäykset 27
YLEISGEOLOGINEN KATSAUS 28
Paljastuneisuus 28
Rapakalliomuodostus 29
Glasiaaligeologia 30
Kallioperän pääpiirteet 32
Intruusion sivukivet 33
Intruusion sisäinen kerrosrakenne 34
Diabaasijuonet 39
Metamorfoosi 40
Siirrokset 41
MALMIAIHEET 42
UC-kerros 44
LC-kerrokset 55
PGE-aiheet 61
Muita kaivannaisaiheita ja tutkimuskohteita 73
KIRJALLISUUSVIITTEET 75
LIITTEET 81
LIITTYY 81

TIIVISTELMÄ

Sodankylän Koitelaisen emäksisen kerrosintruusion malmitutkimukset alkoivat vuonna 1969, ja ne ovat olleet käynnissä yhtäjaksoisesti, vaikkakin vaihtelevalla intensiteetillä, vuodesta 1973 vuoteen 1989. Malmitutkimusten pitkäpiimäisyys johtuu alueen suuresta koosta, vaikeista ja tutkimuksille kalliiksi tulevista maasto- ja ilmasto-oloista, heikosta ja kivilajiselektiivisestä paljastuneisuudesta, ja ennen kaikkea siitä, että metallirikastumat eivät Koitelaisen intruusiossa ole suostuneet sijoittumaan sillä tavalla kuin oppikirjojen tekijät mielellään haluaisivat.

Tutkimusten lähtökohtana oli 1969 intruusion länsisosasta löytynyt palladiumaihe. Vuosina 1973 - 79 tärkein tutkimuskohde oli intruusion itäosasta paljastumina löytynyt vanadiinipitoinen magnetiittigabro. Vuosina 1977 - 1982 selviteltiin intruusion kerrossarjan ylä- ja alaosissa olevia platinametallipitoisia kromimalmikerroksia. Vuodesta 1982 lähtien on tutkittu intruusion platinametalliaiheita, jotka yleensä sisältävät myös kultaa.

Alue on geologisesti kartoitettu, ja siellä on tehty laaja-alaisia geofysikaalisia maastomittauksia ja pedogeokemiallisia tutkimuksia.

Malmiaiheiden etsimiseksi ja tutkimiseksi on kairattu 84 syväkairausreikää, yhteensä 11 420 m; tästä määrästä on vuosina 1980 - 82 kairattu 25 reikää, yhteensä 5 180 m.

Koitelaisen gabromagma tunkeutui 2.45 miljardia vuotta sitten arkeisen pohjan ja lapponisen sedimentti-vulkaniittisarjan väliin. Intruusion lämpövaikutuksesta sekä jalka- että kattopuolen kivissä esiintyi laajaa sulamista. Anatektiset sulat ja sulamattomat jäännösmineraalifaasit kontaminoivat intruusiota; kontaminaatio vaikutti voimakkaasti intruusion kiteytymiseen ja malminmuodostukseen. Intruusion alakontakti leikkaa jalkapuolen kiviä; samoin intruusion kerrosrakenne on suuressa mittakaavassa diskordantti alakontaktiin nähden. Kerrossarjassa erottuu ultramafinen alavyöhyke (duniitteja, peridotiitteja ja pyrokseniitteja), mafinen, gabroista ja noriiteista koostuvat päävyöhyke ja anortosiiteista, gabroista ja magnetiittigabroista koostuva ylävyöhyke. Kerrossarjan päällä on granofyyri.

Intruusion suurin paksuus on n. 3.2 km. Monet osat intruusiosta ovat liuskeutuneet ja tektonisesti ohentuneet. Intruusion alaosissa on kvartsimontsoniittidiapiirejä, päävyöhykkeen yläosassa ultramafisia pegmatoideja ja ylävyöhykkeen yläosassa granofyyrijuonia. Intruusiota leikkaavat lukuisat diabaasijuonet. Intruusion kivet ovat vaihtelevasti muuttuneet metamorfoosissa. Poimutuksessa intruusio on muovautunut kalotin malliseksi brakyantiformiksi. Lukuisat eri-ikäiset siirrokset jakavat intruusion lohkoiksi.

Alueelta on löytynyt toistakymmentä erityyppistä kaivannaisaihetta, joista monia on tutkittu useissa eri kohteissa: vanadiinipitoinen magnetiittigabro, platinametallipitoinen yläkromitiittikerros, platinametallipitoiset alakromiittikerrokset, useita platinametalliaiheita kerrossarjan alaosassa, peridotiittikerrokseen liittyvä platina-aihe päävyöhykkeen alaosassa, päävyöhykkeen yläosan pigeoniittigabrojen ja noriittien väliseen vyöhykkeeseen liittyvä platinametalliaihe, magnetiittigabroihin liittyvä platinametalli-kulta-aihe, ultramafisiin pegmatoideihin liittyvät platina- ja titaani-vanadiiniaiheet, granofyyrissä oleva kupari-kultamineralisaatio, vermikuliittiaihe ja kaoliiniaiheet.

Yläkromitiitin todettu ja todennäköinen puhkeamapituus on n. 56 km. Kerroksen paksuus on yleensä 1.2 - 1.3 m, ja sen Cr_2O_3-pitoisuus n. 20 %. Kerroksen platinametallipitoisuus (platina, palladium, rhodium, rutenium, iridium, osmium) on keskimäärin 1.1 g/t. Todetut, todennäköiset ja oletetut kromitiittivarat ovat 500 m:n syvyyteen arvioituina n. 360 miljoonaa tonnia.

Intruusion alavyöhykkeessä on lävistetty 4 - 6 kpl yli 30 cm paksua kromitiittikerrosta. Paksuin kerroslävistys on ollut 2.9 m. Näiden ns. alakromitiittikerrosten Cr_2O_3-pitoisuudet vaihtelevat välillä 10.6 - 32.2 %. Kerrosten keskimääräinen platinametallipitoisuus on 1.4 g/t. Kerrosten todettu jatkuvuus on 13 km, todennäköinen jatkuvuus ainakin 20 km. Harvan kairausverkon takia ei malmivaraarviota voi tehdä; joka tapauksessa intruusion alaosiin sisältyy useiden satojen miljoonien tonnien kromiittivaranto.

Intruusion platinametalliaineista pisimmälle on selvitetty magnetiittigabroyksikön ala- ja keskiosiin liittyvää rikastumaa. Täällä on todettu 75 m paksussa kerrossarjassa olevan keskimäärin 0.5 g/t platinaa, kultaa ja palladiumia. Tähän

jalometallirikastumaan sisältyy useita 2.5 - 3 m:n osia, joissa jalometallien määrä on yli 1 g/t. Päävyöhykkeen platinametalliaiheet ja Mukkajärvenaavan pegmatoidiin sisältyvä platinapotentiaali vaatisivat lisäkairauksia. Intruusion epämetallisilla kaivannaisaiheilla (vermikuliitti, kaoliini) ei ole taloudellista merkitystä.

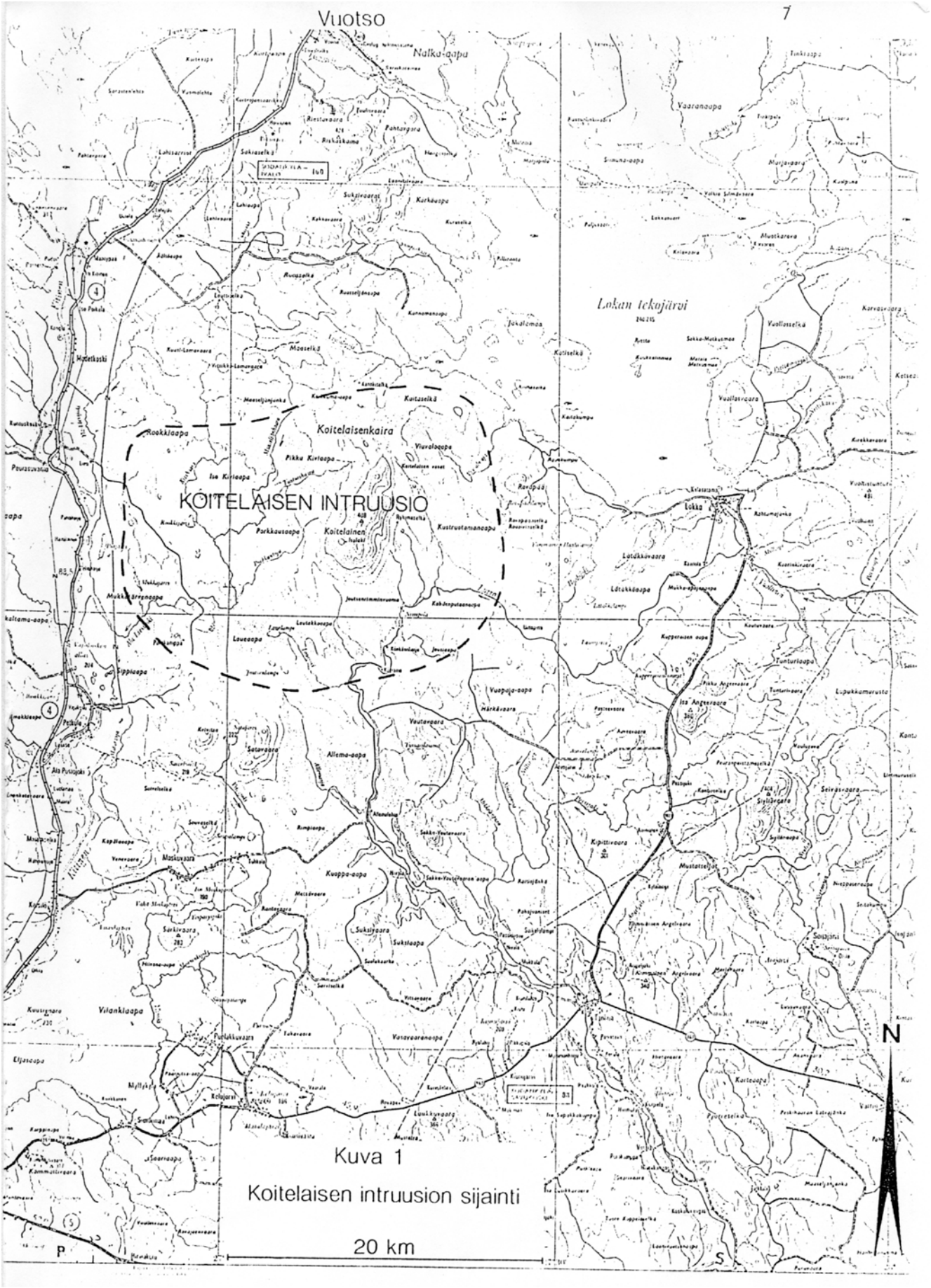
YLEISTÄ

Koitelaisen emäksinen kerrosintruusio sijaitsee Sodankylän kunnan pohjoisosassa Lokan altaan eteläpuolella, pääosiltaan Kitisen ja Luiron välisellä alueella (kuva 1). Se sijoittuu seuraaville 1 : 20 000-mittakaavaisille karttalehdille: 3714 12; 3723 10-11; 3732 03, 06; 3741 01-02, 04-05.

Suurin osa alueesta on loivasti etelään viettävää tasankoa, jonka keskikorkeus pohjoisosassa on n. 260 m mpy, eteläosassa 220 m mpy. Tästä aapasuokompleksin hallitsemasta tasangosta kohoavat eroosiojäänteinä kulutusta kestävimmät ja vähiten rakoilleet kivet: pyrokseenigabrot, magnetiittigabrot ja granofyyrit. Korkein maastonkohta on Koitelaisen tunturi (Keskilaki 407.8 m mpy). Alue kokonaisuudessaan edustaa Suomessa harvinaista mesatopografiaa, jota glasiaalieroosio on muotoillut hyvin vähän.

Länsireunaa lukuun ottamatta intruusion alue on tietöntä ja koskematonta suo- ja metsäerämaata. Valtaosa siitä tulee jäämään suunnitellun Koitelaiskairan luonnonsuojelualueen piiriin (ks. Kansallispuistokomitean mietintö, 1976; Maa- ja metsätalousministeriö, 1979, Hallistuksen esitys Eduskunnalle laiksi Koitelaiskairan luonnonsuojelualueesta, 1989 (?)).

Intruusion länsiosan poikki kulkee 4-tieltä Peurasuvannosta alkava ja Ison Vaiskonselän eteläpuolelle päättyvä ns. Liesin metsäautotie. Kersilöstä Moskuvaaran kautta kulkevaa tietä pääsee intruusion eteläreunalle Könkäänharjuun, Lokasta metsäautotietä Palsokkaan lähelle intruusion koillisnurkkaa. Pohjoisesta ns. Mäntypään tieltä haarautuvaa uutta huonokuntoista tieuraa pääsee maastoautolla Maaselän pohjoisreunalle, n. 5 km:n päähän intruusion pohjoisreunasta. Koitelaisen tutkimusten alkuvuosina kuljettiin usein veneellä Vuotsosta Lokan altaan yli Kaitaselkään tai Viuvalo-ojalle lähelle intruusion pohjoisreunaa. Korkean veden aikaan pääsee intruusion kaakkoisreunaan laskemalla veneellä Luiroa pitkin lokasta Neitikäisen koskille. Intruusion kaakkoisreunalle pääsee nykyisin myös Lokan-Tanhuan väliseltä tieltä lähtevää metsäautotietä Neitikäislehtoon asti.



Kuva 1

Koitelaisen intruusion sijainti

Geologian tutkimuskeskus (vuoteen 1984 Geologinen tutkimuslaitos) on tutkinut Koitelaisen intruusiota vuodesta 1969. Tutkimuksia ja niiden tuloksia on selostettu lukuisissa muistioissa, raporteissa, opinnäytteissä ja julkaisuissa. Tärkeimpiä malmitutkimuskohteita vuoteen 1979 asti olivat intruusion kerrossarjan yläosassa sijaitsevat V-rikkaat magnetiittigabrot ja v. 1977 löytynyt kromitiittikerros, ns. Yläkromiitti (seuraavassa UC-kerros; UC = Upper Chromitite). Nämä tutkimukset saatiin päätökseen intruusion itäosassa 1979 (Mutanen, 1979a). Tulosten perusteella KTM velvoitti GTK:n jatkamaan kromimalmietsintöjä. Sen jälkeen tutkimusten pääpaino vuoteen 1983 asti oli UC-kerroksen jatkeiden ja 1981 löytyneiden LC-kerrosten (LC = Lower Chromitite) tutkimuksissa. Viime vuodet on selvitelty aikaisemmin tunnettuja PGE-aiheita, vanhaa näyteaineistoa analysoitaessa löytyneitä uusia PGE-rikastumia ja intruusion yleistä PGE-potentiaalia.

Tutkimuksissa on magman kiteytymisestä ja intruusion rakenteesta saatu tyydyttävä yleiskuva. Lisäksi on monista, varsinkin kairauksin lävistetyistä kivistä ja malmikerroksista koottu paljon yksityiskohtaista ja petrologisesti merkittävää erikoistietoa. Intruusion stratigrafia tunnetaan kuitenkin vielä puutteellisesti, ja siihen jää monia malminmentäviä aukkoja. Tämä koskee varsinkin mahdollisia PGE-rikastumia.

Eräs pahimmista puutteista on, ettei jäähtymiskontaktien kivistä ja kerrossarjan kumulaateista ole käytettävissä kattavaa ja edustavaa kivilajianalyysitietoa.

Koitelaisen tutkimukset ovat kestäneet poikkeuksellisen pitkään. Tähän on monia syitä:

1. Kyseessä ei ole yksittäinen malmiaihe vaan 660 km^2:n laajuinen alue. Se vastaa likimain Helsingin, Espoon ja Vantaan yhteenlaskettua pinta-alaa, tai lähes puolta Ahvenanmaan läänin maapinta-alasta.

2. On selvää, että näin suurelle alueelle mahtuu paljon tutkittavia kohteita. Koitelaisessa on löytynyt 12 erityyppistä kaivannaisaihetta, magmaattisista kumulaateista (kromitiitti) supergeenisiin rikastumiin (vermikuliitti, kaoliini). Lisäksi on GTK tutkinut lukuisia aiheita Koitelaisen lähiympäristössä:

Utsamokoski, Cu (Mutanen, 1988a), Tussarinlammit, magneettinen anomalia (Mutanen, 1982b), Povivaara, Cu-Co-Pd (Karvinen, 1983), Ylä-Liesijoki, Co (Murtovaara, 1985), Maaselkä, Cu-Co (Rossi, 1983; Pulkkinen & Rossi, 1984). Koitelaisen eteläpuolella sijaitsevan Keivitsa-Satovaara-kompleksin (Cu-Ni-Co, PGE, grafiitti, rakennuskivet) tutkimukset alkoivat 1983 ja ne jatkuvat edelleen (ks. Mutanen 1988c).

3. Maasto- ja ilmasto-olot ovat vaikeat. Laajat, monin paikoin ylipääsemättömät suot ja vaikeasti ylitettävät joet hidastavat kulkemista ja vaikeuttavat erityisesti kairauksen huoltoa. Pehmeän hangen, pimeyden ja kylmyyden takia ei keskitalvella ole tehty mittauksia eikä kairauksia. Kairauksen vesilinjat ovat useimmiten olleet pitkiä ja niiden huolto on vuodenajasta riippumatta ollut työlästä. Alkukesän tulva-ajaksi tutkimukset on useimmiten jouduttu keskeyttämään. Geofysikaaliset maastomittaukset ja kairaukset on yleensä tehty lyhytaikaisina iskuina keväällä hankikelin aikaan. Viitenä talvena on kulkemisen ja huollon helpottamiseksi pidetty auki metsäautoteitä ja raivattu niiltä lähteviä talvitieuria. Helikopteria käytettiin kairauksen huoltoon ja työmaakuljetuksiin vuosina 1975, 1976 ja 1982. Kairaajien ja mittaajien päivittäiset työmatkat ovat olleet pitkiä, ja ne on usein tehty kävellen. Majoitusolot ovat vaihdelleet primitiivisistä välttäviin.

Kartoituksessa on paljastumien etsintään käytetty lentokoneita ja helikoptereita. Kokemukset ovat kuitenkin osoittaneet, etteivät tälle alueelle tyypilliset matalat ja jäkälöityneet rakkapaljastumat läheskään aina ilmasta erotu, joten alue on pitänyt kävellä läpi.

4. Koitelaisen intruusio on osoittautunut geologisesti omalaatuiseksi ja yllätykselliseksi. Yleensä löytöjä ei ole voitu analogioiden avulla suunnitella etukäteen. Monet metallirikastumat ovat "väärässä", jopa paradoksaalisessa stratigrafisessa asemassa (UC, magnetiittigabrojen PGE). Niinpä tutkimukset ovat edenneet pikemmin intuition varassa kuin deduktiivisesti. Tyypillistä on ollut toisaalta tiedon hidas "akkreetio", joka on ohjannut lisänäytteenottoa ja vanhan näyteaineiston analysointia, jopa vanhan analyysiaineiston uudelleen analysointia; toisaalta ennakoimattomat löydöt ovat aiheuttaneet tutkimusten hyppäyksellistä aktivoitumista. Tutkimusten kululle kuvaavaa on, että vaikka ne alun alkujaan suunnattiin sulfidisten Ni-Cu-malmien löytämiseksi, näitä ei ole vieläkään löydetty;

sen perusteella mitä Koitelaisen intruusiosta nyt tiedetään on Ni-rikkaiden sulfidirikastumien olemassa olo jopa erittäin epätodennäköistä.

5. Paljastuneisuus on heikkoa, alueellisesti epätasaista ja selektiivistä. Eräänlaisena Murphyn lain korollaarina voi todeta, että malmien kannalta melko mielenkiinnottomat kivet (esim. päävyöhykkeen monotoniset gabrot) ovat hyvin esillä, kun taas magmaattisille malmeille otollisia reversaaleja, kumulussarjan olkauksia, kontrastisia kerrossarjoja ja malmikriittisiä kumulaatteja (pyrokseniitit, anortosiitit) ei paljastumina juuri esiinny. Tietoa paljastumattomista osista on täytynyt kerätä täryporanäytteenotolla moreeninalaisista rapakallioista, ja syväkairauksella. Tunnustelevaa "entäpäs jos" -kairausta on Koitelaisessa tehty paljon, mutta vieläkin aivan liian vähän. Lisävaikeutena paljastumattomissa osissa on, ettei intruusion kivilajeilla ole yleensä sellaisia selviä, kivilajispesifisiä, homogeenisia ja varsinkaan yksiselitteisiä petrofysikaalisia ominaisuuksia, että geofysikaalisilta kartoilta voitaisiin tehdä kivilajitulkintaa.

Etuna Koitelaisessa, moniin muihin alueisiin verrattuna, on ollut se, ettei lohkare-etsintää ja moreenigeokemiallisten anomalioiden jäljitystä ole tarvinnut tehdä. Liioin ei ole tarvittu varsinaista etsintäkairausta; kairaus on useimmiten ollut alusta alkaen malmikerroksen laajuuden ja laadun selvittämistä. Malmikerrokset ovat lateraalisesti erittäin jatkuvia, joten niihin on ollut yleensä helppo osua.

Eduksi voidaan katsoa sekin, että Koitelainen on sitonut erittäin vähän tutkijaresursseja.

Tässä raportissa kerron vuosina 1979 - 1988 tehdyistä tutkimuksista; lisäksi esitän Koitelaisen tutkimushistorian vuodesta 1969 lähtien, luettelon löydetyistä kaivannaisaiheista ja karttoina geofysikaaliset mittausalueet ja geokemialliset näytteenottolinjat.

Tutkimuksia on johtanut O. Auranen.

AIKAISEMMAT JA RINNAKKAISET TUTKIMUKSET

Koitelaisen intruusio on tunnettu Erkki Mikkolan geologisesta yleiskartoituksesta alkaen (Mikkola, 1937, 1941). Intruusion lounaisnurkka on mukana uudella 1 : 100 000 -mittakaavaisella geologisella kartalla (lehti 3714, Sattanen; Tyrväinen 1980, 1983). Tekeillä olevaan karttalehteen 3723, Peurasuvanto (Pekka Pihlaja, Tuomo Manninen), sijoittuu intruusion luoteisnurkka. Nämä osat on yleisluontoisesti esitetty Keski-Lapin geologisella kartalla 1 : 200 000 (Lehtonen ym., 1984).

Koko alueelta on käytettävissä aeromagneettiset ja aerosähköiset korkea-ja matalalentokartat, matalalentoihin perustuvat magneettiset harmaasävykartat, alueelliset painovoimakartat, geokemialliset moreenikartat ja orgaanisen purosedimenttiaineksen geokemialliset kartat; lehdiltä 3723 ja 3741 on mineraalisen purosedimenttiaineksen geokemialliset kartat. Peurasuvannon lehdeltä (3723) on ilmestynyt geokemiallisten karttalehtien selitys (Lestinen, 1980).

Penttilän (1961) ilmakuvatulkintaan perustuva murrostektoninen tutkimus käsittelee alueen keski- ja eteläosia. Alueen länsiosista on julkaistu pedogeokemiaa ja kallioperää koskevia julkaisuja ja opinnäytteitä (Tanskanen, 1976; Puustinen, 1977; Stigzelius, 1977; Isomaa, 1978; Peltonen, 1986; Peltonen ym., 1986; Pihlaja & Manninen, 1988; Peltonen, 1988). UC-kerroksen geofysikaalisista tutkimuksista on tehty opinnäyte (Neitiniemi-Upola, 1984).

TUTKIMUSVAIHEET

1. vaihe: kesä 1969

Tutkimukset Koitelaisen alueella käynnisti GTL:n maaperäosaston kevättalvella 1969 Rookkijärveltä, intruusion länsiosasta, löytämä Ni-anomaalinen rapakallionäyte. Myöhemmin selvisi, että kyseessä on duniittirapautuma, eikä aihe sinänsä innostanut enempiin tutkimuksiin. Kesällä 1969 geologi Eero Nenosen ryhmä kartoitti kallioperää ja teki lohkare-etsintää laajoilla alueilla intruusion länsiosissa. Näiden maastotutkimusten aikana löytyi Rookkijärven eteläpuolelta rakkalohkareina sulfidipirotteista plagioklaasipyrokseniittia. Kiven Ni-pitoisuus oli alhainen,

mutta lievästi anomaalinen Pd-pitoisuus, kivilajityyppi ja sijainti intruusion alaosassa herättivät toiveita Merensky Reef-tyyppisestä PGE-rikastumasta.

Riikonkosken Cu-aiheen löytyminen Kittilässä samana kesänä keskeytti kuitenkin tutkimukset useiksi vuosiksi. Vastaisen varalle Suomen Malmi Oy teki GTL:n antamana urakkana Rookkijärven alueella magneettisen ja sähkömagneettisen mittauksen syksyllä 1969.

Rookkijärven sulfidiaihetta päästiin kairaamaan syksyllä 1973. Kivien ruhjeisuudesta johtuvan heikon sydänsaannin, siirrosten, ksenoliittien ja leikkaavien juonien takia ei aiheen arvosta ja tarkasta geologisesta asemasta saatu selvää käsitystä; kokonsa ja pitoisuuksiensa puolesta se vaikuttaa taloudellisesti merkityksettömältä.

2. vaihe: kesäkuu 1973 - kesäkuu 1977

Intruusion pintageologia tunnettiin heikosti. Tämän tutkimusjakson aikana kartoitettiin intruusion ja sivukiven alueita, ja näytteitä tutkittiin mikroskooppisesti. Malmiaiheet löytyivät kartoituksen sivutuotteina.

Elokuussa 1973 löytyi Koitelaisen tunturista Lakijängän alueelta PGE-anomaalisia magnetiitti-ilmeniittirikkaita ultramafisia pegmatoideja. Alueella tehtiin pieni-alainen magneettinen ja sähkömagneettinen mittaus talvella 1976. Magneettisia piippumaisia pegmatoideja kairattiin lyhyillä rei'illä kesäkuussa 1976. Pitoisuudet ja malmimäärät todettiin pieniksi.

Syyskuusssa 1973 löytyi intruusion itäosasta Koitelaisenvosilta laajoina rakkapal-jastumina magnetiittipirotteisia gabroja. Kiven magnetiitti oli huomattavan V-rikasta (parhaimmillaan 2.4 % V). Kesän 1974 kartoituksessa varmistui, että magnetiittigabro on huomattavan paksu ja lateraalisesti jatkuva kerros (tai kerrossarja). Kun kiven magnetiittipitoisuus oli parhaimmillaan samaa luokkaa ja magneettisen rikasteen V-pitoisuus huomattavasti korkeampi kuin Mustavaaran kaivoksen malmissa, aloitettiin alueella geofysikaaliset maastomittaukset kevät-talvella 1975. Mittausaluetta laajennettiin 1977. Kairaukset aloitettiin kevättalvella 1976. Niiden edistyessä ja analyysien valmistuttua selvisi, että ne osat

magnetiittigabrokerroksesta, joissa V-rikasta magnetiittia esiintyy, olivat muodoltaan epäsäännöllisiä ja huomattava osa V:sta oli sitoutunut metamorfoosissa magnetiitin kustannuksella syntyneisiin sekundaareihin silikaatteihin. Kairauksista oltiin jo luopumassa, kun kesäkuussa 1977 pitkälle magnetiittigabrojen alapuolelle ulotettu reikä lävisti kromitiittikerroksen. Tämän UC-kerroksen selvitykset muodostivat seuraavan tutkimusvaiheen.

Jo ennen V-aiheen kairauksia ja rinnan niiden kanssa selviteltiin edellä mainittujen Rookkijärven ja Lakijängän kohteiden lisäksi muita malmiaiheita. Kaitaselästä oli kesällä 1974 löytynyt kompakti Au-pitoinen kuparikiisujuoni, johon syksyllä 1975 kairattiin kolme reikää. Juoni osoittautui ohueksi, katkonaiseksi ja Au-köyhäksi. Vielä keväällä 1979 yritettiin juonen jatkeita tavoittaa kairaamalla, mutta kairatut kaksi reikää epäonnistuivat toistuvien ajoputkirikkojen vuoksi.

Matalalentokartalta löytyi intruusion länsiosasta voimakas magneettinen anomalia. Tässä Mukkajärvenaavan kohteessa tehtiin pienialainen magneettinen ja sähkömagneettinen maastomittaus talvella 1976.

Geofysiikan osasto teki gravimetrisen hajapistemittauksen (pistetiheys 1/2.7 km^2) koko intruusion alueelta 1975.

3. vaihe: kesä 1977 - syksy 1978

UC-kerrosta kairattiin Koitelaisenvosien - Viuvaloaavan alueella. Kaikissa kahdeksassa etsintäreiässä tavoitetiin keskimäärin 1.3 m paksu kromitiittikerros. Puhkeaman läheltä kairattiin lisäksi kymmenen lyhyttä, suuriläpimittaista reikää näytteen saamiseksi rikastus- ja metallurgisiin kokeisiin. Kaikki malmilävistykset (yht. n. 80 kg) lähetettiin jatkotutkimuksiin Outokumpu Oy:n metallurgiseen tutkimuslaitokseen Poriin. Outokumpu Oy ei ole antanut GTK:lle kirjallista selvitystä tutkimustuloksista. Raportti Koitelaisenvosien V- ja Cr-PGE-tutkimuksista valmistui tammikuussa 1979.

Tämän vaiheen aikana tehtiin vain vähän geofysikaalisia mittauksia. Intruusion alaosan kromiittipotentiaalin selvittämiseksi mitattiin Rookkiaavan-Kiviaavan alueella gravimetrisiä profiileja. Yhdessä profiileista näkyi painaviin ultramafisiin kumulaatteihin viittaavia piirteitä, ja niiden perusteella tehtiin myöhemmin geokemiallista näytteenottoa. Koitelaisenvosilla kokeiltiin UC:n paikantamiseksi VLF-R-mittausta.

4. vaihe: kevät 1979 - kesä 1982

KTM velvoitti GTK:n jatkamaan Koitelaisen malmitutkimuksia. UC-kerroksen jatkeita selviteltiin joka puolella intruusiota. Kerros lävistettiin kahdella reiällä intruusion lounaisosassa ja yhdellä reiällä länsiosassa; lisäksi se tavattiin kaivannossa Jänessaaressa intruusion lounaisnurkassa, ja Mukkajärvellä, intruusion länsireunalla. Kevättalvella 1981 otettiin kaivinkoneella Jänessaaren kaivannosta iso kromitiittinäyte, joka kuljetettiin kuorma-autolla Liesin pirtille. Ns. Liesin pirtin UC-lävistyksen kohdalle kaivettiin tutkimuskaivanto kesällä 1982. Eräässä kaivannossa paljastui kaolinisoitunutta granofyyriä.

Intruusion pohjoisreunalla Kaitaselän länsipäässä lävistettiin kairauksessa UC:n esiintymistasolla vain paksu basalttiksenoliitti, mutta ei kromitiittikerrosta. Intruusion etelä- ja kaakkoisosien kairauksissa ilmeni, että siellä kromitiittikerrokset ovat murskaleisia ja primaaristi häiriintyneitä; kromiittia tavataan murskaleiden yhteydessä ohuina raitoina.

Magneettisia ja sähkömagneettisia maastomittauksia tehtiin Louejoella 1979, Kiviaavalla 1978 - 1979 ja 1981, ja Rookkijärven alueella 1980 -1981. Samaan aikaan gravimetrattiin osa Rookkiaavan ja Kiviaavan mittausalueista. Jänessaaren UC-puhkeaman kohdalla tehtiin pienialainen VLF-R-mittaus talvella 1982 (ks. Neitiniemi-Upola, 1984).

Mukkajärvenaavan magneettinen piippu lävistettiin yhdellä reiällä kevättalvella 1981. Kevättalvella 1982 tässä kohteessa tehty painovoimamittaus varmensi, että kyseessä on huomattavan suuri magnetiitti-ilmeniittirikas massa (Mutanen 1982).

Uutena kohteena tutkittiin intruusion alaosan kromitiittikerroksia. Jo 1973 Rookkijärvellä tehdyissä kairauksissa ilmeni petrologisia viitteitä kromiittirikastumien esiintymisestä intruusion alaosissa. Gravimetrisen profiilin perusteella valituista kohdista otettiin Porkkausaavalla täryporalla moreeni- ja rapakallionäytteitä keväällä 1980. Erään Cr-rikkaan moreeninäytteen kohdalla näytteenottoa tihennettiin, ja yhdessä pisteessä osuttiin kromitiittirapakallioon. Kevättalvella 1981 ja 1982 lävistettiin täällä neljällä syväkairausreiällä lukuisia kromitiittikerroksia ja pirotteisia kromiittirikastumia pyrokseniiteissa. Myös Keikkuma-aavalla, Porkkausaavasta n. 8 km pohjoiseen, osuttiin täryporanäytteenotossa kromitiittikerrokseen kevättalvella 1981. Geokemiallisten PGE-tutkimusten näytteenotossa saatiin 1985 kromiittirikas pyrokseniittinäyte Loueaavalta, n. 5 km Porkkausaavasta lounaaseen. Nämä LC-kerrokset sisälsivät säännöllisesti anomaalisia, mutta ei koskaan todella merkittäviä PGE-pitoisuuksia.

Intruusion pohjimmaisten osien selvittämiseksi tehtiin Rookkijärven alueella laaja täryporanäytteenotto, ja kesällä 1981 kairattiin Kivelän alueella profiiliin neljä reikää. Lävistetyissä paksuissa duniittikerroksissa ei ollut sulfidi- tai kromiittirikastumia.

Päävyöhykkeen alaosaan kairattiin 1982 Keskilaelta Koitelaisen tunturin päältä päävyöhykkeen alaosaan reikä, joka lävisti mielenkiintoisen, Stillwaterin PGE-esiintymän kaltaisen peridotiittisen kerrossarjan. Tämän alaosassa oli usean metrin paksuinen Pt-anomaalinen kerros.

5. vaihe: 1983 - 1989

Näinä vuosina ei alueella kairattu. Koitelaisenvosien UC-puhkeamalla kokeiltiin geofysikaalisten menetelmien, mm. IP:n, purevuutta kromitiittiin. Vuonna 1985 tehtiin pitkien aeromagneettisten anomaliajaksojen selvittämiseksi magneettinen ja sähkömagneettinen mittaus Kahdenputaanaavan-Jousiaavan alueella intruusion kaakkoisosassa.

Geofysiikan osaston Lauri Pesosen ryhmä otti näytteitä Koitelaisen gabrosta ja sitä leikkaavasta diabaasijuonesta kesällä 1983 paleomagneettisia tutkimuksia varten.

Vuosina 1983 ja 1985 tein revidointi- ja täydennyskartoitusta intruusion länsi- ja lounaisosassa. Geologiset tutkimukset vuosina 1984 - 1987 olivat pääasiassa aikaisemmin kertyneen aineiston selvittelyä. Kun Koitelaisen tunturin itäpuolelta Rykimäselästä 1974 kartoitusnäytteenä otetusta noriitista löytyi 1984 analyysissä 7.5 ppm PGE, suuntautuivat tutkimukset yhä enemmän intruusion PGE-potentiaalin selvittämiseen. Rykimäselässä otettiin kevättalvella 1985 moreenigeokemiallisia näytteitä täryporalla. Samaan aikaan tehtiin kohteessa pienialainen magneettinen ja sähkömagneettinen mittaus. Kesällä 1985 otettiin kalliopaljastumista Minidrill-poralla näytteitä. PGE-Au-pitoisuudet osoittautuivat näissä oikullisiksi ja keskimäärin heikommiksi kuin ensimmäisissä näytteissä.

Jo 1979 oli saatu heiveröinen viite, että magnetiittigabroon saattaisi sisältyä PGE-rikastumia. Vuosina 1984 - 1987 analysoitiin Koitelaisenvosien kairauksien analyysijauheita, aluksi pistokoemaisesti ja myöhemmin systemaattisesti kahdesta magnetiittigabrolävistyksestä. Ilmeni, että kyseessä on poikkeuksellinen ja geokemiallisesti erittäin merkittävä PGE-Au-rikastuma.

Vuonna 1985 aloitettiin kohteellisten PGE-aiheiden tutkimusten ohella koko intruusiota käsittävä PGE-ohjelma. Siinä on käytetty toisaalta laajaa moreeni-näytteenottoa, toisaalta on halkaistu ja analysoitu sopivasti ja yhtenäisesti stratigrafiaa lävistävien syväkairausreikien näytteitä. Moreeninäytteenotto tehtiin pitkinä itä-länsisuuntaisina linjoina intruusion eteläosassa; näytteenotolla oli tarkoitus siepata ala- ja päävyöhykkeessä olevista mahdollisista PGE-rikastumista lähteneitä moreenianomalioita distaalipuolelta. Ainoa merkittävä, n. 500 ppb:n anomalia löytyi rapakallionäytteestä Loueaavan pohjoisosassa. Kivi on kromiit-tirikas pyrokseniitti, ja kuuluu mahdollisesti LC-kerrosten eteläisiin jatkeisiin.

Kairansydännäytteiden PGE-tutkimusta varten valittiin intruusion päävyöhykkeen alaosaa ja alavyöhykkeen yläosaa lävistävistä rei'istä mahdollisimman kattava, eri reikien lävistyksistä koostuva näytesarja. Samanlainen yhtenäinen näytesarja on valittu intruusion yläosan rei'istä; tämä sarja ulottuu magnetiittigabron yläosasta n. 100 m UC:n alapuolelle päävyöhykkeen yläosan kiviin. Näytteistä on analysoitu Au ja Pd; mikäli merkittäviä pitoisuuksia esiintyy, analysoidaan niistä lisäksi Pt ja tarpeen vaatiessa muut PGE:t. Kokemusten mukaan on erittäin epätodennäköistä, että tämän Pd-Au-seulan läpi menisi huomaamatta näytteitä, joissa olisi talou-

dellisesti merkittäviä muiden platinaryhmän metallien pitoisuuksia. Tämä ohjelman osa on vielä kesken. Tällä hetkellä tiedetään jo melkoisella varmuudella, ettei alavyöhykkeen pyrokseniitteihin ja päävyöhykkeen alimpiin gabroihin ja pyrokseniittivälikerroksiin liity taloudellisesti merkittäviä PGE-Au-rikastumia.

Kesällä 1988 valikoin Koitelaisen ja Keivitsa-Satovaaran intruusioiden eri tyyppisistä PGE-aiheista 57 näytettä, jotka lähetettiin Kanadaan analysoitaviksi. Tulokset saatiin tammikuussa 1989. Koitelaisen intruusion osalta tulokset eivät oleellisesti muuttaneet sitä kuvaa, joka GTK:n omissa laboratorioissa eri menetelmillä analysoitaessa oli saatu.

Hyödyllisten tutkimusten ohella on tehty perustutkimusluontoisia selvityksiä mm. oliviinin sulasulkeumista, klooriapatiitista, loveringiitista, sivukivikontaminaatiosta yleensä ja halogeenikontaminaation merkityksestä PGE-malminmuodostukselle erityisesti. Osa tuloksista on julkaistu (Tarkian & Mutanen, 1987; Mutanen ym., 1987, Mutanen, ym., 1988).

MALMITUTKIMUKSET VUOSINA 1979 - 1989

Geologiset maastotutkimukset

Olen kartoittanut intruusion kaakkois-, etelä-, lounais- ja länsiosia. Etelässä kartoitusalue laajeni käsittämään Keivitsa-Satovaara-kompleksin, josta 1983 löytyneiden PGE-viitteiden jälkeen tuli uusi erillinen tutkimusalue.

Alueen länsiosissa oli vuosien varrella tehty geologista kartoitusta vaihtelevalla tarkkuudella ja kokemuksella, ja erilaisin näkemyksin. Näillä alueilla kartoitus on ollut revidointia ja tarkennusta; sen jälkeen olen voinut luoda koko Koitelaisen alueelle yhtenäisen muodostuma- ja kivilajinimistön. Uusia merkittäviä kivilajiyksiköitä on löytynyt; mm. hapan vulkaaninen breksiavyöhyke Sadinojan itäpuolelta, ja useita, intruusion alaosan kumulaatteja lävistäviä montsoniitti-diapiirejä Rookkijärven-Kivelän väliseltä alueelta. Kivelän-Rookkijärven alueen

pienirakeisilla diabaasimaisilla kivillä ja PGE-anomaalisilla sulfidimineralisaatioilla on geneettinen yhteys montsoniittidiapiireihin.

Porkkausaavan-Keskilaen ja Kivelän kairaukset ovat huomattavasti kohentaneet tietämystä intruusion alaosan kerrossarjasta, mutta eivät ole oleellisesti muuttaneet geologista karttakuvaa. Kairauksissa Kaitaselässä ja intruusion kaakkoisosassa ilmeni, että UC:n tasolla intruusion kerrossarja on paikoin voimakkaasti häiriytynyt.

Olen tutkinut täryporauksella saadut rapakallionäytteet silmämääräisesti, usein lisäksi stereomikroskoopilla, ja niistä on tehty n. 160 ohuthiettä ja kiillotettua ohuthiettä ja 12 pintahiettä. RP-näytteistä on ollut huomattavaa apua geologisen kartan laatimiselle. RP-näytteenotolla on lisäksi saatu ensimmäiset näytteet LC-kerroksista, ja sillä on paikannettu Jänessaaren UC-puhkeama kohdassa, missä sen geologisin perustein piti ollakin.

Tutkimuskaivantoja on UC:n paikantamiseksi avattu Jänessaaressa, Mukkajärvellä ja Liesin pirtin itäpuolella. Kaivannot on merkitty karttaan, liite 2.

Kallioperäkartoituksen aikana olen tehnyt havaintoja lohkareina esiintyvästä laikukkaasta anortosiitista, joka kokemuksen mukaan aina (ja vain) liittyy UC-kerrokseen. Isosta Vaiskonselästä löytyneen lohkareen perusteella saattoi päätellä, että laikukas anortosiitti, ja myös UC-kerros, tulevat pintaan proksimaalipuolella. Kairauksessa tämä osoittautui todeksi.

Geokemialliset tutkimukset

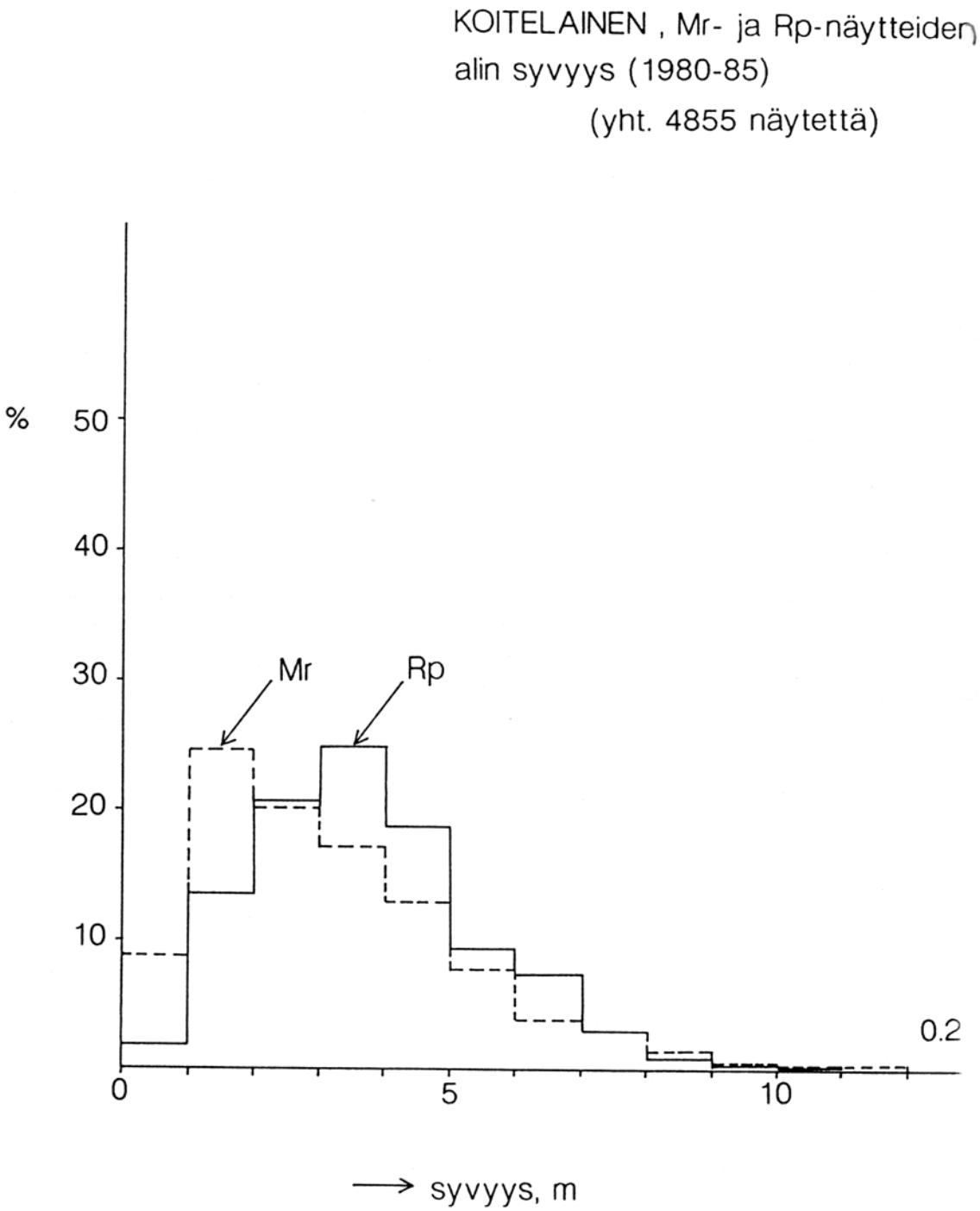
Aikaisemmin on pedogeokemiallista näytteenottoa tehty vain Kaitaselän-Viuvaloaavan alueella 1975 (Mutanen, 1976a).

Vuosina 1980 - 1985 on Koitelaisessa otettu täryporaamalla 4855 näytettä. Jokaisessa näytteenottopisteessä on pyritty rapakallioon, mutta jos siinä ei ole onnistuttu, on otettu alin MR-näyte. Näytteiden syvyysjakauma on esitetty kuvassa 2. RP-näytteiden jakauma on normaali, MR-näytteiden lognormaali. Rookkijärvellä otettu suuri näytemäärä vaikuttaa sen, että RP-jakaumassa 1 - 3 m:n syvyydet ovat yliedustettuja.

Rapakallioon pääsy riippuu eniten moreenin lohkareisuudesta, vähemmän moreenin paksuudesta; kuvassa 2 näkyy, että MR-näytteitä on saatu jopa 15 m:n syvyydestä. RP-näytteen saanti vaihtelee paljon alueen eri osissa. Suoalueilla, ja tasankoalueilla yleensä, on rapakallioon ylletty usein ja melko vaivattomasti. Rapakallionäytteitä on saatu parhaiten Kiviaavan-Porkkausaavan alueilta, Kaitaselästä ja Rookkijärven-Rookkiaavan alueelta. Intruusion pohjois- ja eteläreunoilta RP-näytteitä on saatu vähemmän. Runsaslohkareisilla moreeniselänteillä (esim. Kuivakoskenmaa) on rapakallioon päästy vain satunnaisesti. Toisaalta on muistettava (ks. jäljempänä), että kiilteettömistä eruptiivikivistä ei ole syntynyt täryporalla läpäistävää grussifikaatiorapakalliota; tämän takia esim. terveistä Koitelaisen pyrokseenigabroista ei ole koskaan saatu rapakallionäytteitä.

Laajoilla alueilla intruusion kaakkoisosassa moreenit ovat paksuja ja lohkareisia; siellä RP-näytteen saanti on ollut kirjaimellisesti kiven alla.

Täryporanäytteenottoa on käytetty ensi sijassa kivilajitiedon hankkimiseksi. Yksittäisissä kohteissa (esim. Porkkausaapa, Jänessaari, Rykimäselkä) on pyritty paikantamaan malmipuhkeamia lyhyillä, tiheäpistevälisillä (1 - 10 m) linjoilla. Rookkijärvellä etsittiin kromiittirikastumia laajalla näytteenotolla, tuloksetta. Rookkijärvellä 1982 otetuista MR-RP-näytteistä on 651 vielä käsittelemättä ja analysoimatta.


KOITELAINEN , Mr- ja Rp-näytteiden
alin syvyys (1980-85)
(yht. 4855 näytettä)
%
50
40
30
20
10
Mr
Rp
0.2
0
5
10
syvyys, m

Kuva 2.

Vuosina 1980 - 1981 otetuista MR-RP-näytteistä on tehty "kvantometrianalyysit". Porkkausaavan etsintälinjojen näytteistä on analysoitu Ni, Cu ja Cr. Vuosina 1984 - 1985 tehtiin intruusion etelä- ja länsiosissa laaja näytteenotto PGE-rikastumien paikantamiseksi. Näistä näytteistä analysoitiin Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Au ja Pd. Geokemian osaston HP-kartoituksesta on käytettävissä mm. Te- ja Pd-analyysit lehdiltä 3714 12, 3723 10-11, 3741 01-02 ja 3741 04-05, Pd-analyysit lisäksi lehdeltä 3732.

Geokemian osaston karttalehtinäytteenoton näytteet on käytetty hyväksi. Kvantometrianalyysien ja RP-näytteiden silmämääräisen tarkastelun perusteella on yleensä helposti voitu määritellä rapakallion kivilaji. Tarvittaessa on käytetty hyväksi stereomikroskooppia ja näytteistä tehtyjä ohuthieitä.

Malmiosaston näytteenottolinjat on esitetty kartalla, liite 3. Tähän karttaan on merkitty myös geokemian osaston näytteenottolinjat.

Rapakallionäytteitä saadaan helpoimmin biotiitti-flogopiittipitoisista, grussifikoituneista kivistä (pyrokseniitit, biotiittipitoiset granofyyrit, kromitiitit, kiilleliuskeet ja kiillearkoosit) ja kloriitti-, serpentiini- ja talkkirikkaista kivistä (erilaiset komatiitit, peridotiitit, talkkiutuneet pyrokseniitit). Gossan-näytteitä on saatu sulfidi- ja karbonaattipitoisista kivistä; useimmiten kyseessä on rakojuonia.

Pitoisuudeltaan tai kivilajiltaan malminetsinnällisesti merkittävät RP-MR-näytteet on lueteltu taulukossa 1.

Taulukko 1. Merkittävät pedogeokemialliset anomaliat.

Näytenro	syv. (dm)	Aines	Koordinaatit x	Koordinaatit y	Kivilaji, pitoisuus
80/38078	047	MR	7523.411	504.633	Cr 3 %
80/39761	057	RP	7523.408	504.636	kromitiitti (hiekka)
80/61769	061	RP	7522.150	503.700	kromiittirikas pyrokse-niitti
81/62021	052	RP	7530.750	507.000	kromitiitti (hiekka)
81/60559-560	026,061	RP	7516.540	494.610	kromitiitti (palasia, hiekkaa)
82/62415	084	RP	7520.700	495.760	kromiittirikas pyrokse-niitti
85/45929	023-031	MR	7521.000	497.100	Pb 54-126, Zn 55-505 (ppm)
85/45993	047	RP	7520.000	500.200	kromiittirikas pyrokse-niitti, Pd 0.6 ppm

Geofysikaaliset tutkimukset

Maastossa on tavallisimmin tehty magneettinen ja sähkömagneettinen (slingram) mittaus, joillakin osa-alueilla painovoimamittaus. Painovoimatulokset on esitetty Bouguer-anomaliakarttoina, joihin ei ole tehty topografiakorjausta. Porkkausaavan-Kiviaavan ja Rookkijärven alueilta on laskettu ympyrämenetelmällä jäännös-anomaliat ja piirretty painovoiman jäännösanomaliakartat. Koko intruusion poikki on mitattu eri suunnissa useita painovoimaprofiileja. Koitelaisenvosilla, Jänes-saaressa ja Isossa Vaiskonselässä on UC-puhkeamien kohdilla kokeiltu VLF-R-mittausta, Koitelaisenvosilla lisäksi IP-mittausta. Kaikki Koitelaisessa vuosina 1969 - 1985 mitatut alueet ja profiilit on esitetty kartalla, liite 4.

Kaikista tutkituista malmiaiheista vain Fe-Ti-oksidirikkaat ultramafiset pegma-toidipiiput löytyvät geofysikaalisesti. Pieniläpimittaiset pegmatoidit (Lakijänkä) tulevat esiin tiheällä magneettisella maastomittauksella, Mukkajärvenaavan iso piippu erottuu sekä magneettisena että painovoima-anomaliana. Ruhjevyöhyk-keiden pintaosissa primaarista kiilteestä preglasiaalisessa rapautumisessa syntyneet hydrautuneet kiilteet (hydrokiille, vermikuliitti) näkyvät sähkömagneettisilla kartoilla viivamaisina imaginaarianomalioina. Usein siirrosvyöhykkeissä on metamorfoosissa syntynyt sekundaaria magnetiittia, paikoin yhdessä kiilteen kanssa. Nämä magnetiittipitoiset siirroslinjat näkyvät viivamaisina magneettisina

anomalioina, jotka imaginaarikomponenttikartan kanssa tarkasteltuna auttavat siirrosten paikantamisessa. Tällä on ollut tärkeä merkitys kairauksen suunnittelussa. Pahimmat ruhjeet tulevat esiin myös selvinä painovoiman jäännösanomalioina, jotka yleensä yhtyvät imaginaarianomaliaan. Siirrosvyöhykkeillä on niin suuri merkitys kairauksen tekniselle onnistumiselle, että kaikilla kairattavilla alueilla olisi tehtävä sekä magneettinen, sähkömagneettinen että gravimetrinen mittaus, jo pelkästään siirrosten paikantamiseksi.

Sulfidirikkaisiin kiviin viittaavia sähkömagneettisia reaalikomponenttianomalioita ei intruusion mitatuilla alueilla esiinny. Sen takia reaalikomponenttikarttoja ei ole piirretty.

Aikaisemmin mainittuja isoja ultramafisia pegmatoideja lukuun ottamatta eivät malmipitoiset kivet tule esiin painovoima-anomalioina.

Intruusion kivilajeista duniitit, peridotiitit ja pyrokseniitit antavat selvästi erottuvia painovoima-anomalioita. Gravimetrisilla profiileilla magnetiittigabro erottuu useimmiten painavampana kivilajiyksikkönä; granofyyri näkyy selvänä negatiivisena anomaliana. Pyrokseenigabrot ovat uraliittigabroja selvästi painavampia.

Alueellisessa painovoimakartassa intruusion keskellä oleva laaja koillissuuntainen positiivinen anomalia aiheutuu suhteellisen terveistä pyrokseenigabroista. Lounaispäässä tämä pitkä anomalia yhtyy Keivitsan intruusion aiheuttamaan voimakkaaseen anomaliamaksimiin, josta pohjoiseen ulottuva haarake sulkee sisäänsä Koitelaisen intruusion lounaisosan gabrot.

Koska intruusion valtakivilajien, gabrojen, tiheydet riippuvat oleellisesti muuttumisasteesta (uraliittiutuminen, skapoliittiutuminen), ei painovoimatulosten avulla voi rakentaa geologisesti mielekästä intruusion rakennemallia.

Intruusion sisään jäävät pohjagneissi-graniittialueet (Tojottamaselän ja Kiviaavan doomit) näkyvät selvinä painovoimaminimeinä. Kiviaavan doomin keskellä on syvä ja terävärajainen painovoimaminimi, jonka aiheuttajan täytyy olla pohjagneissejä kevyempi. Tältä alueelta saadut RP-näytteet viittaavat graniittiin; tämä oletettu graniitti kuuluu mahdollisesti Nattas-graniiteihin. Kiviaavan pohja-

gneississä on koillisuuntainen magneettinen viivamainen anomalia, johon yhtyy terävä painovoima-anomalia. Saadut RP-näytteet osoittavat, että anomalian aiheuttaja on ultramafinen juoni, joka saattaa olla komatiittisten eruptiivikivien tulokanava.

Koitelaisen intruusion alaosan jäähtymiskontaktin kivet eivät erotu magneettisesti pohjagneisseistä eivätkä päällä olevista pyrokseniittisista kumulaateista. Kerrossarjan alimpia ultramafisia kumulaatteja on paljastuneina Rookkijärven-Kivelän alueella. Näissä duniittisissa ja peridotiittisissa kivissä on oliviinin serpentiiniytyessä syntynyttä sekundaaria magnetiittia, jonka ansiosta ne näkyvät voimakkaina magneettisina anomalioina. Sen sijaan intruusion alaosan paksut ja laajaalaiset pyrokseniitit eivät magneettisilla kartoilla erotu. Päävyöhykkeen terveet ja heikosti uraliittiutuneet pyrokseenigabrot näkyvät Koitelaisen tunturialueella ja siitä lounaaseen ulottuvalla vyöhykkeellä kohonneen magneettisen tason alueena. Pyrokseenigabroja leikkaavat siirrosvyöhykkeet ja niihin liittyvät uraliittiutuneet ja usein lisäksi skapoliittiutuneet gabrot näkyvät magneettisella harmaasävykartalla vaalenneina, alhaisen tason kuvioina. Pyrokseenigabrojen voimakkaampi magneettinen suskeptiivisuus aiheutuu ilmeisesti plagioklaasissa olevista pigmenttimäisen pienistä, neulasmaisista ferromagneettisista sulkeumista; näistä myös johtuu plagioklaasin sekä paljain silmin näkyvä että mikroskooppisesti erottuva tumma väri. Uraliittiutumisen voimistuessa pigmentti häviää ja plagioklaasi tulee vaaleaksi.

Tunturialueella tunnetaan paljastumista kaksi paksua (80 - 90 m) diabaasijuonta, joista toinen, Keskilaen kautta kulkeva, näkyy harmaasävykartalla tummana, pohjoisluoteissuuntaisena, viivamaisena hahmona.

Intruusion yläosan loiva-asentoinen magnetiittigabroyksikkö on nimetty siinä alun perin kiteytyneen kumulusilmenomagnetiitin mukaan. Subsolidusalueella magnetiitista on suotautunut magnetiittirakeiden reunoille granulesuotaumana ilmeniittiä ja laskevan lämpötilan mukaan ohenevia ilmeniittilamelleja. Metamorfoosissa magnetiitti on pitkälle tai kokonaan silikaattiutunut, ja sen takia magnetiittigabrot eivät erotu, edes kuvioina, magneettisilla kartoilla.

Kerrossarjan kivien alueellisesti ja paikallisesti epätasaisen muuttumisen vuoksi intruusion kerrosrakenne ei näy magneettisilla kartoilla. Harmaasävykartoilla intruusion kivet sulautuvat myös jalka- ja kattopuolen sivukiviin. Kauempana intruusion kattopuolella kiertelevät komatiittiset kivet ja peridotiittiset intruusiot muodostavat kuitenkin intruusiolle selvästi erottuvan magneettisen kehyksen.

Kairaukset

Vuosina 1973 - 1982 GTK on kairannut tai kairauttanut urakoitsijoilla Koitelaisessa 84 syväkairausreikää, yhteensä 11 420,05 m. Tämä on 5.6 % malmiosaston samana ajankohtana kairatusta tai kairauttamasta kokonaismetrimäärästä. Reikien sijainti on esitetty liitteessä 2.

Vuosina 1980 - 1982 on kairattu 25 reikää, yht. 5179.55 m, josta ulkopuolisina urakoina 5 reikää/1054.15 m. Tämä on 8.2 % GTK:n tänä aikana kairatusta ja kairauttamasta kokonaismetrimäärästä. Maakairausten keskisyvyys on ollut 5.3 m, vaihteluväli 0 - 22.8 m.

Kairatuista rei'istä 11 liittyy UC-kerroksen tutkimuksiin, 6 reikää LC-kerrosten tutkimuksiin; yksi reikä on kairattu Fe-Ti -oksidirikkaaseen pegmatoidiin, yksi reikä päävyöhykkeen alaosan stratigrafian selvittämiseksi, neljä reikää intruusion alimman osan ultramafisten kumulaattien stratigrafian selvittämiseksi. Kaksi teknisesti epäonnistunutta reikää käytettiin Kaitaselän Au-pitoisen kuparikiisu-juonen kairauksiin.

Kivet ovat olleet verraten pehmeitä, eikä pahoja ruhjeita ole yleensä ollut. Kaitaselässä kovat gabro-osueet grussifikoituneen kiillepitoisen gabron seassa aiheuttivat putkien katkeamisen kahdessa reiässä. Kaikkien kromitiittikerrosten pintaosat ovat grussifikoituneet 10 - 20 m:n syvyyteen; Porkkausaavalla R359:ssä grussifikoitunutta kromitiittia menetettiin sydänhukkana vielä 42 m:n syvyydessä. Yleensäkin Koitelaisen kiillematriksiset kromitiitit ovat pehmeitä, ja lähes aina osa lävistyksestä menetetään sydänhukkana. Myös pyrokseniitit ovat säännöllisesti kiillepitoisia ja syvälle grussifikoituneita. Grussifikaatiosta johtuvia sydänhukka-ongelmia on myös anortosiiteissa ja kiillepitoisissa granofyyreissa. Talkkiutuneissa

metapyrokseniiteissa kairaus etenee nopeasti, mutta silloin on vaarana, että huuhteluvesi puuroutuu ja terä jää kiinni.

Systemaattisia geofysikaalisia poranreikäluotauksia ei ole tehty. Mukkajärvenaavan ja Ison Vaiskonselän rei'istä (3714/R301 - 303) on mitattu magneettinen suskeptiivisuus ja ominaisvastus; nämä on mitattu myös Porkkausaavan reiästä 3741/R363 280 m:iin asti. Ominaisvastus on mitattu reiästä 3732/R306 ja reiästä 3741/365 80 m:iin asti. Reiästä 3723/307 on porasydännäytteistä määritetty tiheys, magneettinen suskeptiivisuus, remanenssin intensiteetti ja Q-arvo.

LC-kerroksista on reiästä 3741/R363 mitattu neljästä näytteestä kromitiitin tiheys, magneettinen suskeptiivisuus, remanenssin intensiteetti ja Q-arvo.

Kivi- ja malmianalyysit

Lohkare-, paljastumanäyte- ja porasydänanalyysit on tehty pääasiassa GTK:n Otaniemen geokemian laboratoriossa. Käynnissä olevan, porasydännäyteaineistoon perustuvan PGE-ohjelman analyysit tehdään GTK:n Rovaniemen laboratoriossa. UC-näytteiden Ru-Rh-määrityksiä (NAA) on teetetty VTT:n reaktorilaboratoriossa; nämä määritykset ovat osoittautuneet epäluotettaviksi.

Analysoitavat alkuaineet on valittu näkyvän mineralisaation tai oletetun arvometallisisällön perusteella. Magman fraktioitumisindikaattoreina on käytetty Cr- ja V-pitoisuuksia. Intruusion muuttuneista yläosan kivistä on analysoitu Cu, V ja Cr; kombinaatio korkea V - alhainen Cu indikoi magnetiittigabron alaosaa, korkea V - korkea Cu magnetiittigabron keski- ja yläosaa. Magnetiittigabron ohutta alaosaa lukuun ottamatta koko yksikössä on hyvin alhainen Cr.

PGE-aiheista on aina analysoitu Pd ja Au, usein lisäksi Pt, Ag, Cu, Ni, Co, Zn ja Pb. Kromitiittikerroksista on analysoitu Cr, V, Ti, Pd, Pt, Au, Ag; usein Fe^{tot}, Cu, Ni, Co, Zn, Al, Mg. Joistakin UC-näytteistä on määritetty Ru ja Rh. Sulfidirikkaista kivistä on analysoitu S. Kerrossarjan joistakin osista on määritetty MgO, FeO^{tot}, Al_2O_3, CaO, Na_2O ja K_2O. Nuclear Activation Services Ltd, Kanada, on tehnyt

kokonais-PGE-analyysit 57:stä Koitelaisen ja Keivitsa-Satovaaran PGE-aiheen näytteestä; PGE:n lisäksi on analysoitu Au ja Re. Menetelmänä oli Ni-sulfidi-NAA.

Mikroanalyysit

Mikroanalyyseihin on käytetty GTK:n Otaniemen Jeol-laitteistoa. Analyysejä on tehty kromiitista, PGE-mineraaleista, loveringiitista, baddeleyiitista, erilaisista apatiiteista, oliviineista ja oliviinin sulkeumista. Oliviinin ja klooriapatiitin sulasulkeummista on löydetty ja määritetty lukuisia harvinaisia, jopa hyvinkin eksoottisia tytärmineraaleja. Lukuisia muita harvinaisia mineraaleja on löydetty ja määritetty.

Mineraaliseparoinnit

Alavyöhykkeen pyrokseniiteista on porasydännäytteistä kokeiltu loveringiitin separointia. Magneettisella erotuksella ja raskailla nesteillä on saatu hyvä zirkonifraktio, pyrokseeni- ja plagioklaasirikkaat silikaattifraktiot ja oksidifraktio; oksidifraktioon sisältyy vaihtelevia määriä kromiittia, ilmeniittiä, sekundaaria magnetiittia ja loveringiittia. Puhtaan loveringiittifraktion erottamista ei ole vielä ratkaistu.

Ikäykset

Koitelaisesta on tehty useita zirkonin U-Th-Pb-ikäyksiä. Niihin on separoitu zirkonia ultramafisista pegmatoideista, granofyyreista ja intruusiota vanhemmista happamista vulkaniiteista, gneisseistä ja tonaliiteista. Ikänäytteet on haettu intruusiota vanhemmista alumiinirikkaista gneisseistä ja intruusiota leikkaavasta diabaasijuonesta, mutta näistä ei ole tuloksia tiedossa.

Lakijängän pegmatoidin zirkoni antoi hyvin konkordantin 2435 Ma:n iän (Mutanen, 1976b). Kairaselän granofyyrin zirkoni-ikä 2375 Ma on diskordantti. Myöhemmin

on tehty Ison Vaiskonselän granofyyristä zirkoni-ikä 2435 Ma. Näin ollen intruusion kiteytymisen radiometrinen ikä on 2435 Ma.

Intruusiota vanhemmista kivistä on Sadinojan kvartsiporfyyribreksiasta zirkoni-ikä 2526 Ma (Pihlaja & Manninen, 1988; Peltonen ym., 1988).

Tojottamaselän tonaliittidoomin zirkoni antoi iän 3100 Ma, mutta kiven Nd-Sm-systeemin residenssiaika kuoressa on useita satoja Ma vanhempi (Kröner ym., 1981). Kiviaavan doomin itäreunan hornfelsiytyneiden gneissien pyöristyneet zirkonit antoivat iän 2820 Ma, pitkulaiset zirkonikiteet iän 2765 Ma.

YLEISGEOLOGINEN KATSAUS

Paljastuneisuus

Alue on epätasaisesti ja kivilajiselektiivisesti paljastunut. Paljastumia on runsaasti Koitelaisen tunturin lakialueella ja itärinteellä, Koitelaisenvosilla, Isossa ja Pikku Vaiskonselässä ja karttalehden 3723 10 (Rookkiaapa) lounaisosassa ja paikoin intruusion luoteireunalla. Alueen keskiosat (Kiviaavat, Porkkausaapa, Keikkuma-aapa) ja intruusion kaakkoiset osat ovat erittäin heikosti paljastuneet. Kiviaavan laajasta graniitti-gneissikompleksista tunnetaan vain kolme paljastumaryhmää, kaikki doomin reuna-alueilta, joissa kivien kiillemineraalit ovat Koitelaisen gabron lämpövaikutuksesta hävinneet. Intruusion alavyöhykkeen yläosan malmikriittiset pyrokseniitit ovat paljastumattomia Kiviaapojen koillis-, itä- ja eteläpuolella. PGE-kriittisestä alimman pigeoniittigabron yläpuolella olevasta reversaalivyöhykkeestä tunnetaan vain yksi paljastuma (Rykimäselässä).

"Oikeita" kalliopaljastumia (kallioita ja kalliorakkoja) on vain Koitelaisen tunturissa, paikoin Isossa Vaiskonselässä, Kaitaselässä, Koitelaisenlehdossa ja Haapaselässä. Satunnaisia rikkoutumattomia kalliopaljastumia on jokien ja purojen varsilla. Sivukivistä komatiitteja esiintyy kalliopaljastumina Pikku Vaiskonselässä ja intruusion länsireunalla, alumiinirikkaita liuskeita varsinkin Rovapäällä ja satunnaisesti intruusion pohjoisreunalla.

Alueelle tyypilliset paljastumat ovat pahasti pakkasrapautumisen särkemiä kalliorakkoja, uhkurakkoja ja huuhtoumarakkoja. Uhku- ja huuhtoumarakat on merkitty paljastumiksi vain silloin, kun ne ovat monomiktisia ja rakkalohkareet särmikkäitä.

Rapakalliomuodostus

Rapakallio-termin sisältöä ei tietääkseni ole missään määritelty. Sitä on käytetty yleisnimityksenä Lapissa, erityisesti Keski-Lapin jäänjakaja-alueella tavattaville löyhärakenteisille autoktonisille kallioregoliiteille. Ne ovat lapiolla kaivettavia, ja täryporan terä läpäisee niitä. Aines on vaihtelevasti, mutta yleensä vain heikosti kemiallisesti muuttunutta; mineralogiset muutokset voivat olla vähäisiä (kiilteiden hydrautuminen, kalin poistuminen ja ferroraudan hapettuminen; oksidien hapettuminen, esim. maghemiittiutuminen) tai voimakkaita (savimineraalimuodostus, karbonaattien ja sulfidien hajoaminen). Lähtökivilajin rakenne on säilynyt, joskus jopa mikroskooppimittakaavassa. Jäätikköeroosiosta, kivilajista ja ruhjeisuudesta riippuen rapakalliomuodostus ulottuu muutamasta metristä kymmenien metrien syvyyteen; mikroskooppisesti rapautumiseen liittyviä muuttumisia löytyy jopa yli sadan metrin syvyydestä.

Tärkeimmät rapakallioita synnyttävät prosessit ovat hydrautuminen, hapettuminen, liukeneminen ja uudelleensaostuminen. Kiilteiden hydrautumiseen liittyy kiven mekaaninen löyhtyminen (grussifikaatio), pakkasrapautumiseen särkyminen.

Koitelaisen alueen tutkimuksissa tavatut rapakalliot voidaan jakaa seuraaviin tyyppeihin:

1) Sepelirapakalliot. Nämä ovat tyypillisiä fylliiteille, mustaliuskeille ja kloriittitalkkirikkaille komatiiteille. Ne ovat syntyneet sulfidi- ja karbonaattirikkaiden kerrosten liukenemisen ja kiillerikkaiden kerrosten grussifikoitumisen tuloksena. Hävitystä on usein täydentänyt periglasiaalinen pakkasrapautuminen.

2) Grussifikaatiorapakalliot. Näitä esiintyy kivissä, joissa on tummaa kiillettä (biotiitti, flogopiitti); muskoviitin illiittiytyminen saattaa joissakin tapauksissa aiheuttaa liuskeiden grussifikoitumista. Grussifikoituminen on hydrokiillerapautumista, joka liittyy preglasiaalisiin kostean ja lauhkean ilmaston oloihin. Rapautuessa kiilteen rauta on hapettunut ferriasteelle, kali on poistunut osittain tai kokonaan, ja sen tilalle on tullut vettä. Samankaltaisissa oloissa on ilmeisesti tapahtunut magnetiitin maghemiittiutuminen, pentlandiitin violariittiutuminen ja magneettikiisun markasiittiutuminen. Grussifikoitunut kivi menee kairattaessa yleensä kokonaan sydänhukkaan. Kairaustietojen perusteella grussifikoituminen ulottuu Koitelaisen alueella yleensä 10 - 14 m:n syvyyteen, mutta liuskeisissa kivissä on saatu hydrokiille-vermikuliittirikkaita näytteitä yli 50 m:n syvyydestä.

3) Kaoliinirapakalliot. Löyhää kaoliinirapaumaa on löydetty tutkimuskaivannosta granofyyristä Liesin pirtin läheltä ja täryporanäytteissä arkoosikvartsiitista Karinkiselästä. Vähäinen kaoliinimuodostus on alueen arkoosikvartsiiteissa melko yleistä. Kaoliinirapautuminen on hydrokiillerapautumista vanhempi, voimakkaampaan kemialliseen rapautumiseen liittyvä tapahtuma.

4) Gossan-rapakalliot. Syntyneet sulfidi- ja (tai) karbonaattipitoisista kivistä. Gossan-muodostus on preglasiaalista.

5) Alloktoniset rakotäyterapaumat. Rookkijärven kairauksissa tavattiin kaksi 2.5 - 2.6 m:n paksuista vermikuliittirikasta rakotäyterapaumaa yli 60 m:n syvyydessä.

Kairauksissa näkee, että kivet ovat voimakkaasti pilkkoutuneet 20 - 30 m varsinaisen rapautumisvyöhykkeen alapuolella. Näissä kallion pintaosissa esiintyy rakosissa yleisesti rautahydroksideja.

Glasiaaligeologia

Koitelainen kuuluu Keski-Lapin jäänjakaja-alueeseen. Rapakallioiden säilyminen, hyvin erottuvat preglasiaalinen mesatopografia ja pohjoisempana Riskaskamalla ja

Nattastuntureilla olevat graniittitoorit osoittavat, että jäätikköeroosio on yleensä ollut heikkoa. Toisaalta lohkareina ja jopa laajoina monomiktisina lohkarekenttinä esiintyvät Nattas-tyyppiset graniitit sekä jaspis- ja Kumpukonglomeraattilohkareet ovat todisteita kauempaa pohjoisesta ja lännestä tapahtuneesta kaukokuljetuksesta. Todennäköisesti kaukaa lännestä tulleet lohkareet ovat kokeneet monipolvisen kuljetushistorian, ja edustanevat viime kädessä ablaatiomoreenia.

Moreeni on suurimmassa osassa aluetta harmaata ja vähälohkareista. Moreenigeokemiallisten tietojen perusteella moreenin pintaosien aines on kulkeutunut useiden kilometrien matkan; esim. Kiviaavan alueella n. 10 km. Moreenin pohjaan päin sen koostumus rupeaa muistuttamaan yhä enemmän paikallista kallioperää. Selvät rapakalliomoreenit ovat kuitenkin harvinaisia. Täryporanäytteissä ja tutkimuskaivannoissa näkyy, että moreenin ja rapakallion raja on hyvin terävä.

Koitelaisen alueen itä- ja eteläosissa on selviä todisteita voimakkaasta glasiaalieroosiosta. Eteläosassa moreeniaines on kallion pintaan asti hyvin pitkämatkaista, eikä sen koostumus ollenkaan heijasta moreeninalaista eikä lähellä olevaa proksimaalipuolen kallioperää. Koitelaisen tunturin itärinteellä silokalliot, kourut ja näiden pohjalla pirstekaarteet ovat erittäin yleisiä. Topografia ei ole vaikuttanut kouruja uurtaneen jäätikön liikkeeseen, joten siinä liikuntovaiheessa jäätikkö on ilmeisesti ollut huomattavan paksu. Tällä alueella jäätikkö on poistanut rapakallion ja kallion rikkonaisen pintaosan paikoin kokonaan. Allemaojalta on löytynyt biotiittirikasta kiilleliusketta (joka preglasiaaliaikana on varmasti syvälle grussifikoitunut) kauniina silokalliona.

Voimakkaimmat eroosiojäljet jättänyt jäätikkö on liikkunut pohjoisluoteesta. Sama suunta on efektiivisimmällä lohkarekuljetuksella. Koitelaisen gabrosta lähteneitä lohkareita on runsaasti ja kaukanakin alueen etelä- ja kaakkoispuolella, itäpuolella ei ollenkaan.

Koko alue on ollut postglasiaaliaikana supra-akvaattista. Kapeita, jyrkkärinteisiä harjuja on Pitkännuottionpuljun - Sadinojan - Hankapuljujen alueella ja Ison Vaiskonselän luoteispuolella olevalla suoalueella. Marakurtassa olevat hiekkatöyräät ja -tasanteet ovat ilmeisesti purotulvien kuluttamia harjumuodostumia.

Välittömästi jäätikön reunan vetäydyttyä on loivilla, yleensä pohjoisen puoleisilla rinteillä sattunut maanvyörymiä. Tyyppiesimerkki tällaisesta periglasiaalisesta maanvyörymästä on Kaitaselän Bonanzan kuru, jossa on jyrkkä takareunan fault-jyrkänne ja etumaastossa laaja kumpukenttä. Kumpukentässä on vyörybreksian päällä paikoin ohut moreenikerros, joka osoittaa, että lähellä ollut jäätikön reuna on myöhemmin edennyt uudestaan. Tästä kurusta n. 2 km itään on toinen komea maanvyörymä, Koitelaisen tunturissa Yläpäänlaen luoteisrinteellä kolmas.

Periglasiaalisiin pakkasrapautumisen tuotteisiin kuuluvat myös sekasortoiset kalliorakat. Alavilla mailla routuminen synnytti uhkurakkoja.

Kallioperän pääpiirteet

Koitelaisen gabro on epämääräisen renkaan tai polygonin muotoinen brakyanti-kliinirakenne, jonka leveys itä-länsisuunnassa on 26 km, pohjois-eteläsuunnassa 29 km (ks. geologinen kartta, liite 1). Rakenteen sisällä, intruusion pintaleikkauksen keski- ja luoteisosissa on intruusion alapuolisia Lapponisia metavulkaniitteja ja liuskeita, ja kaksi gneissidoomia. Intruusion sisäisen kerrosrakenteen, kontaktien ja sivukivien kaade on yleensä loiva, paikoin vaakasuora; intruusion länsireunalla ja ilmeisesti myös pohjoisreunan länsiosissa kaade on jyrkempi. Poimutuksessa intruusion yläosan kivet ovat liuskeutuneet ja tektonisesti ohentuneet. Kivilaji-kartalla intruusion yläosan kerrosten (magnetiittigabro, granofyyri) leveys riippuu kerroskaateesta, tektonisesta ohentumisesta, ja kerrosten alkuperäisestä lateraali-sesta paksuusvaihtelusta.

Intruusion brakyantikliinirakennetta ympäröivät joka puolella laajat synklini-synformirakenteet. Intruusion länsipuolella on akselikulminaatio, jonka eteläpuo-lella, Puijärven kohdalla, on tiukaksi poimuttunut synklini. Mahdollisesti myös kulminaation pohjoispuolella on synklini. Kolmas mahdollinen synklini on int-ruusion lounaispuolella, Vajukosken ja Jänessaaren välisellä alueella. Keivitsan intruusion ja Koitelaisen intruusion välissä on pienimittakaavaisia monimutkaisia poimurakenteita.

Koitelaisen intruusiota ympäröivän synformin itä-, pohjois- ja luoteispuolella sitä reunustavat laajat gneissigraniittialueet. Näiden reunoilla eiintyy Koitelaisen tyyppisiä gabroja Lokan kylän länsi- ja pohjoispuolella, Tanhuan alueella ja mahdollisesti myös Pomovaaran gneissidoomin itäpuolella. Kaikki nämä edustavat samaa alkuperäistä kerroskompleksia; jotkut niistä ovat jopa voineet kuulua Koitelaisen intruusioon.

Vielä laajemmin tarkasteltuna Koitelainen kuuluu alaproterotsooisten samanikäisten kerrosintruusioiden ryhmään, jonka muita edustajia ovat Koillismaan intruusiot ja Tornion-Kemin-Penikkain-Rovaniemen maalaiskunnan/Ranuan intruusiot. Keski-Lapissa tämän intruusiokompleksin osia on 200 km pitkällä ja 50 km leveällä vyöhykkeellä, joka ulottuu Kittilän pohjoisosista (Särkijärven gabro) Savukoskelle (Akanvaaran gabro). Koitelainen sijoittuu vyöhykkeen keskiosaan. Kaikissa intruusioissa kiteytyminen on johtanut V-rikkaan ilmenomagnetiitin kumulus-rikastumiin (Silaskaira, Koitelainen, Tanhua). Kaikki intruusiot ovat myös PGE-kriittisiä.

Intruusion sivukivet

Intruusion alapuolella on arkeisia tonaliittisia ja graniittisia gneissejä. Kiviaavan gneissidoomin keskellä on terävärajainen, kevyt massa, jonka olen tulkinnut Nattas-ryhmän graniitti-intruusioksi. Gneissien päällä, intruusion alapuolella on arkoosi-kvartsiitteja, biotiittikiilleliuskeita, happamia vulkaniitteja, emäksisiä vulkaniitteja (laavoja, mantelikivilaavoja, tuffeja; tufoagglomeraatteja; osa ilmeisesti sillejä), intrusiivisia gabroja (ns. komatiittigabrot).

Komatiittisia laavoja esiintyy intruusion alapuolella tufoagglomeraattien murs-kaleina, mutta ei varsinaisina laavamuodostumina. Tojottamaselän doomin pohjoispuolella oleva peridotiittinen komatiitti on ilmeisesti tulokanavajuoni. Intruusion alapuolella ei missään esiinny alumiinirikkaita liuskeita.

Välittömästi intruusion päällä on alumiinirikkaita liuskeita, paikoin kiillearkooseja ja peridotiittisia komatiitteja, joskus mantelikivi-basaltteja; ylempänä on alumiinirikkaissa liuskeissa välikerroksina arkoosikvartsiitteja, kiillearkooseja, kalkkikiviä, merkeliliuskeita ja basalttisia komatiitteja. Akselidepressioissa on happamia vulkanogeenisia liuskeita ja mustaliuskeita. Erilaisissa stratigrafisissa asemissa on intruusion päällä gabrointruusioita ja emäksisiä ja ultraemäksisiä differentioituneita kerrosjuonia. Osa intruusion päällä olevista gabroista on komatiittigabroja. Kattokivien sulaessa emäksisiä ja ultraemäksisiä eruptiivikiviä vajosi murskaleina Koitelaisen intruusion sisään.

Intruusion sisäinen kerrosrakenne

Intruusion alakontakti on transgressiivinen arkeisen pohjan ja lapponisten liuskeiden suhteen: kerrosintruusioille tyypilliseen tapaan intruusion pohja leikkaa tulokanavasta kauemmaksi mentäessä koko ajan nuorentuvaa sivukivien stratigrafiaa. Intruusion sisärakenne on diskordantti siten, että syvimmissä, todennäköisesti lähimpänä tulokanavaa sijaitsevissa osissa on alimpana oliviinirikkaita kumulaatteja (duniitteja, peridotiitteja), josta pohjakontaktin transgression myötä yhä ylemmäksi intruusion kumulaattistratigrafiassa sijoittuvat kumulaatit tulevat intruusion pohjaa vasten. Niinpä Rookkijärveltä itään mentäessä oliviinikumulaatit häviävät; Porkkausaavan-Keikkuma-aavan alueella pohjimmaisina on pyrokseniitteja; Keikkuma-aavalta länteen mentäessä pyrokseniitit ohenevat ja lopulta häviävät, ja pohjimmaisiksi kumulaateiksi tulevat päävyöhykkeen gabrot (Pitkännuottionpuljun kairauslävistys). Intruusion lounaisreunalla ei voimakkaan siirrostektoniikan vuoksi pohjakontaktin mahdollisesta transgressiosta ja kumulaattien eliminoitumisesta ole tietoa.

Koko intruusion maksimipaksuus duniittisten kumulaattien alaosasta granofyyrien yläosaan on n. 3.2 km. Porkkausaavalta pyrokseniittien pohjalta Kaitaselän granofyyrin yläreunaan mitattuna paksuus on n. 2.3 km. Intruusion luoteisosassa alkuperäinen paksuus on ollut muutamia satoja metrejä.

Kivelän alueella on yhdellä reiällä lävistetty pohjimmaisten oliviinirikkaiden kumulaattien ja alapuolella olevien gneissien kontakti. Se on ilmeisesti tektonisesti häiriytynyt. Sisäistä jäähtymisreunusta (chill) ei tavattu. Jalkapuolen kivet ovat lapponisia gneissiytyneitä liuskeita. Porkkausaavalla pohjimmaisina, pyrokseniittisten kumulaattien alla on mikrogabroiksi nimitettyjä chill-kiviä. Useimmiten ne ovat konvektiovirtausten irrottamia ja liikuttelemia autoliitteja, mutta kahdessa reiässä chill-reunus vaikuttaa autoktoniselta.

Porkkausaavan alueella on kahdessa reiässä lävistetty välittömästi intruusion alapuolella relikti Koitelaisen intruusiota vanhemmasta fraktioituneesta emäksisestä sillistä. Sen yläosassa on anortosiitteja ja magnetiittigabroja, joita on myös ksenoliitteina Koitelaisen intruusion mikrogabroissa. Sillin alaosassa on gabroja, joiden raekoko alakontaktia kohti pienenee. Sillin alajäähtymisreunus on jonkun verran kontaminoitunut, hyvin hienorakeinen kivi. Alakontakti on veitsenterävä.

Intruusion alakontaktin ja alaosan kumulussarjan selvittämistä vaikeuttavat magmavirtausten aiheuttamat kerrossarjan häiriöt, happamat reomorfiset juonet ja diapiirit, autoliitit ja ksenoliitit, leikkaavat diabaasijuonet ja siirrokset.

Intruusion kerrossarja on jaettu ala-, keski- ja ylävyöhykkeeseen; ylimpänä on varsinaiseen kerrossarjaan kuulumaton granofyyri.

Alavyöhykkeen alaosa on duniittinen ja peridotiittinen, yläosa koostuu pääasiassa brontsiittikumulaateista. Alaosan peridotiittien joukossa on kaksi oliviinigabrokerrosta, joiden alaosassa on pyrokseniittia. Alavyöhykkeen peridotiittisen alaosan ja pyrokseniittisen yläosan välisistä kivistä ei ole tietoa. Vyöhykkeen yläosan pyrokseniiteissa on lukuisia kromitiittikerroksia. Pyrokseniittien yläosassa on gabrovälikerroksia.

Päävyöhyke koostuu gabroista. Sen alaosassa on harvakseltaan ohuita pyrokseniittisia välikerroksia; näistä on interkumulusplagioklaasia selvästi enemmän kuin alavyöhykkeen pyrokseniiteissa. Ala- ja päävyöhykkeellä ei ole selvää luonnollista rajaa eikä "merkkihorisonttia"; vyöhykerajaksi olen määrittänyt tason, jossa gabrokumulaatit tulevat vallitseviksi. Yleensä tämä raja on hyvin nopea ja kairauslävistyksestä melko täsmällisesti määritettävissä.

Päävyöhykkeen alaosassa on lävistetty (3741/R363, 365) kaksi ultramafista välikerrosta. Alempi kerros sijaitsee n. 280 m:n korkeudella päävyöhykkeen alarajasta. Se on 2.35 - 2.85 m paksu plagioklaasirikas pyrokseniitti (ortopyrokseeni-klinopyrokseenikumulaatti). Kerroksen kontaktit ovat terävät; alakontaktissa on 2.5 - 6 cm:n paksuinen kromitiittikerros. Asemaltaan ja olemukseltaan se muistuttaa Merensky Reefiä. Tätä pyrokseniittia on myös paljastumina kahdessa rakassa Koitelaisen tunturin länsirinteellä.

N. 60 m pyrokseniitin yläpuolella on 13 m paksu kerrossarja, joka koostuu pääosin karkeista oliviinirikkaista peridotiiteista. Peridotiitin seassa on hyvin karkearakeisia, vaaleita plagioklaasirikkaita osueita. Kerros muistuttaa stratigrafisen asemansa ja kivilajiensa puolesta Stillwaterin PGE-Reefiä ("mixed rock"). Kerroksen alaosassa on 4.25 m paksu pyrokseniitti, joka on lievästi Pt-anomaalinen. Tähän kerrokseen liittyviä kiviä on löytynyt kahdesta rakkapaljastumasta Koitelaisen rinteeltä läheltä Keskilakea.

Päävyöhykkeen yläosassa ortopyrokseenin tilalle tulee kumulus-inversiopigeoniitti. Tämä pigeoniittigabroyksikkö on paljastunut parhaiten Koitelaisen tunturissa Yläpäänlaella ja tunturin itäreunalla, mutta hajanaisten paljastumatietojen mukaan se esiintyy koko intruusion alueella. Pigeoniittigabron päällä on taas normaalia ortopyrokseenia sisältävä gabro. Pigeoniittigabron yläosan reversaalivyöhyke tunnetaan paljastumana vain Rykimäselästä, jossa esiintyy kontaminoitunutta, pegmatoidisia sulfidipitoisia pesäkkeitä sisältävää pyrokseenigabroa.

Edelleen ylöspäin stratigrafiassa mentäessä ortopyrokseenin tilalle tulee uudelleen inversiopigeoniitti. Tämän pigeoniittigabron yläpuolella kivet ovat yleensä kokonaan uraliittiutuneet, eikä mahdollisia pyrokseenireversaaleja voi tunnistaa.

Päävyöhykkeen yläkontakti päällä olevan ylävyöhykkeen alimman anortosiittisen yksikön kanssa on terävä ja aina helposti määritettävissä. Kontakti on lävistetty kairausrei'issä ja on näkyvissä paljastumassa Jänessaaressa.

Ylävyöhykkeen alin osa, anortosiittinen yksikkö, on 40 - 50 m paksu. Sen tärkein, ja helposti tunnistettava kivi on karkea laikukas anortosiitti. Yksikön keskiosassa on UC-kerros. Anortosiittiyksikön alaosassa on yleisesti sivukivimurskaleita ja plagioklaasiporfyyrisiä chill-autoliitteja; lohkarehavaintojen mukaan chill-autoliitteja on myös itse laikukkaassa anortosiitissa. UC-kerroksen yläpuolella on laikukkaan anortosiitin lisäksi myös täplikästä anortosiittia. Yksikön yläosassa ilmaantuu tummempia välikerroksia.

Välittömästi UC-kerroksen alapuolella esiintyy paikoin jäänteitä tiheäkerrokselsesta sarjasta. UC-ympäristö edustaa äärimmäistä esimerkkiä magmaattisen eroosion synnyttämästä pothole-stratigrafiasta, jossa suuri osa alkujaan kasautuneesta kerrossarjasta on kokonaan erodoitunut pois, ja kerrossarjan reliktit esiintyvät eräänlaisina pöytävuorina. Tilanne muistuttaa Bushveldin länsiosan Union Section-alueen syvempiä osia, joissa pothole-tyyppinen Merensky Reef on vallitsevana.

UC:n ja magnetiittigabron välissä on uraliittigabroja, joissa, varsinkin alaosassa, on plagioklaasirikkaampia välikerroksia (anortosiittigabroja, gabro-anortosiitteja). Ylävyöhykkeen ylin osa koostuu magnetiittigabroista. Magnetiittigabroyksikön alakontakti, 160 - 180 m UC:n yläpuolella, on terävä.

Magnetiittigabroyksikön alaosa (45 - 50 m) ja yläosa (> 45 m) on V-rikasta (0.2 - 0.3 % V); keskellä on n. 20 m paksu plagioklaasirikkaampi ja V-köyhempi gabro. Magnetiittigabron ylärajaa ei häiriintymättömänä ole lävistetty, joten yksikön kokonaispaksuutta ei tiedetä.

Emäksisen kerrossarjan päällä olevan granofyyrin paksuus parhaiten tunnetuissa tektonisoitumattomissa osissa (Kaitaselkä, Iso Vaiskonselkä) on 200 - 400 m.

Intruusion kerrossarjassa tavataan kaikenlaisia kerroksellisuustyyppejä: faasikerroksellisuus, rytminen kerroksellisuus, makrorytminen kerroksellisuus, raekokokerroksellisuus, kryptinen kerroksellisuus ja magmaattinen laminaatio. Rytminen kerroksellisuus näkyy parhaiten siellä, missä kumulusmineraalit eroavat selvästi toisistaan värin perusteella (kromitiitit, anortosiitit). Magmaattista laminaatiota lukuun ottamatta päävyöhykkeen gabrot vaikuttavat täysin homogeenisilta.

Kumulaatit ovat yleensä orto- ja mesokumulaatteja, tyypillisiä adkumulaatteja ei esiinny ollenkaan. Plagioklaasipitoisista pyrokseniiteista, joistakin peridotiiteista ja laikukkaasta anortosiitista voi käyttää (vanhentunutta) nimitystä heteradkumulaatti.

Kerrossarjassa ja granofyyrissä esiintyy murskaleina chill-autoliitteja (plagioklaasiporfyyrisiä ja "afyyrisiä" mikrogabroja) ja sulamattomia sivukiviksenoliitteja (gabroja, "eksoottisia" peridotiitteja, tholeiittisia laavoja, mantelikivilaavoja ja tuffiitteja, erilaisia komatiitteja). Autoliitit ja ksenoliitit ovat keskittyneet intruusion alaosiin, ylävyöhykkeen pohjalle ja magnetiittigabron pohjalle. Kairauksissa on ksenoliitteja lävistetty myös UC:n ja magnetiittigabron välisessä gabroyksikössä, magnetiittigabrossa ja granofyyrissä. Päävyöhykkeessä ksenoliitteja ei esiinny. Kromitiittia esiintyy kumulaattiautoliittina LC-kerrosten yhteydessä ja UC-kerroksen päällä.

Kumuluspinkan kasaantumis- ja konsolidoitumisvaiheissa esiintyi ilmiöitä, joita voi luonnehtia magmaattis-diageneettisiksi. Intruusion alavyöhykettä lävistää sarja happamia, pohjan gneisseistä sulamalla syntyneitä reomorfisia diapiirejä, "pluumeja" (anatectic plumes). Diapiirien päälle, intruusion pääosan sulaa vasten, on niiden omista ja osittain päämagman aineksista syntynyt pienirakeinen, makroskooppisesti basaltin tai diabaasin näköinen mikrogabro. Tätä säikähtämällä syntynyttä kiveä voi pitää intruusion sisäisenä, kumuluspinkan päälle syntyneenä laavana. Intruusion yläosan granofyyreistä tunkeutuu alaspäin magnetiittigabron kontraktiorakoihin happamia, pitkälle fraktioitunutta granofyyrisulaa edustavia juonia, jotka syntytavaltaan muistuttavat sedimenttiaineksen klastisia juonia. Näitä graniittisia juonia reunustaa nopeasti jäähtynyt osa, mikä osoittaa, että magnetiittigabro oli jo jäähtynyt pitkälle oman soliduksensa alapuolelle.

Kumulaattien konsolidoituessa kidepuuroon syntyi kontraktioavaumia ja -rakoja, jotka täyttyivät interkumulustilasta tihkuneella, fraktioituneella sulalla. Tällaisia magmaattisia "diageneettisiä" juonia ovat magnetiitti-ilmeniittirikkaat ultramafiset pegmatoidit. Näyttää ilmeiseltä, että pegmatoidien syntyessä huokossulassa oli jo saavutettu stabiili silikaattisulien sekoittumattomuus (hapan/ultramafinen sula), tai ainakin siinä oli koostumukseltaan (ja viskositeetiltaan) toisistaan erottuvia "domaineja"; kontraktiotiloihin tihkui etupäässä liukkaampi, ultramafinen (pyrokse-niittinen) sula. Pegmatoidisulassa fraktioituminen ja kumulusprosessit jatkuivat ja tuottivat niiden alaosiin ilmeniitti-magnetiittirikkaita klinopyrokseniitteja; ylempänä Fe-Ti-oksideja on vähemmän. Pegmatoidien keskivaiheilla pyrokseniitteihin ilmaantuu sinisiä kvartsisilmäkkeitä ja vielä ylempänä terävärajaisia graniittisia pisaroita ja kasaumia, jotka saattavat edustaa sekoittumatonta hapanta sulaa. "Faasiavaruudessa" pegmatoidisula edustaa systeemiä, jossa tasapainoisina faaseina olivat klinopyrokseeni, Ti-magnetiitti, kvartsi, mahdollisesti plagioklaasi, ja hapan graniittinen sula. Lisäksi molempien sulien kanssa kiteytyi tasapainossa (kuten sekoittumattomassa systeemissä kuuluukin) zirkoni ja harvinaisena apatiitti.

Diabaasijuonet

Intruusiota leikkaa lukuisia pohjoisluoteissuuntaisia diabaasijuonia. Niiden paksuus vaihtelee muutamasta cm:stä 90 m:iin. Kapeat juonet, apofyysit ja paksumpien juonten reunaosat ovat basalttimaisen tiiviitä, paksujen juonten keskiosat karkeita, gabromaisia. Laminaatio näistä gabromaisista diabaaseista kuitenkin puuttuu, ja sen perusteella ne voi erottaa intruusion gabrokumulaateista. Diabaasijuonet leikkaavat magmaattista kerrossarjaa likimain kohtisuoraan; poimutuksessa ne ovat kääntyneet sivukiviensä mukana. Diabaasit ovat tunkeutuneet kokonaan jäähtyneeseen intruu-sioon lähelle senaikaista maanpintaa. Siten ne ovat paljon nuorempia kuin kerrossarjan kivet. Karkearakeisesta dia- baasista on otettu näyte ikäystä varten, mutta tulokset eivät ole valmistuneet. Koskapa diabaasit ovat metamorfoituneet sivukiviensä mukana, ne ovat svekokarjalaista diastrofismia vanhempia, todennä-köisesti jatulisia (2200 - 2000 Ma). Tilanne on samanlainen kuin Kemin intruu-siossa, jota metamorfoituneet diabaasijuonet leikkaavat.

Kun paksutkaan diabaasijuonet eivät yleensä näy magneettisella kartalla, ne haittaavat kairausreiän tielle osuessaan kerrossarjan kivien konnektointia ja tietenkin pimittävät stratigrafitietoa (esim. 3741/R365). Pahin mahdollinen tapaus sattui reiällä 3741/R361, joka kulki koko ajan paksun diabaasijuonen sisällä.

Metamorfoosi

Koitelaisen gabromagma aiheutti ympäristössään laajaa kontaktimetamorfoosia ja sulamista intruusion alapuolella mutta erityisesti kattopuolen kivissä. Alkuperäiset kontaktimetamorfiset paragneesit ovat muuttuneet alueellisen metamorfoosin oloja vastaaviksi. Alueellisen metamorfoosin huippu vastaa koko alueella amfiboliitti-fasiesta, itäosissa fasieksen keskiosaa, länsiosissa alaosaa. Koitelaisen intruusion kivet ovat kuitenkin laajalti säilyttäneet primaareja magmaattisia parageneeseja, varsinkin ala- ja keskiosissa, mutta esim. primaaria klinopyrokseenia ja plagioklaasia esiityy paikoin vielä magnetiittigabrossa. Pyrokseeneista klinopyrokseeni on metamorfoosissa säilynyt paljon paremmin kuin ortopyrokseeni ja inversio-pigeoniitti.

Intruusion sulasta ei ole kiteytynyt tasapainoisia vesirikkaita faaseja, poikkeuksina kontaminoitunutta kiteytymisympäristöä edustavat sulasulkeumien tytärmineraalit (magmaattinen sarvivälke ja biotiitti-flogopiitti) ja samasta kontaminoituneesta, density flow -virtauksissa kumulaattien sekaan jääneestä aineksesta kiteytyneet primaarit OH-mineraalit. Intruusion muuttuneiden kivien volatiilit (H_2O, Cl, B, ym.) ovat peräisin metamorfisista liuoksista.

Malmien kannalta on metamorfoosilla ollut merkittäviä muutoksia magnetiittigabroissa ja kromitiiteissa. Magnetiittigabrojen magnetiitti on lähes aina osittain, mutta useimmiten kokonaan silikaattiutunut. Tällä termillä tarkoitan primaarin magnetiitin muuttumista biotiitiksi ja sarvivälkkeeksi. Näiden syntymiseen tarvittavat alkalit ovat peräisin alkuperäisestä plagioklaasista, interkumulusaineksen primaarista kalimaasälvästä, osaksi mahdollisesti metamorfisten fluidien mukana tulleesta alkalilisäyksestä. Muuttumisessa vapautunut vanadiini on jäänyt sarvivälkkeen ja biotiitin hilaan. Ilmeniitti on yleensä kokonaan säilynyt; vain poikkeuksellisen voimakkaasti muuttuneissa kivissä se on muuttunut titaniitiksi.

Kromitiittien interkumulusparageneesi (sarvivälke, biotiitti, hapan plagioklaasi, skapoliitti) on syntynyt metamorfoosissa. Itse kromiitti on harvoin kärsinyt; sekä UC- että LC-kromitiittien kromiittien MgO-köyhyys on syntynyt kumulusvaiheessa ja korkean lämpötilan postkumulusreaktioissa.

Siirrokset

Poimutuksen aikana jännitys purkautui intruusion kompetenteissä kivissä elastisena deformaationa. Tämän vaiheen siirrokset ovat pääasiassa koillissuuntaisia, länsiosassa usein lisäksi pohjoissuuntaisia. Alueella on myös nuorempia siirros- ja ruhjelinjoja; esim. Kivelän alueella on topografiassa näkyviä luoteissuuntaisia ruhjevyöhykkeitä.

Siirrokset jakavat intruusion lohkoiksi. Kivilajikerrosten hyppäykselliset leveysvaihtelut vierekkäisissä lohkoissa osoittavat, että siirroksiin liittyy lohkojen rotaatiota. Kartalla siirrokset esiintyvät näennäisinä horisontaalisiirroksina. Tällaisen karttakuvan syntymiseksi ei loivakaateisilla alueilla kuitenkaan välttämättä tarvita horisontaalisiirtymiä, koska vertikaalisiirros synnyttää näennäisen horisontaalisiirroksen, jossa siirtymän suuruus on verrannollinen vertikaalisiirtymän määrään ja kääntäen verrannollinen kaadekulmaan ja kerrosten kulun ja siirroslinjan väliseen suuntakulmaan. Intruusion poikki lounaasta Ala-Liesijoelta Kiviaapojen poikki Kaitaselän länsipäähän kulkeva siirros osoittaa, että kyseessä on vertikaalisiirros, jonka luoteinen lohko on noussut ylös kaakkoispuolella olevan lohkon suhteen. Koitelaisenvosilla oli kairaustulosten perusteella mitattu suurin vertikaalisiirtymä 255 m.

Edellä mainittu, intruusion poikki koillissuunnassa kulkeva siirrosvyöhyke on näkyvissä paljastumissa. Koitelaisen tunturissa Lakijängän kaakkoispuolella magneettisella harmaasävykartalla siirros näkyy tummempaa pyrokseenialuetta leikkaavana vaalentumana. Siirrosvyöhyke on arpeutunut. Kivet ovat uraliittiutuneet, pilsteytyneet ja jopa liuskeutuneet. Paljastumassa näkyy massiivisia skapoliittijuonia, jotka toistuvissa liikunnoissa ovat poimuttuneet. Karkearakeinen ilmeniitti-magnetiittirikas pegmatoidi on siirrosvyöhykkeen kohdalla muuttunut magnetiitti-ilmeniittiraitaiseksi, sedimenttikiven näköiseksi blastomyloniitiksi.

Siirrosvyöhykkeiden mineraaliparageneesit ovat syntyneet alueellismetamorfoosin oloissa, joissa siirrosvyöhykkeissä liikkuneiden fluidien (H_2O, CO_2, Cl, F) vaikutuksesta syntyi sarvivälkettä, skapoliittia, klinozoisiittia, fluoriittia ja titaniitia, ultramafisissa kivissä lisäksi kloriittia, talkkia, karbonaatteja ja serpentiinimineraaleja. Muuttumiset ovat edenneet siirrosvyöhykkeen ulkopuolisiin massamaisiin kiviin, useimmiten ohuita rakoja pitkin, kunnes lopulta kivi on läpikotaisin muuttunut. Nämä muuttuneet kivet (uraliittigabrot, metagabrot) ovat massamaisia. Yleensä uraliittiutumisella tai muilla muuttumisilla ei ole paljastumissa näkyvää yhteyttä siirroksiin. Erikoisuutena, ja ehkä laajemminkin esiintyvänä piirteenä on, että veden aktiviteetti näyttää joskus olleen itse siirrosvyöhykkeessä alhaisempi kuin ympäristössä. Tämä saattaa johtua siirrokseen liittyvästä kitkalämmöstä.

MALMIAIHEET

Taulukossa 2 on luettelo kaikista Koitelaisen alueen kaivannaisaiheista vuosilta 1979 - 1989, kunkin aiheen erillisistä tutkimuskohteista ja tehdyistä tutkimuksista.

Tässä raportissa kuvataan niitä malmiaiheita, jotka on löydetty vuoden 1980 jälkeen, mutta myös aikaisemmin löytyneistä malmiaiheista esitetään tietoja, mikäli ne ovat oleellisesti muuttaneet käsitystä niiden luonteesta ja taloudellisesta merkityksestä.

Tässä raportissa malmi-sanalla tarkoitetaan metallirikastumaa tai sen osaa (esim. malmilävistys, malmivarat, malminäyte) ilman taloudellista sivumerkitystä. Malmisanan välttäminen johtaisi hankaliin kiertoilmauksiin.

Taulukko 2. Koitelaisen malmiaiheet, tutkimuskohteet ja tutkimukset 1979 - 1989.

Malmiaihe	Kohde	Tutkimukset
Yläkromitiitti (UC):	Koitelaisenvosat	VLF, IP, seisminen
	Länsi-Bonanza	moreenigeokemia, kairaus
	Melakoskenmaa	" "
	Junnikkaniva	" "
	Joutsenlampi	" "
	Pitkännuottionpulju	kairaus
	Mukkajärvi	moreenigeokemia, tutk.kaivanto
	Jänessaari	" "
	Liesin pirtti	kairaus, tutkimuskaivantoja
	Iso Vaiskonselkä	" , moreenigeokemia, VLF
Alakromitiitti (LC):	Porkkausaapa	Moreenigeokemia, geofysiikka, kairaus
	Pikku Kiviaapa	moreenigeokemia, geofysiikka, kairaus
	Keikkuma-aapa	geofysiikka, moreenigeokemia
PGE-aiheet:	Rookkijärvi	lisäanalyysejä
	Keskilaki	kairaus
	Rykimäselkä	litogeokemia, moreenigeokemia, geofysiikka, PGE-analyysejä
	Intruusion S-osat	moreenigeokemia
	Koitelaisenvosat	Pt-Pd-Au-analyysejä vanhoista analyysijauheista ja kairansydämistä. Tot.PGE-analyysejä
	Lakijänkä	PGE-analyysejä
Potentiaaliset Cr/PGE-aiheet:	Kivelä	kairaus, moreenigeokemia
	Rookkijärvi	moreenigeokemia
Cu(Au):	Sadinoja	tutkimuskaivanto, geofysiikka
Kaoliini:	Karinkiselkä	moreeni/rapakallionäytteenotto
	Liesin pirtti	tutkimuskaivanto
Magneettiset anomaliat:	Kahdenputaanaapa-Jousiaapa	geofysiikka
Fe-Ti-V (PGE):	Mukkajärvenaapa	geofysiikka, kairaus
Cu(Au, vermikuliitti):	Bonanza	kairaus

UC-kerros

Tämän kromitiittikerroksen löytöhistoria on esitetty raportissa (Mutanen, 1979a).

UC-kerros sijaitsee intruusion ylävyöhykkeen alaosassa, n. 40 m paksun anortosiittiyksikön keskellä. Kromitiittikerros on hyvin selväpiirteinen, terävärajainen ja jatkuva. Sen ylä- ja alapuolella on aina anortosiitteja, joilla on tyypillinen ja helposti tunnistettava laikukas asu (mottled anorthosite). Toisaalta siellä, missä kromitiitti ja siihen liittyvä seuranto on heikosti kehittynyt tai primaaristi häiriytynyt, ei laikukasta anortosiittiakaan esiinny. Kokemusperäisesti on todettu, että laikukas anortosiitti on erittäin varma UC-kerroksen indikaattori.

Koitelaisenvosien alueella UC-kerros lävistettiin 17:lla reiällä. Kerroksen keskipaksuus lävistyksissä oli 1.35 m (vaihtelu 0.75 - 2.18 m). Kuten intruusion yläosan kerroksilla yleensäkin on UC:llakin hyvä lateraalinen jatkuvuus; geologisin perustein sen suurin mahdollinen paljastumapituus Koitelaisen intruusion pintaleikkauksessa on n. 60 km.

UC:n jatkeiden selvittämiseksi kairattiin Kaitaselän länsiosassa intruusion pohjoisreunalla kaksi reikää (Mutanen, 1979c). Ensimmäisellä reiällä (3741/R357) selviteltiin alkuperältään tuntematonta Ni-Co-anomaliaa. Kairauksessa lävistettiin ultramafiitti, todennäköisesti gabron yläosaan romahtanut komatiittiksenoliitti, joka selitti Ni-Co-anomalian. Tämän reiän eteen kairattiin reikä (R358) selvän ja laajan Cu-anomalian kohdalle. Cu-anomalia aiheutuu magnetiittigabrosta, ja se oli hyvä stratigrafinen kiinnekohta reiälle, jolla UC pyrittiin tavoittamaan. Reiän alussa oli moroutuneita biotiittipitoisia anortosiitteja ja niiden alapuolella n. 60 m paksu magnetiittigabroyksikkö. Geokemiallisesti magnetiittigabro on samanlainen kuin Koitelaisenvosilla: yläosa (23.5 m) vaihtelevasti silikaattiutunutta V-Cu-rikasta magnetiittigabroa (V 0.1 - 0.2 %, Cu 600 - 770 ppm), sen alapuolella 12 m:n V- ja Cu-köyhempi välikerros (V 350 - 650 ppm, Cu 40 - 100 ppm), alimpana V-rikas Cu-köyhä magnetiittigabro (V 0.08 - 0.13 %, Cu 10 - 40 ppm). Magnetiittigabron alapuolella on n. 44 m tasalaatuisia uraliittigabroja, mutta niistä reikä sukelsi yllättäen ensin ohueen tuffiittiksenoliittiin ja sitten paksuun (n. 15 m), etupäässä suurista basalttimurskaleista koostuvaan kiveen. Murskaleiden seassa on paikoin anortosiittigabroja ja murskalekerroksen alapuolella 136 m:iin asti vuorottelevia anortosiitteja ja uraliittigabroja. Reiän loppuosa (249.30 m:iin asti) on tasalaatuisia

uraliittigabroja, jotka muistuttavat UC:n alapuolella olevia päävyöhykkeen gabroja. Näissä ei ollut mitään merkkejä, esim. anortosiittivälikerroksia, jotka olisivat ennakoineet alempana olevaa UC-kerrosta. Vaikka täyttä varmuutta asiasta ei saatukaan, sijaitsee UC:n "oikea" taso ilmeisesti tässä kohteessa basalttimurskaleen kohdalla. Murskaleen laajuudesta ei ole minkäänlaista tietoa, eikä sen takia tiedetä, kuinka suurella alalla kulun ja kaateen suunnassa murskale ottaa UC-kerroksen paikan.

Kaitaselän kairauksia ja Bonanzan jatkotutkimuksia on selostettu tarkemmin tutkimustyöselostuksessa (Mutanen, 1979c).

Intruusion kaakkoisosassa UC-kerrosta etsittiin kairaamalla **Melakoskenmaassa** (2 reikää) ja **Junnikkanivalla** (2 reikää). Melakoskenmaan ensimmäinen reikä (3732/R302) lävisti koko matkalla (204.40 m) monotonisia uraliittigabroja, jotka V-Cr-pitoisuuksiensa perusteella kuuluvat päävyöhykkeeseen. Toinen reikä (3732/R303, syv. 147.75 m) lähti stratigrafiassa edellistä ylempää, mutta laikukkaita anortosiitteja ja UC-kerrosta ei tavattu. Reiän alkuosassa lävistettiin tektonisoituneita, osittain mahdollisesti juonimaisia granofyyreja ja granofyyrigabroja. Uraliittigabrojen alhainen Cr-pitoisuus viittaa siihen, että lävistyksen kivet kuuluvat joko päävyöhykkeen yläosaan tai ylävyöhykkeeseen, magnetiittigabron ja UC:n väliin. Koska reiän alkuosassa oli paksuja siirros-myloniittivyöhykkeitä, saattaa granofyyririkas osa olla siirroslohko, jossa on magnetiittigabron ja granofyyrin välistä stratigrafiaa. Reiän loppuosan gabrojen stratigrafinen asema mahdollisen UC-kerroksen suhteen jäi epäselväksi.

Junnikkanivalla esiintyy Luiron rantakallioissa ja paikallisina lohkareina täplikästä ja pienilaikkuista anortosiittia. Kairauksessa tämä anortosiitti lävistettiin reiällä 3732/R304, syv. 333.90 m. Kaade varmistettiin vielä lyhyellä reiällä (R305, syv. 32.15 m); sen mukaan kaade on likimain vaakasuora, mahdollisesti jopa loiva pohjoiseen. Tämän anortosiitin asema intruusion stratigrafissa jää epäselväksi; todennäköisesti se vastaa magnetiittigabron alapuolella olevaa anortosiittigabroa. Anortosiittilävistys alkoi kallion pinnasta ja jatkui 22.6 m:iin. Anortosiitin alapuolella kivet ovat uraliittigabroja ja metagabroja, joissa välillä 134.45 - 248.70 m on useita leikkaavia, 0.3 - 0.75 m:n paksuisia granofyyrijuonia. Välillä 70.35 - 91.30 uraliittigabro on voimakkaasti kontaminoitunutta kvartsi-granofyyririkasta

kiveä, joka sisältää runsaasti mikrogabroautoliitteja. Murskaleiden koko vaihtelee muutamasta sentistä 1.35 m:iin. Autoliitteja on kahdentyyppisiä: kontaminoituneita, kvartsi-granofyyririkkaita mikrogabroja ja kontaminoitumattomia mikrogabroja. Kontaminoitunut gabro sisältää koko em. lävistyksen matkalla kromiittia pirotteena, juonina, pesäkkeinä ja ohuina kerroksina. Kromiittirikastumat sisältävät runsaasti sarvivälkettä ja biotiittia. Joskus näkyy selvästi, että kumuluskromiitti on laskeutunut ja rikastunut mikrogabromurskaleen päälle. Paksuimmat kromiittirikastumat ovat 2 cm. Vaikka kromiitti esiintyykin useimmiten kontaminoituneessa gabrossa, sitä on tavattu myös pirotteena mikrogabrossa. Tämän kontaminoituneen autoliittisen lävistyksen alaosassa on kromiittirikastumien reunoilla, kontaminoitunutta gabroa vasten, terävärajaisia, pisaramaisia tai ameebamaisia happamia sulkeumia, jotka koostuvat lähes pelkästään kvartsista ja alkalimaasälvästä.

Kromiittipitoinen kontaminoitunut autoliittinen kerros edustaa selvästi samaa muodostumaa kuin UC-kerros. Kuitenkaan kyseessä ei ole häiriytynyt kromitiittikerros, vaan edustava ja samalla harvinainen näyte kromiitin alkuperäisestä kiteytymisympäristöstä, jota voimakkaassa, autoliittien lastaamassa density flow-virtauksessa ("downdraft") joutui kumuluspinkkaan ja nopeassa sedimentaatiossa hautautui sen sisään. Kromiittirikkaat kerrokset ja kasaumat viittaavat siihen, että alasvirtauksessa on ehtinyt tapahtua jonkinasteista gravitatiivista rikastumista. Happamat sulkeumat edustavat sivukivistä anatektisesti syntynyttä ja virtauksen mukaan joutunutta sulaemulsiota. Yleensä hapan saalinen kontaminantti on kuitenkin sekoittunut emäksisen sulan kanssa ja tuottanut hybridejä, granofyyririkkaita gabroja. Mikrogabroautoliitit ovat syntyneet emäksisen sulan ja happaman kontaminanttisulan se- koittuessa. Tällöin pienillä sekoitussuhteilla syntyvät emäksiset sulat joutuivat paljon likviduksen alapuolelle. Kyseessä on temporary chill - muodostuma; chill jäähtyi anatektista kattosulaa tai sivukiviä vasten. Kromiitin kromi on ilmeisesti eksoottista alkuperää. Fe-Ti-rikkaat kromiitit ovat kiteytyneet sekoittumisvyöhykkeen lämpötila- ja koostumusoloissa.

Malminetsinnän kannalta tällaiset enemmän tai vähemmän kaoottiset alasvirtaus-kasaumat ovat hankalia, koska niiden sijainti ei, ainakaan vielä, voida ennustaa. Joka tapauksessa kasaumien yläpinta on huomattavasti normaalin UC:n esiintymis-tason yläpuolella. Kyseessä on siten eräänlainen kumuluspinkan kinos.

Taaskin voidaan todeta, että paras osoitus UC-kerroksen puuttumisesta tai kehittymättömyydestä on laikukkaan anortosiitin puuttuminen kerrossarjasta. Kromiitin rikastumisella säännölliseksi kerrokseksi ja anortosiitin poikiliittisen laikkurakenteen syntymisellä on jokin yh- teinen geneettinen lainalaisuus, jota emme vielä tiedä.

UC-kerrosta yritettiin tavoittaa kairaamalla Joutsenlammella, Junnikkanivalta n. 5 km länteen. Täällä oli aikaisemmin pedogeokemiallisesti paikannettu rapakalliosta magnetiittigabro. Reikä (3732/R306) lävisti alussa silikaattiutuneita magnetiitti-gabroja (V 1200 - 1500 ppm) 47 m:n matkalla. Gabroanortosiitteja ja anortosiitti-gabroja ilmaantui 75 m magnetiittigabron alapuolella. Nämä plagioklaasirikkaat kivet ovat selvästi saalisen aineksen kontaminoimia: niiden interkumulusaines koostuu lähes kokonaan kvartsista ja granofyyristä; lisäksi niissä on saalisia pisaroita. Jotkut gabron näköiset kivet ovatkin itse asiassa melagranofyyrejä. Myös välissä olevien uraliittigabrojen mesostaasis on granofyyririkasta. Tyypillinen, muuallakin Koitelaisen intruusiossa kontaminaatiota indikoiva piirre on primaarin ilmeniitin runsaus. Ylimmät gabroanortosiitit sisältävät pieniä (3 - 10 cm) mikro-gabroautoliitteja, alempana (välillä 210.25 - 213.75) mikrogabrot ovat plagioklaasi-fyyrisiä. Tämän alapuolella mikrogabrot sisältävät plagioklaasia mikrohajarakeina, ja granofyyriä mantelimaisina pesäkkeinä. Mikrogabroautoliitit ovat yleensä sär-mikkäitä ja terävärajaisia, mutta jotkut porfyyriset muunnokset näyttävät "sulautu-van" gabroihin.

Kontaminoitunut autoliittirikas lävistys (välillä 125.40 - 286.30 m) on Junnikka-nivan lävistyksen kaltainen, mutta paljon paksumpi. Joutsenlammella ei kuitenkaan ole makroskooppisesti näkyvää kromiittia. Myös-kään pistokoemaiset Cr-analyysit eivät osoittaneet Cr:n nousua. Ilmei-sesti reikä lävisti kaoottisen, saalisen aineksen laimentaman alasvirtausbreksian ydinosan.

Intruusion kaakkoisosassa on siten kairaustietojen perusteella alue, jossa UC on hajanainen tai se puuttuu kokonaan.

Isossa Vaiskonselässä UC-kerros esiintyy taas tavallisella paikallaan ja lähes saman paksuisena kuin Koitelaisenvosilla. Se lävistettiin v. 1981 - 82 kahdella reiällä (3714/R302 - 303).

Ison Vaiskonselän alueen eteläosassa on granofyyrejä, pohjoisosassa voimakkaasti muuttuneita ja tektonisoituneita magnetiittigabroja ja sen alapuolisia ylävyöhykkeen kiviä. Kyseessä on koillisuuntaisten siirrosten rajoittama lohko, jossa kerroskaade kairaustietojen mukaan on 23° lounaaseen, kulku luoteinen. Viereisillä lohkoilla kerroskaateet ovat jyrkempiä, joten siirroksiin liittyy täällä lohkojen rotaatiota.

Ennen syväkairausta tehtiin suunnitellulla kairauslinjalla geokemiallinen näytteenotto. Näytteistä analysoitiin Cr ja V, tarkoituksena määrittää magnetiittigabron alakontakti kairausmetrien säästämiseksi. Maastogeofysiikkaa ei ennen kairausta tehty, mutta jälkeen päin (kesinä 1982 ja 1983) geofysiikan osasto tutki eri menetelmien (IP, tasavirtaluotaus, VLF-R) soveltuvuutta kromitiitin paikantamiseen. Mikään menetelmä ei kuitenkaan antanut yksiselitteistä tulosta. UC:n puhkeama on suoalueella Ison Vaiskonselän pohjoispuolella paksujen (paikoin yli 25 m) moreenien alla.

Reiässä 3714/R302 kivi oli n. 78 m:iin asti massamaista melagabroa (komatiittigabroa), sen jälkeen n. 139 m:iin hornblendiitteja ja melagabroja. Nämä kivet eivät kuulu intruusion kerrossarjaan; kyseessä on suuri katosta romahtanut ksenoliitti. Sen alapuolella on uraliittigabroja, joissa 168.60 m:stä alkaen esiintyy plagioklaasirikkaampia välikerroksia (anortosiittigabroja ja gabroanortosiitteja). Laikukasta anortosiittia on välillä 198.00 - 209.59 m. UC-kerros lävistettiin välillä 209.59 - 210.50 (0.91 m). Kromitiitti on kromiitti-biotiitti-plagioklaasikiveä. Kerroksen rajat ovat terävät. Anortosiittiset sivukivet ovat voimakkaasti albiittiutuneet, karbonaattiutuneet ja kloriittiutuneet.

UC-kerroksen yläpuoliskossa on 10 cm:n matkalla kromiittiraitaista anortosiittia; muuten malmi on homogeenista ja massamaista. Malmin ylä- ja alakontaktin lähellä kromiitti on ferromagneettista; ferromagneettisuus johtuu kromiittikiteiden reunaosien magnetiittiutumisesta ja magnetiitin sekundaarista päällekasvusta. Kuten Koitelaisenvosilla, ilmiö liittyy karbonaattiutumiseen.

Laikukas anortosiitti loppui 231.50 m:ssä, mutta sen alapuolella plagioklaasirikkaita kerroksia tavataan 241 m:iin asti, yksittäisiä ohuita (0.5 - 8 cm) anortosiittigabro- ja anortosiittikerroksia 271 m:iin asti. UC:n alapuolella anortosiittikerroksiin liittyy mikrogabroautoliitteja. Nämä ovat lävistyksen yläosassa (n. 233 m:iin asti) afyyrisiä ja kontaminoituneita, alempana plagioklaasifyyrisiä. Mikrogabrotyyppien keskinäinen stratigrafinen asema on siten sama kuin Joutsenlammella. Välillä 222.70 - 224.15 m on mikrogabroautoliitin alla granofyyriä; tämä edustaa autoliitin alle vangiksi jäänyttä, ja autoliitin alas painamaa, intruusion kattokivistä syntynyttä anatektista sulaa.

Toinen reikä (3714/R303) kairattiin 230 m ensimmäisen edestä. Tässä ei enää ollut melanogabro-hornblendiittiksenoliittia, vaan reikä lävisti alusta alkaen ylävyöhykkeen gabroja. UC lävistettiin välillä 108.02 - 108.98 m (= 0.96 m). Sen päällä on 5.5 m paksu laikukas anortosiitti; tämän ja kromitiitin välissä on 0.35 m paksu mikrogabroautoliitti ja välittömästi kromitiitin päällä 0.92 m paksu tasa- ja keskirakeinen uraliittigabro. Uraliittigabrokerros on samanlainen kuin Koitelaisenvosilla kromitiitin katossa oleva kivi. Gabron ja kromitiitin välissä on 5 cm:n terävärajainen anortosiittikerros. Yläkontaktisuhteet viittaavat siihen, että osa kromitiitin yläosaa on magmaattisesti erodoitunut. Yläkontakti on terävä, alakontakti tektoninen (rako). Kuten edellisessä reiässä on tässäkin kromitiittikerroksen yläosassa 5 cm:n kerros kromiittiraitaista anortosiittia ja sen alapuolella massiivisessa kromitiitissa kaksi ohutta, mutkittelevaa ja katkeilevaa anortosiittiraitaa. Kromitiitti on kromiitti-sarvivälke-biotiittikiveä, jossa on hiukan plagioklaasia ja skapoliittia.

Ison Vaiskonselän UC-lävistysten painotetut keskiarvot ovat: Cr_2O_3 R302:ssa 19.0 %, R303:ssa 20.5 % (R302 + 303 painotettu 19.8 %). R302:ssa UC sisälsi lisäksi: Ni 260 ppm, V 2800 ppm, Ti 6100 ppm, S 240 ppm, Pt 0.27 ppm, Pd 0.25 ppm, Ag 1.1 ppm; R303:ssa oli V 1100 ppm, Pt 0.21 ppm, Pd 0.20 ppm.

Kanadassa (Nuclear Activation Services Ltd; Ni-sulfidi-NAA-menetelmä) teetettiin PGE-Au-analyysit viidestä UC-näytteestä, jotka olivat peräisin Koitelaisenvosien ja Ison Vaiskonselän kairauslävistyksistä ja Jänessaaren kaivannosta. Näiden tulokset osoittavat, että UC on PGE:ien ja Au:n suhteen hyvin samanlainen eri puolilla intruusiota. Taulukossa 3 on analyysien vaihteluväli, suluissa keskiarvo (ppb).

Taulukko 3. UC-kromitiitin PGE-Au-Re-pitoisuus (lävistykset rei'istä 3714/R302; 3714/R303; 3741/R329; 3741/R337: sekä näyte TM-81-88, Jänessaari)

Au	3 - 44	(15)
Os	28 - 46	(36)
Ir	28 - 35	(33)
Ru	170 - 200	(192)
Rh	76 - 95	(82)
Pt	250 - 370	(302)
Pd	280 - 610	(416)
Re	>5	
Pt/Pd		(0.73)

NAS:n analyysien mukaan UC onkin Pd-valtainen (eikä Pt-valtainen, kuten aikaisempien analyysien mukaan piti olla). Aikaisemmin oli VTT:llä saatu Ru:lle jopa 4.27 ppm:n pitoisuuksia; näiden uusien analyysien mukaan Ru-pitoisuudet (tai ainakin keskipitoisuudet suurissa näytteissä) ovat kertaluokkaa pienempiä. Joka tapauksessa Ru-pitoisuus on geokemiallisesti mielenkiintoinen. Mineralogisesti Ru:n suhteellinen runsaus näkyy siinä, että lähes kaikista näytteistä, varsinkin intruusion SW-osista, löytyy ruarsiittia, RuAsS. Mahdollisesti Ru, kuten muut PGE:t, on rikastunut voimakkaasti lähelle kromitiitin alakontaktia.

Mikroskooppihavaintojen ja aikaisemmin GTK:ssa tehtyjen Pt-Pd-Au-analyysien mukaan jalometallien (PGE, Au) pitoisuus vaihtelee yksittäisen kerroksen sisällä laajemmin kuin kerroslävistysten välillä. PGE:t ovat selvästi rikastuneet lähelle UC:n alakontaktia.

Kromitiittia osattiin epäillä olevan myös Jänessaaressa, Ison Vaiskonselän lounaispuolella, sen jälkeen kun sieltä oli paljastumasta löytynyt laikukasta anortosiittia (hav. TM-78-74). Paljastumassa anortosiitti rajoittuu terävällä kontaktilla alla olevaan päävyöhykkeen gabroon. Kontaktin suunta on 315°, kaade länteen. Talvella 1981 otettiin UC:n oletetun puhkeaman kohdalla täryporanäytteitä 1 m:n pistevälein. Moreenin pohjaosa oli erittäin kivikkoista, mutta kahdessa pisteessä onnistuttiin pääsemään grussifikoituneeseen kromitiittirapakallioon. Maaliskuussa 1981 kaivettiin puhkeamaan tutkimuskuoppa traktorikaivurilla. Kuopan pohjalta saatiin muutamia näytteitä kromitiitista, mutta ei riittävästi kromiitin koerikastusta ja mahdollisia metallurgisia tutkimuksia varten. Huhtikuun lopulla saatiin isolla telakaivinkoneella kromitiitista 20 tonnin näyte, joka kuljetettiin kuorma-autolla Liesin pirtin pihalle. Näytemateriaali on pääasiassa moreeniin sekoittunutta kromiittihiekkaa. Massamainen kromitiitti on sarvivälke-biotiitti-kromiittikiveä; grussifikoitunut osa on ilmeisesti biotiittiharmeista. Kovina säilyneet kromitiitit ovat sarvivälkerikkaita. Mustassa massamaisessa kromitiitissa on kerroksina ja osueina (murskaleina ?) kromiitti-plagioklaasikiviä ja kromiittipirotteisia anortosiitteja ja gabroanortosiitteja. Näissä plagioklaasi esiintyy jopa 1 cm:n pituisina kumuluskiteinä. Tutkimuskuopassa ei saanut selvää plagioklaasipitoisten tyyppien stratigrafisesta suhteesta "mustaan" kromitiittiin.

Mikroskoopissa suurimmat kromiittikiteet ovat 0.8 mm:n kokoisia. Ne ovat korrodoituneita ja sisältävät suuria, usein ameebamaisia sulasulkeumia ja matriksista tunkeutuvia lahdekkeita. Joskus kromiittikiteet ovat ketjuuntuneet kiinni toisiinsa. Kromiittihiekassa pienet kromiittikiteet ovat omamuotoisia oktaedreja. Vihertävää sarvivälkettä esiintyy matriksissa ja suurina, kromiittia sulkevina poikiliittisina kiteinä. Poikiliittinen sarvivälke on ilmeisesti syntynyt klinopyrokseenista, josta on jäljellä reliktejä. Vihertävän sarvivälkeen lisäksi kromitiitissa on kummingtoniittia. Plagioklaasi on osittain muuttunut sarivälkkeeksi, klinozoisiitiksi, kloriitiksi ja serisiitiksi. Biotiitin määrä vaihtelee. Vähäi-

sessä määrin esiintyy kvartsia ja turmaliinia. "Mustassa" kromitiitissa on runsaasti apatiittia, joka esiintyy kumulusmaisina kiteinä. Sulfideja (kuparikiisu, magneettikiisu, pentlandiitti, pyriitti, sekundaari kovelliini) on erittäin vähän. Kromiitissa on paljon ilmeniittisuotaumia, joista osa on muuttunut rutiiliksi. Ruarsiitti esiintyy pieninä omamuotoisina kiteinä kromiitissa.

Laikukasta anortosiittia esiintyy rakkalohkareina Ala-Liesijoen varressa Jänessaaresta n. 1 km luoteeseen.

Ala-Liesijoen kohdalla on suuri koillissuuntainen siirrosvyöhyke. Sen pohjoispuolella intruusion kerrosrakenteen kulku on pohjoinen. Granofyyriä ja magnetiittigabroja voi intruusion tässä osassa seurata n. 5 km:n matkan Rovakoskelta Mukkajärvenmaiden pohjoispuolelle. Laikukasta anortosiittia esiintyy rakkana Rovakosken pohjoispuolella ja Mukkajärven länsipuolella.

Mukkajärvellä kaivettiin talvella 1981 traktorikaivurilla itä-länsisuuntainen koeoja anortosiittirakan kohdalle. Oja on 40 m pitkä ja keskimäärin 2 - 2.5 m syvä. Siinä oli laikukasta anortosiittia suurina paikallisina lohkareina, mutta kallioon asti ei päästy. Itäpäässä näkyi moreenissa harmaa juova, jonka aines mikroskooppitutkimuksessa osoittautui kromiittihiekaksi. Kromiittihiekkarikastuma osoittaa, että UC-kerros ulottuu intruusion länsiosassa tänne asti. Anortosiitin itäpuolella on peridotiittirakkapaljastuma; kyseessä on anortosiitin pohjalle intruusion katosta vajonnut ksenoliitti.

Liesin pääpirtin itäpuolella lävistettiin tektonisoitunut UC-kerros kairauksessa keväällä 1982 (3723/R311, syv. 163.30 m). Reikä R311 alkoi intruusion kattopuolella olevasta täplikkäästä peridotiitista (peridotiittinen komatiitti). Välillä 67.20 - 120.00 m lävistettiin pilsteinen granofyyri; sen seassa on emäksisiä ksenoliitteja. Välillä 126.40 - 127.30 oli magnetiittigabroliuskeita (V = 1800 - 2800 ppm); sen alapuolella 146.70 m:iin asti voimakkaasti tektonisoituneita (pilsteisiä ja liuskeisia) gabroja; nämä vastaavat magnetiittigabron ja UC:n välisiä ylävyöhykkeen gabroja. Näiden gabrojen seassa oli 0.5 - 1.0 m:n paksuisia pilsteisiä anortosiitteja ja anortosiittigabroja. Laikukasta anortosiittia vastaava anortosiittiliuske oli välillä 146.70 - 150.45 m, välillä 150.45 - 150.70 m gabroliuske, joka vastannee UC:n päällä olevaa ohutta gabrokerrosta. Tektonisoitunut UC lävistettiin välillä 150.73 -

151.03 (= 0.3 m). Tämän ja päällä olevan gabron välissä on 3 cm:n paksuinen kromiittipitoinen anortosiitti. UC:n alapuolella anortosiittiliuske jatkuu 152.75 m:iin, jonka alapuolella, reiän loppuun asti on vuorottelevia anortosiitti- ja gabroliuskeita. Näiden seassa on 0.1 - 1.15 m:n paksuisia mikrogabrolävistyksiä (autoliitteja).

UC sisältää Cr_2O_3 16.94 %, Pt 0.11 ppm ja Pd 0.21 ppm; Rh ja Ru on todettu kvantitatiivisesti OES-analyysissä.

Täplikkäästä peridotiitista ja granofyyristä on analysoitu lähes koko väliltä systemaattisesti Ag, Au ja Pd; merkittävät pitoisuudet kuitenkin puuttuvat (Ag ≤ 0.3 ppm, Au < 10 ppb, Pd ≤ 10 ppb).

Kaikki Koitelaisen intruusioon kuuluvat kivet ovat R311:ssa vaihtelevassa määrin tektonisesti ohentuneet, magnetiittigabro alkuperäisestä paksuudesta 1/100:aan, UC 1/4:aan ja laikukas anortosiitti 1/6:aan.

Kesällä 1982 kaivettiin R311:n kairauslinjalle profiilissa tutkimuskuoppia. Silloin ilmeni, etteivät Koitelaisen intruusion kivet puhkea ollenkaan pintaan. Lähimpänä täplikästä peridotiittia on koekuopissa intruusion alapuolisia biotiittikiilleliuskeita, kauempana idässä intermediaarista tuffia ja vielä idempänä vulkaanista konglomeraattia. Kuitenkin kairausprofiilin eteläpuolella esiintyy rakkoina ja moreenin-alaisina puhkeamina (koekaivannoissa) tektonisoituneita intruusion kiviä (gabroja ja silikaattiutuneita magnetiittigabroja). Intruusion länsireunalta löytyi tällä alueella koekuopasta kaolinisoitunutta granofyyriä.

Aikaisemmin, keväällä 1981, oli kairattu reikä 3723/R306 (syv. 179.60 m) Pitkännuottionpuljussa, R311:sta koilliseen. Reikä aloitettiin rakkaana esiintyvän anortosiitin takaa, ja sen tarkoituksena oli lävistää UC-kerros. Siinä ei kuitenkaan tavoitettu intruusion yläosan kiviä; syynä on todennäköisesti anortosiittirakan ja reiän välissä oleva siirros. Reiän alusta 52.10 m:iin lävistettiin gabroja, jotka korkeahkojen Cr-pitoisuuksien perusteella kuulunevat päävyöhykkeen alaosaan. Gabron alla on 1.3 m paksu kloriitti-amfiboliliuske, joka on joko pyrokseniittinen pohjakumulaatti tai komatiittiksenoliitti. Tämän kontakti alla oleviin kiviin on terävä. Kontaktin alapuolella reikä kulki hyvässä kulmassa intruusion jalkapuolen

kivissä; kivet ovat intermediaarisia, happamia ja emäksisiä vulkanogeenisia gneissejä (tuffeja, tuffiitteja) ja niissä olevia emäksisiä juonia ja sillejä.

Intruusion läntinen, pohjoissuuntainen "siipi" on erittäin pahasti tektonisoitunut. Osa siirroksista on koillissuuntaisia, osa mahdollisesti kivilajikulun suuntaisia.

UC:n esiintymisestä intruusion pohjoisreunalla Pitkännuottionpuljun ja Kaitaselän välisellä alueella ei ole varmuutta. Tämä osa on koillisuuntaisten siirrosten pilkkoma. Joka tapauksessa on lukuisia rakka- ja rapakalliohavaintoja siitä, että ainakin granofyyri ja magnetiittigabro esiintyvät intruusion pohjoisreunalla.

Länsiosan kairaukset osoittivat, että UC:n tavoittaminen kairauksin intruusion tektonisoituneissa osissa on onnenkauppaa. Kuitenkin voitiin todeta, että näissäkin osissa intruusiota UC esiintyy normaalissa asemassaan.

UC-kerros on kairattu parhaimmillaankin niin harvalla reikäverkolla, ettei sen perusteella voida puhua todetuista malmivaroista. Koska intruusion kerrosrakenteilla ja yksittäisillä kerroksilla, erityisesti yläosassa, on erittäin hyvä stratigrafinen jatkuvuus (kerrosten todetun lateraalisen jatkuvuuden suhde kerrospaksuuteen on luokkaa 10^5), voidaan esittää arvioita todennäköisistä ja potentiaalisista malmivaroista. Jos oletetaan, että UC:n keskimääräinen kaade on 20°, malmin paksuus 1.2 m, ominaispaino 3.6 g/cm^3, ja puhkeaman pituus 55.8 km, on UC-kerroksessa olevan kromitiitin määrä 500 m:n vertikaalisyvyyteen 362 milj. tn. Yhden senttimetrin muutos paksuudessa merkitsee n. 3 milj. tn:n muutosta malmivaroissa; puhkeaman pituudessa yhden km:n muutos merkitsee 5.4 milj. tn:n muutosta. Jos UC:n keskimääräiseksi Cr_2O_3-pitoisuudeksi lasketaan 20 %, on kerrokseen sisältyvän Cr:n määrä 49.5 milj. tn. Kun kromiitin keskimääräinen Cr_2O_3-pitoisuus on 42.6 %, on malmissa samoilla perusteilla laskettuna kromiittia 170 milj. tn. Tässä arviossa on oletettu, ettei intruusion kaakkoisosassa ole yhtään kromitiittivaroja. Intruusion itäosassa on tektonisoitumisen takia "käyttökelvottomia" kromitiittivaroja n. 20 - 25 milj. tn.

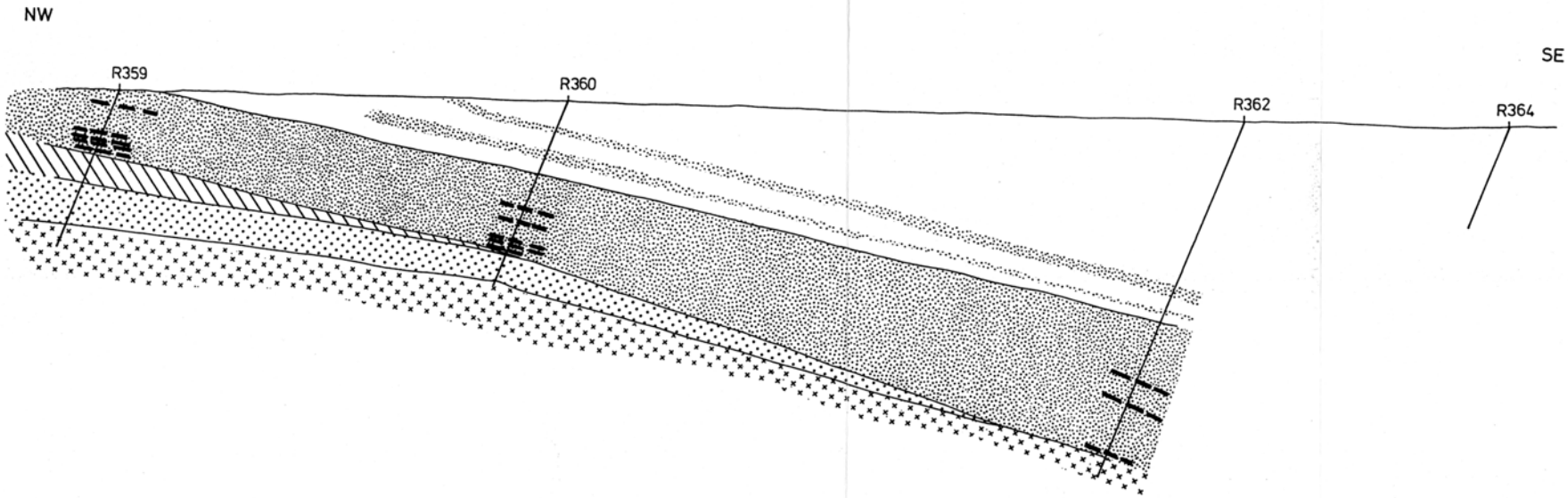
LC-kerrokset

Nämä kromitiittikerrokset on lävistetty neljällä syväkairausreiällä Porkkausaavan - Pikku Kiviaavan ja Koitelaisen tunturin välisellä suoalueella. Täryporanäytteen-otossa on kromitiittirapakallioon osuttu Kahdenputaanaavalla, Porkkausaavasta pohjoiskoilliseen, ja Loueaavan pohjoisosassa, Porkkausaavasta etelälounaaseen. Kauimmaisten löytöpaikkojen välinen suora etäisyys on n. 13 km. Kromitiitit ja niiden pyrokseniittiset sivukivet eivät näillä alueilla ole missään paljastuneina.

Kromiittipirotteisia pyrokseniitteja on rakka- ja lohkarehavaintojen mukaan Porkkausaavan länsipuolella ja intruusion länsiosassa Rookkijärven eteläpuolella. Täällä pyrokseniittien alla on paksuja ultramafiittisia kumulaatteja. On luultavaa, vaikkei täysin varmaa, että kromitiittikerrokset jatkuvat intruusion länsiosiin asti. Porkkausaavan ja Rookkijärven välisellä alueella paljastumia on erittäin harvassa ja intruusio on siirrosten pilkkoma; sen takia kivilajikerrosten (ja mahdollisten kromitiittien) kulkua on vaikea ennustaa.

Kromitiittikerrokset lävistettiin Porkkausaavalla profiilissa kolmella reiällä (3741/R359, 360, 362) (kuva 3). Profiilin takimmainen reikä (R364) olisi todennäköisesti myös lävistänyt kromitiitit, mutta urakoitsija (Geotek Oy) joutui sen keskeyttämään keliolojen huononnuttua. Toinen, ns. Pikku Kiviaavan profiili kairattiin Porkkausaavan profiilista n. 2.5 km koilliseen. Etummainen reikä (3741/R361) kulki koko kairatun matkan paksun diabaasijuonen sisällä. Tämän taakse kairattu reikä R363 on koko Koitelaisen alueen syvin (504.85 m). Se lävisti päävyöhykkeen alaosan ja alavyöhykkeen yläosan LC-kerroksineen, mutta kairaus jouduttiin lopettamaan alareunan chill-mikrogabroihin.

Porkkausaavan profiilissa vanhin ja alin kivilajiyksikkö on gneissigraniitti. Se on tavoitettu kolmessa reiässä (R359, 360, 362) ja rakkapaljastumina profiilista n. 2 km pohjoiseen. Kairausten, rapakalliohavaintojen ja geofysikaalisten tietojen mukaan gneissigraniitin kontakti on n. 700 m kairausprofiilin etummaisesta reiästä (R359) luoteeseen. Gneissigraniitin ja intruusion kontaktin kaade on 10° kaakkoon. Tämä on myös intruusion kerrosrakenteen kaade.



KOITELAINEN
PORKKAUSAAPA
1:4000
100m

Yksinkertaistettu
geologinen leikkaus
profiililta R359 - R364

Gneissigraniitti
Emäksinen kerrosjuoni
Mikrogabro (jäähtymisreunus)
Pyrokseniitti
Kromitiitti
Gabro

Kuva 3.

On syytä huomauttaa, että kairansydämissä gneissigraniitiksi nimetyt, ja yleensä sen näköisetkin kivet saattavat suureksi osaksi tai kokonaan olla varsinaisen pohjagneissin päällä olevia alalapponisia metasedimenttejä ja -vulkaniitteja; mm. graniittipalloista konglomeraattia esiintyy. Kivien "vanhannäköinen", karkea ja migmaattinen asu voi johtua Koitelaisen intruusion termometamorfoosista. Lähellä intruusiota näissä kivissä näkyy mikroskooppisesti paikallisia sulamisen merkkejä. Varsinainen arkeinen pohjagneissi sijaitsee joka tapauksessa kauempana luoteessa.

Koitelaisen intruusion pohjalle syntyneet chill-mikrogabrot esiintyvät pääasiassa autoliitteina pyrokseniittisissa kumulaateissa, mutta pohjimmaiset mikrogabrot (esim. rei'issä R359, 363) näyttävät olevan alkuperäisessä asemassaan. Mikrogabroissa on murskaleina komatiittista peridotiittia ja Koitelaista vanhemman, fraktioituneen kerrosjuonen kiviä.

Alavyöhykkeen yläosan kivet ovat pyrokseniitteja ja metapyrokseniitteja. Näissä on kairauksin lävistetty lukuisia kromitiittikerroksia 37 - 59 m paksussa kerrossarjassa. Ylimmät kromitiittikerrokset sijaitsevat 30 - 55 m alavyöhykkeen ylärajan alapuolella. Kerrosten konnektointi on vaikeaa reikien pitkien välimatkojen, siirrosten, juonikivien ja sydänhukan vuoksi; lisäksi alimmat kromitiitit ovat magmavirtauksissa särkyneet murskaleiksi, ja ilmeisesti särkymättömissäkin kerroksissa on lateraalista, ehkä huomattavaakin paksuusvaihtelua. Arviolta kyseessä on 4 - 6 kpl yli 0.3 m paksua malmikerrosta, joissa kromiitti esiintyy käytännössä ainoana kumulusmineraalina. Parhaimmat malmilävistykset ovat:

R359: 59.10 - 60.40 (1,3 m) / 23.3 % Cr_2O_3
R360: 130.78 - 104.66 (0.88 m) / 10.6 % "
R362: 271.60 - 272.83 (1.23 m) / 27.65 % "
R363: 410.62 - 411.77 /1.15 m) / 32.2 % "
411.99 - 413.51 (1.52 m) / 16.0 % "
(410.62 - 413.51 (2.89 m) / 21.2 % ").

Paksumpien kromitiittikerrosten lisäksi on lukuisia ohuempia kromitiittiraitoja ja verkkomaisia kromiittipirotteisia kerroksia. Heikkoa kromiittipirotetta on kaikissa pyrokseniiteissa ja yleisesti myös päävyöhykkeen alaosan gabroissa.

Kromitiittikerrosten alakontaktit ovat useimmiten teräviä, yläkontaktissa kromitiitti vaihettuu pyrokseenisilmäkkeisen kromitiitin ja verkkomaisen kromiitti-brontsiittikiven kautta kromiittirikkaaksi pyrokseniitiksi ja edelleen tavalliseksi, pieniä määriä kumuluskromiittia sisältäväksi pyrokseniitiksi. Analyysivälejä määrättäessä kromitiiteiksi on luettu massiiviset, silmäkkeiset ja rikkaat verkkomaiset malmityypit.

UC-kerrokseen verrattuna LC-kerrokset ovat laadullisesti vaihtelevampia. Massiiviset kromitiitit ovat selvästi Cr-rikkaampia kuin UC, mutta heikommat osat laimentavat malmeja niin, että rei'istä R359, R360, R362 ja R363 analysoitujen kromitiittilävistysten keskimääräinen painotettu Cr_2O_3-pitoisuus on 20.9 %. Tämä pitoisuus edustaa yhteensä 11.63 m kromitiittia.

LC-kerrokset ovat aina Pt-Pd-pitoisia, mutta kohonneita Au-pitoisuuksia ei ole. Ru, Rh, Os ja Ir ei ole systemaattisesti analysoitu.

NAS:ssä on teetetty LC-kerroksista neljä PGE-Au-Re-analyysiä, joista jokainen edusti kokonaista lävistettyä kerrosta. Näytteet ovat rei'istä 3741/R359 (2 kpl), R360 (1) ja R362 (1). Kaikille kromitiittinäytteille oli ominaista erittäin alhainen Au (3 - 8 ppb), korkeahko Ru (95 - 270 ppb) ja Rh (61 - 160 ppb). Kokonais-PGE-pitoisuuksien suhteen kaikki analysoidut kerrokset ovat hyvin samanlaisia, PGE vaihteli välillä 1214 - 1606 ppb. Keskimääräinen Pt/Pd oli 0.53. Ir vaihteli välillä 27 - 54 ppb, Os välillä 31 - 57 ppb.

Korkein yksittäisessä kairasydännäytteessä tavattu Pt+Pd-pitoisuus on ollut 3.41 ppm, kerroslävistysten painotetut pitoisuudet vaihtelevat välillä 0.1 - 3.41 ppm; painotetut Pt/Pd-suhteet vaihtelevat välillä 0.09 - 3.11. Kaikkien LC-lävistysten painotettu Pt+Pd on 0.87 ppm, painotettu Pt/Pd 0.34. Korkeat PGE-arvot johtuvat aina korkeista Pd-pitoisuuksista. R363:n LC-kerrosten Pt+Pd-pitoisuuksia ei tiedetä, koska ennen analyysiä kromitiittilävistykset oli yhdistetty mielivaltaisesti laimeiden sivukivinäytteiden kanssa, jotka saattoivat sijaita kaukanakin kromitiittikerroksesta. Kromitiittien välissä olevista pyrokseniiteista on tehty muutamia analyysejä, joissa oli korkeimmillaan Pt+Pd 0.23 ppm. PGE-mineraaleja ei yrityksistä huolimatta ole löytynyt.

Kromiitti esiintyy omamuotoisina, teräväsärmäisinä oktaedreina, joiden koko vaihtelee alle 0.1 mm:stä 1 mm:iin. Interkumulusaines koostuu pääasiassa flogopiitista, vaaleasta amfibolista ja plagioklaasista; vaihtelevia määriä on skapoliittia, talkkia, kloriittia, karbonaattia ym. sekundaarimineraaleja.

Eri LC-kerrosten ja niiden RP-näytteiden kromiiteista on 11 näytteestä tehty 55 röntgenmikroanalyysiä. Analyysit on tehnyt vuosina 1980 - 81 Tuula Hautala. Analyysisummien vaihtelusta (94.7 - 103.44 %) päätellen analyysit eivät ole kovin hyvälaatuisia. Syynä on käytetyn standardin epähomogeenisuus. Analyysit antavat hyvän kuvan LC-kerrosten kromitiittien koostumuksesta, mutta niiden perusteella ei voi tehdä kovin luo- tettavia johtopäätöksiä esim. koostumustrendeistä eri asemassa olevien kerrosten välillä, tai yksittäisen kerroksen sisällä.

Taulukossa 4 on esitetty R359:ssä lävistettyjen LC-kerrosten kromiittianalyysien vaihteluväli (sarake 1), näytekohtaisten keskiarvoanalyysien vaihteluväli (sarake 2) ja Keikkuma-aavalta RP-näytteenä saadun kromiittihiekan kromiitin koostumus (7 analyysin keskiarvo, sarake 3).

Taulukko 4. Kromiittien koostumuksia LC-kerroksista.

	1	2	3
TiO_2	0.0 - 2.3	0.0 - 0.84	0.3
Al_2O_3	7.9 - 15.3	8.3 - 14.8	11.7
FeO^{tot}	38.0 - 47.4	40.3 - 45.4	40.3
MnO	0.7 - 10.3		0.8
MgO	0.0 - 1.9	1.0 - 1.8	1.3
V_2O_3	0.26 - 0.60	0.29 - 0.43	0.43
Cr_2O_3	39.7 - 48.1	40.6 - 47.6	43.5
NiO	0.0 - 0.06		0.0
CoO	0.0 - 0.17		0.11
ZnO	0.10 - 0.47	0.13 - 0.40	0.21
Cr/Fe		0.83 - 0.98	0.95

Millään komponentilla ole selvää stratigrafista trendiä. Kuitenkin eräässä seurannon keskivaiheilla olevassa kerroksessa kromiitti on selvästi Al-köyhempi ja Cr-rikkaampi. Samoissa kromiiteissa on keskimääräistä selvästi korkeampi Cr/Fe ja pienempi Zn.

Ti:n suuri vaihtelu johtuu pelkästään röntgensuihkun kohdalle tai lähelle sattuneista ilmeniittisuotaumalamelleista. Näitä on LC-kromiiteissa kuitenkin huomattavasti

vähemmän kuin UC-kromiiteissa. Merkille pantavaa on pieni MgO-pitoisuus ja verraten pieni MgO-pitoisuusvaihtelu.

Näytteiden (= kerrosten) välillä on pientä mutta selvää MgO-pitoisuuden vaihtelua. Useimpiin stratiformien malmien kromiitteihin verrattuna Koitelaisen LC-kromiitit ovat poikkeuksellisen MgO-köyhiä; vain Penikkain intruusion kromiitti-pyrokseeni-plagioklaasikivien kromiitti ja Koitelaisen UC-kromiitti edustavat näin äärimmäisen Mg-köyhää jäsentä. Tunnetusti kromiitti köyhtyy Mg:stä kromiitin ja huokossulan reaktiossa lämpötilan laskiessa ja sen jälkeen kromiitin ja silikaattien koostumusten tasapainottuessa postmagmaattisissa ja varsinkin metamorfisissa reaktioissa. Magnesiumin totaalisen poistumisen edellytyksenä on kuitenkin, että kromiitin ja Fe-Mg-silikaattifaasin (sulan tai kiteiden) painosuhde on pieni. Ilmeisesti LC- ja UC-kerrosten pieni Mg-pitoisuus on peräisin alkuperäisestä kiteytymisympäristöstä. Koska kokeellisten tietojen mukaan Cr:n D-arvo (kromiitti/sula) on aina yli yhden, on paradoksaalinen mutta väistämättömän tuntuinen johtopäätös, että kromiitti kiteytyi Mg-köyhästä happamasta sulasta. Tätä tukevia muita piirteitä ovat kromiitin korkea Mn/Mg ja Co/Ni sekä flogopiitin suuri määrä interkumulusaineksessa. Muistutan vielä kromiitin esiintymisestä saalisesta kontaminaatiosta kärsineissä kivissä UC-tasolla intruusion kaakkoisosassa.

Koostumuksensa puolesta LC-kerrosten kromiitti ei kelpaa nykyisin vaatimuksin enempää metallurgiseksi raaka-aineeksi kuin tulenkestäviin tuotteisiinkaan; kromikemikaalien valmistukseen se saattaisi soveltua.

LC-kromitiittien Pd-Pt-pitoisuudet eivät parhaimmillaankaan ole taloudellisesti kiinnostavia. Kromitiittikerrosten väleissä ja päällä olevista kivistä on systemaattisesti analysoitu Au ja Pd, mutta niissä ei ole merkittäviä pitoisuuksia. Alimpiin, yleensä magmavirtauksissa häiriytyneisiin murskaleisiin kromitiitteihin liittyy satunnaisia pirotteisia ja joskus massiivisia sulfidirikastumia. Niissäkin kiven ja jopa sulfidifaasin Pt-Pd-pitoisuudet ovat erittäin pienet ja Ni-pitoisuudet täysin merkityksettömät.

Malmeissa itsessään on siten jo riittävästi koostumuksellisia ja geologisia ominaisuuksia tekemään ne epäekonomisiksi. Kun tähän vielä lisätään syrjäinen sijainti asumattomalla erämaa-alueella ja malmirikasteen pitkä kuljetusmatka

tuotantolaitoksiin ja satamaan, ei LC-kerroksia voi pitää muuna kuin tieteellisesti mielenkiintoisina metallirikastumina. Kromin riittävyydessä sinänsä ei maapallolla ole ongelmia, vaikka tuotannon lyhytaikaisia häiriöitä saattaa tulevaisuudessa sattua. Sellaisia aikoja varten taas LC-kerrokset eivät kelpaa hätävaraksikaan, eikä niitä lyhytaikaista tuotantoa varten kannata inventoida.

PGE-aiheet

Rookkijärven eteläpuolelta 1969 rakkana löytyneestä plagioklaasipyrokseniitista on tehty lisäanalyysejä GTK:n Rovaniemen laboratoriossa (Kontas) ja NAS:ssä Kanadassa. Nämä uudet analyysit on merkitty näytteeksi TM-85-28. Tästä paikasta 330 m etelään löytyi 1985 uusi, pitoisuuksiltaan jonkin verran parempi sulfidipitoinen gabro, joka selvästi liittyy paikallisesti montsoniittidiapiiriin (näyte TM-85-62)

Aiheen Ni-pitoisuudet ovat pienet (näytteessä 85-28 vaihtelu 0.014 - 0.098 %, keskiarvo 0.057 %; näytteessä 85-62 vaihtelu 0.044 - 0.084 %, keskiarvo 0.06 %). Cu-pitoisuus on näytteessä 85-28 0.24 %, näytteessä 85-62 0.68 %. Korkein Pd-pitoisuus oli näytteessä 85-28 0.49 ppm (NAS: 0.67 ppm), näytteessä 85-62.6 0.70 ppm (NAS: 1.1 ppm). Au-pitoisuudet ovat molemmisssa näytteissä pienet, < 10 - 20 ppb (NAS: 34 - 36 ppb). PGE-summa NAS:n analyysien mukaan on näytteessä 85-28 0.824 ppm, näytteessä 85-62 1.261 ppm. Kondriittinormalisoidut PGE-arvot ($PGE_{näyte}/PGE_{CH}$) laskevat jyrkästi Os-päähän päin. Erikoista tälle PGE-aiheelle on, että normalisoitu Rh-arvo on vastaavaa Pt-arvoa hiukan korkeampi. Kondriittinormalisoidussa käyrässä on huomattavan korkea Pd-piikki.

Koitelaisen tunturin päältä kairattiin 1982 reikä (3741/R365), joka lävisti päävyöhykkeen alaosan kivet pyrokseniittimerkkihorisontin alapuolelle. Tässä Keskilaen reiässä oli välillä 177.60 - 191.30 m (13.7 m) ultramafinen kerros, jossa karkean, kromiittipirotteisen oliviiniperidotiitin seassa oli epämääräisen muotoisia, hyvin vaaleita maasälpärikkaita osueita. Kivi on analoginen Stillwaterin PGE-esiintymään liittyvän ns. mixed rockin kanssa. Sekä peridotiittisessa että maasälpärikkaassa osassa on suuria klooriapatiitin kumuluskiteitä. Peridotiitti-kerroksen alaosassa on 0.6 m metapyrokseniittia ja sen alapuolella, 194.95 m:iin

vuorottelevia gabro- ja plagioklaasipyrokseniittikerroksia. Peridotiitin pyrokse-niittinen alaosa ja alapuolella oleva kerrossarja (190.70 - 194.95 m, yht. 4.25 m) on PGE-anomaalinen. Tällä välillä Pt vaihtelee välillä 30 - 100 ppb; Pd on pieni (vain kahdessa analyysissä 20 ppb). Au on koko matkalla alle 20 ppb. Kivessä ei ole sulfideja. Pd-Au-analyysit, jotka ulottuvat 177.6 m peridotiittisen kerrossarjan yläpuolelle ja n. 70 m sen alapuolelle osoittivat, ettei päävyöhykkeen näissä osissa ole Au-Pd-rikastumia; korkein Pd-pitoisuus oli 18 ppb, Au-pitoisuus 10 ppb.

Lakijängän alueelta Koitelaisen tunturiselänteen pohjoispäästä löytyi 1973 Pt-anomaalisia, magnetiitti-ilmeniittirikkaita ultramafisia pegmatoideja, joita kairattiin kesällä 1976. Kiransydännäytteistä on Kanadassa NAS:ssä teetetty kaksi PGE-analyysiä (näytteet TM-76-11Q ja 3741/R316/15.3 - 16.3 m). Näytteiden Pt-pitoisuudet olivat 0.18 ja 0.08 ppm; muut PGE:t ja Au olivat mitättömän pienet. Kondriittinormalisoitu käyrä on Os-päähän jyrkästi laskeva. Jo aikaisempien havaintojen mukaan Pt korreloi positiivisesti Fe-Ti-oksidien määrän kanssa. Kun kivistä ei huolellisessakaan mikroskooppitarkastelussa ole löytynyt PGE-mineraaleja (PGM), on mahdollista, että PGM:t esiintyvät oksideissa submikroskooppisina rakeina, tai Pt on ilmeniitin ja (tai) magnetiitin hilassa.

Rykimäselän PGE-aihe sijaitsee intruusion päävyöhykkeessä pigeoniittigabron ja sen päällä olevan noriitin reversaalivyöhykkeessä. Aihe on paikannettu yhdestä paljastumasta Rykimäselän länsireunalta Koitelaisen tunturin itäpuolelta. Vuonna 1974 paljastumasta löytyi Cu-valtaisia sulfideja. Paljastumanäytteinä otetut kaksi kiveä analysoitiin 1984 GTK:n Otaniemen laboratoriossa. Analyysin mukaan sulfidipitoisessa noriitissa on Cu 0.145 %, Ni 0.026 %, Co 29 ppm, Ag 1 ppm, Au 0.35 ppm, Pt 1.9 ppm, Pd 5.2 ppm ja S 0.18 %. Sulfidifaasin (S = 37 %) Pt+Pd+Au-pitoisuus on 1532 ppm.

Samasta paljastumasta normaalina, homogeenisena noriittinäytteenä otetussa kivessä oli Au 0.06 ppm, Pt 0.47 ppm ja Pd 0.58 ppm (Au+Pt+Pd 1.11 ppm), NAS:in analyysin mukaan Au oli 0.042, Pt 0.44, Pd 0.41 ppm. Samassa vyöhykkeessä tästä paljastumasta 2.7 km pohjoiseen on noriitissa tummapigmenttistä anortosiittia (kerros?), jossa (näyte TM-74-31) oli Pt 50 ppb (Au ja Pd > 20 ppb).

Rykimäselän paljastumasta otettiin kesäkuussa 1985 Minidrill-poralla 25 näytettä. Näytteistä analysoitiin Rautaruukki Oy:n Raahen laboratoriossa jalometallit (Au, Pt ja Pd), Ti, V, Cr, Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, P, S, Ba, Sr ja Zr; rikkianalyysin (XRF) sivutuotteena saatiin CaO, MgO, Al_2O_3, SiO_2, Na_2O, K_2O. Paras pitoisuus (näyte K11015/85) oli Au 0.09 ppm, Pt 0.6 ppm ja Pd 1.2 ppm. Näytteen S-pitoisuus on 1.04 %, josta sulfidifaasille saadaan pitoisuus 67.2 ppm Au+Pt+Pd (Pt/Pd = 0.5). Tästä näytteestä NAS:n analyysi antoi Au 0.078 ppm, Pt 0.52 ppm ja Pd 0.89 ppm; lisäksi oli (ppb): Os 3, Ir 10, Ru 21, Rh 51. Sulfidifaasin PGE+Au-pitoisuudeksi tulee 56.0 ppm. Rautaruukki Oy:n analyysissä oli Cu 0.57 % ja Ni 0.065 %. Muut paljastumasta otetut Minidrill-näytteet olivat korkeintaan lievästi anomaalisia (kaksi näytettä, joissa Au+Pt+Pd oli 1.22 ja 1.50 ppm). Jalometalleilla ja Cu:lla on positiivinen korrelaatio.

Reversaalivyöhykkeessä PGE-Au esiintyvät hajanaisesti ja liittyvät Cu-rikkaiden sulfidien pirote- ja suonirikastumiin. Paljastuneessa osassa kivi oli hyvin heterogeeninen: karkearakeisessa, yleensä uraliittiutuneessa gabrossa (noriitissa) on pyöreähköjä, läpimitaltaan 5 - 30 cm:n kokoisia, melko terävärajaisia pegmatoidiosueita. Pegmatoidien pyrokseeni/plagioklaasi-suhde vaihtelee. Jotkut plagioklaasirikkaat pegmatoidit ovat hyvin karkearakeisia. Yleensä pegmatoideissa ei ole näkyvää sulfidia. Rapautumispinnassa ne ovat jääneet 2 - 5 cm kuopalle; kuoppien reunat ovat teräviä. Vaaleat pegmatoidiset osueet liittyvät ilmeisesti sivukivien aiheuttamaan saaliseen kontaminaatioon. Myös ilmeniitin esiintyminen indikoi saalista kontaminaatiota.

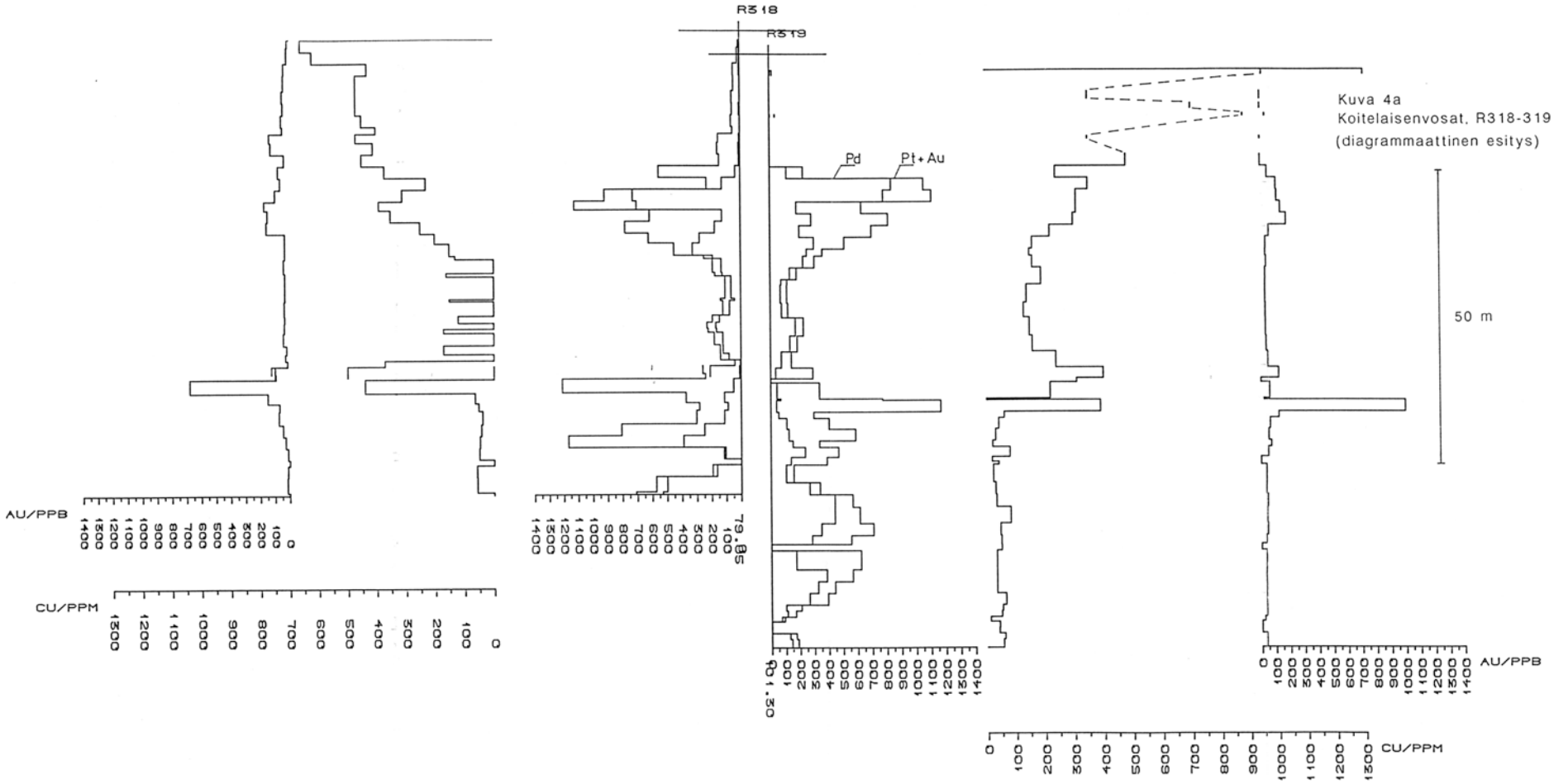
PGE-pitoisen paljastuman eteläpuolelta otettiin noriitista 13 näytteen profiili. Näissä, enempää kuin reversaalin alapuolisissa pigeoniittigabroissakaan, ei ollut anomaalisia PGE-Au-pitoisuuksia. Rykimäselästä pohjoisluoteeseen esiintyy pigeoniittigabroissa pyrokseniittisia osia (autoliitteja ?, näytteet K11055 ja 11056), joista yhdessä näytteessä oli Rautaruukki Oy:n tekemässä analyysissä 0.03 ppm Pd, toisesta 0.4 ppm Pt. Näissä kivissä ei ole sulfideja (S = 0.003 ja 0.004 %).

Kondriittinormalisoidut käyrät NAS:n analyyseistä osoittavat odotetusti, että Pd:lla on voimakas positiivinen piikki ja Os-pään PGE:t ovat sulfidisille PGE-mineralisaatioille ominaiseen tapaan köyhtyneet. Mielenkiintoinen piirre Rykimäselän normalisoiduissa arvoissa on, että Os, Ir, Ru ja Rh ovat selvästi korkeammat kuin intruusion alaosassa Rookkijärven PGE-esiintymässä, vaikka pitäisi olla päinvastoin. Ilmeisesti Os--Rh ovat koko alavyöhykkeen ja päävyöhykkeen kiteytymisen ajan käyttäytyneet "tarttumattomina" metalleina ja rikastuneet jäännössulaan.

PGE-Au-rikastuma Koitelaisenvosien magnetiittigabrossa on eräs Koitelaisen intruusion merkillisempiä ja geokemiallisesti merkittävimpiä piirteitä. Vuoden 1976 kairauksissa oli magnetiittigabroa leikkaavasta kvartsijuonesta saatu lievästi anomaalinen Au-Pt-Pd-pitoisuus. Kun myös sivukivessä oli jalometallianomalia, näytti mahdolliselta, että PGE-Au-oli peräisin sivukivistä. Asemaltaan ja geokemialtaan erilaisia magnetiittigabroja lähetettiin analysoitavaksi 1984. Näytteet olivat magnetiittigabrojen aikaisempien kairausten analyysijauheita. Koska ne edustivat vaihtelevia lävistyspituuksia, yleensä 2 m:n kairauspituutta (paikoin lähes 4 m), eivät PGE-esiintymille tyypilliset ja magnetiittigabroissakin mahdolliset kapeat, rikastuneet reefit voi kovin selvästi eikä tarkasti tulla esiin. Näytteet analysoitiin GTK:n Otaniemen laboratoriossa (fire assay, Pt, Au, Pd). Tulokset valmistuivat 1987. Lähes kaikki näytteet osoittautuivat Pt-Pd-Au-anomaalisiksi; parhaimmissa jalometallisummat olivat yli 1 ppm (1.17 ppm/2 m ja 1.21 ppm/2.35 m). Metriprosentteina nämä molemmat lävistykset jo vastasivat Merensky Reefin PGE-Au-sisältöä. Myöhemmin rei'istä 3741/R318 ja R319 tehtiin Pt-Pd-Au-analyysi koko magnetiittigabrolävistyksestä. Magnetiittigabron alapuolisia kiviä ei tässä vaiheessa analysoitu, koska niiden jalometallipitoisuudet olivat alustavissa analyyseissä osoittautuneet merkityksettömiksi.

Kuvissa 4a - 4c on esitetty Pt-Pd-Au-pitoisuusprofiilit rei'istä R318 ja R319. Lisäksi on pitoisuusprofiilina esitetty V ja Cu. Kuvasta 4a näkyy, että PGE-Au ei korreloi Cu:n kanssa. PGE-Au-nousu alkaa magnetiittigabron pohjalta, jo paljon ennen Cu:n nousua. Alaosan alhainen Cu merkitsee, että sula oli vielä siinä vaiheessa sulfidialikylläinen. Cu:n äkillinen nousu V-rikkaan alaosan yläosassa osoittaa, että sula saavutti sulfidikylläisyyden. Syntynyt sula oli, kuten myöhäiseltä fraktioitumisvaiheelta sopii odottaakin, Cu-rikasta. Cu:n taso säilyy ylöspäin korkeana ja jopa nousee, mutta PGE-Au ei seuraa tätä nousua. Jalometallien rikastuminen ei siis liity kausaalisesti sulfidisulan erkaantumiseen. Ainoa poikkeus on Cu-rikkaan osan alarajalla oleva voimakas Au:n piikki. Cu-rikkaissa magnetiittigabroissa näkyy mikroskoopisesti runsaasti kuparikiisua, mutta platinamineraalit (cooperiitti, sperryliitti, Pt-telluridit, Pt-Fe-lejeerinki) eivät mikroskooppimittakaavassakaan liity sulfideihin, vaan esiintyvät useimmiten pieninä (yleensä ~10 um) sulkeumarakeina ilmenomagnetiitissa tai ilmeniitissä, harvemmin silikaateissa. Kuvasta 4c näkyy, että jalometalleilla on erittäin hyvä korrelaatio kumulusilmenomagnetiitin määrää indikoivan V-pitoisuuden kanssa. Niinpä PGE-Au laskee magnetiittigabroyksikön keskivaiheilla olevassa V-köyhässä gabroválikerroksessa. Ilmeisesti Fe-Ti-oksidin kiteytyminen aiheutti PGM:ien saostumisen, tai ainakin näillä on yhteinen syy. Sula kuitenkin köyhtyi jalometalleista niin, etteivät ne jaksaneet seurata V-pitoisuutta magnetiittigabron yläosaan asti.

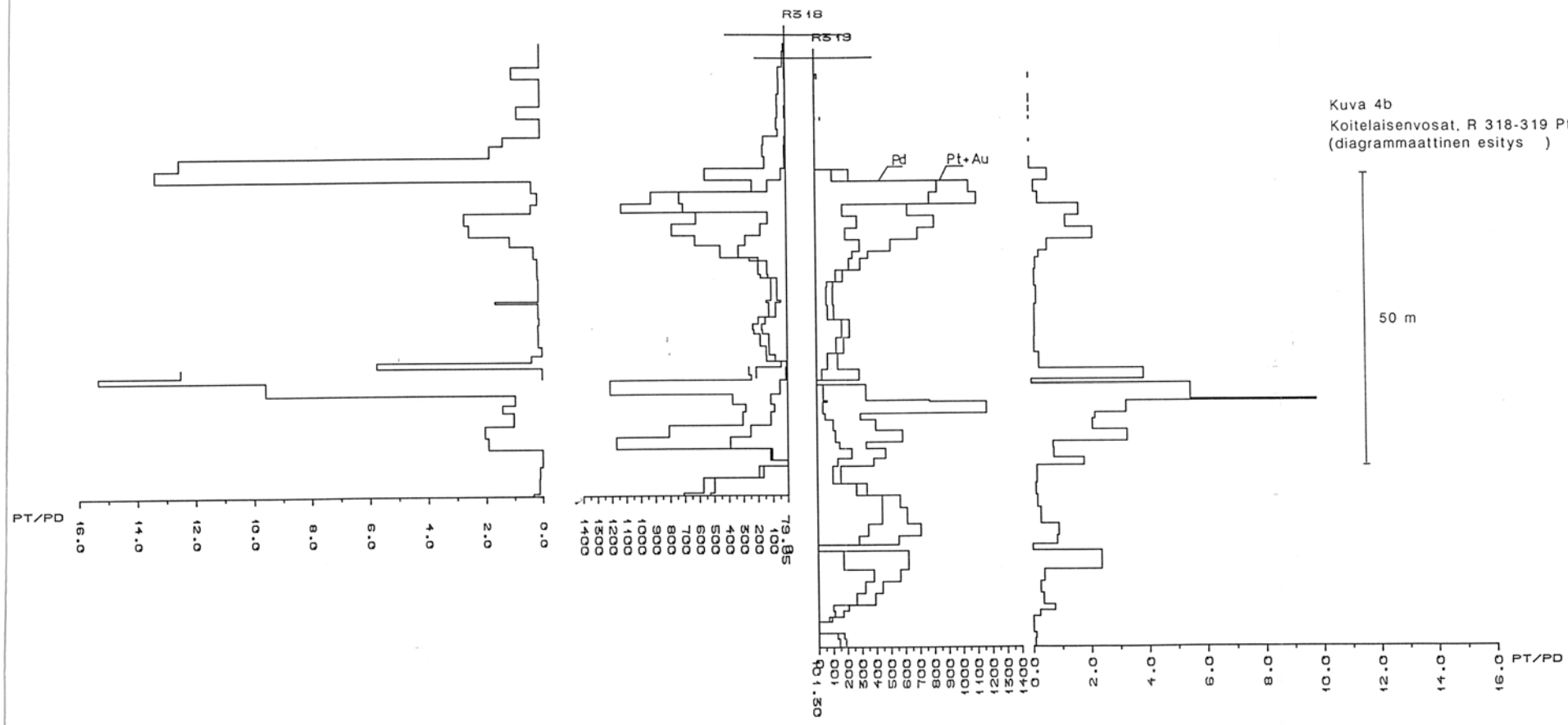
NAS:ssä on tehty 11 PGE-Au-analyysiä samoista jauheista. Tulokset, yhtä näytettä lukuun ottamatta (ilmeisesti kokonaan eri näytteen jauhe), ovat yhtäpitäviä GTK:n analyysien kanssa. Os-Ir-Ru-Rh-pitoisuudet ovat merkityksettömän pieniä. Magnetiittigabron Cu-rikas yläosa ei oleellisesti poikkea Cu-köyhästä alaosasta. Analysoitujen näytteiden perusteella PGE-esiintymä on Pd-valtainen (Cu-rikkaassa osassa Pt/Pd 0.51, Cu-köyhässä alaosassa Pt/Pd 0.32); toisaalta, kuten kuvasta 4b näkyy, jalometallien keskinäiset suhteet vaihtelevat voimakkaasti ja hyvin lyhyillä väleillä. Kondriittinormalisoidut arvot laskevat jyrkästi Os-päähän päin; Os itse ei ylittänyt yhdessäkään näytteessä



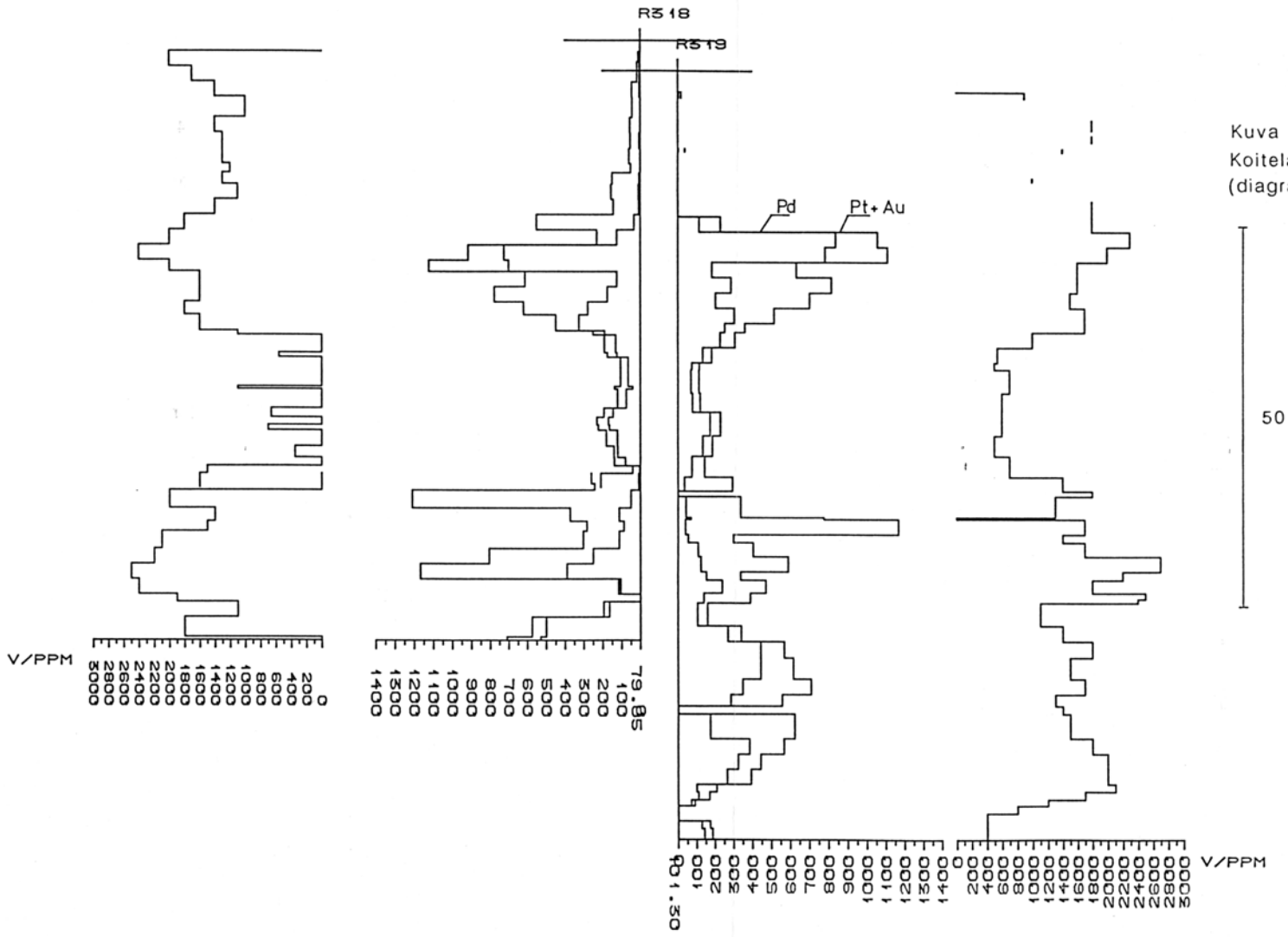
Kuva 4a
Koitelaisenvosat, R318-319 Pt+Pd+Au ja Cu
(diagrammaattinen esitys)

66

67



Kuva 4b
Koitelaisenvosat, R 318-319 Pt+Pd+Au ja Pt/Pd
(diagrammaattinen esitys)



Kuva 4c
Koitelaisenvosat, R 318-319 Pt+Pd+Au ja V
(diagrammaattinen esitys)

3 ppb:n määritysrajaa. Magnetiittigabro on myös selvästi Rh-Ru-Ir-köyhempi kuin alempana olevat kromitiitit ja sulfidiset PGE-Au-rikastumat. Itse magnetiittigabrossa tilanne on käänteinen: yläosa on Ir-Ru-Rh-rikkaampi kuin alaosa, ja samalla myös Pt-Pd-Au-rikkaampi. Tehtyjen S-määritysten perusteella laskettuna yläosan sulfidifaasin osalle tulee 870 ppm (max 4321 ppm) PGE+Au, alaosan sulfidifaasin osalle 2234 ppm PGE+Au (max 11626 ppm).

PGE-Au-pitoisuudet, metallisuhteet ja esiintyminen kerroksellisuuden suhteen ovat molemmissa analysoiduissa lävistyksissä lähes identtiset. Kyseessä on geokemiallisesti huomattava PGE-Au-rikastuma: vaikka mukaan otetaan 20 m paksu, köyhä välikerros, saadaan magnetiittigabron alimman, 75 m paksun osan painotetuksi keskipitoisuudeksi 0.5 ppm PGE+Au. Tä- hän sisältyy neljä kahden metrin osaa, joiden metriprosenttinen jalometallisisältö on samaa luokkaa kuin Merensky Reefissä.

Magnetiittigabron mahdollisesta PGE-Au-pitoisuudesta intruusion muissa osissa ei ole tietoa. Kun magnetiittigabroon sisältyy PGE+Au-rikkaampia kerroksia, on mahdollista, että näillä rikastumilla on lateraalisia pitoisuus- ja paksuusvaihteluja, huonompaan ja parempaan suuntaan. Niiden selvittäminen ja seuraaminen vaatisi paljon kairausta koko intruusion alueella ja tiheävälistä PGE-Au-analysointia. Joka tapauksessa näyttää siltä, että magnetiittigabroyksikkö edustaa valtavaa kullan ja platinametallien varantoa. Tämän varannon käyttökelpoisuus riippuu siitä, miten hyvin jalometallit ovat kivestä erotettavissa ja miten jalometallien saatavuus ja hinnat tulevaisuudessa kehittyvät. Koitelaisen magnetiittigabrossa on avolouhinnan ulottuvilla 10 000 tonnin luokkaa oleva jalometallivaranto. Se edustaa eräänlaista puskurivarantoa, varantopyramidin pohjan voimakasta laajentumista 0.5 g/t pitoisuustasolla.

Muita PGE-aiheita. Koitelaisen "löytymätön" PGE-potentiaali.
Sekä LC- että UC-kromitiitit sisältävät kohonneita PGE-pitoisuuksia. Au-pitoisuudet ovat aina mitättömän pieniä (LC:ssä keskim. 6 ppb, UC:ssä 15 ppb). Kokonaisina NAS:ssä analysoitujen LC-lävistysten keskimääräinen PGE-pitoisuus on 1368 ppb, UC-lävistysten vastaava pitoisuus on 1076 ppb.

Kaikki LC-lävistykset ovat Pd-valtaisia (Pd = 643 ppb, Pt/Pd = 0.53), lisäksi on merkittäviä määriä Pt (340 ppb) ja Ru (199 ppb). Kondriittinormalisoituina LC-kromitiiteilla on huomattavan korkea Rh ja aina analyyttisesti erottuvia määriä Os ja Ir. Rh+Os+Ir on keskimäärin 181 ppb.

UC-kerrokset ovat GTK:n fire assay-analyysien mukaan Pt-valtaisia, mutta NAS:n analysoimat kokonaiset kromitiittilävistykset olivat Pd-valtaisia (Pt/Pd = 0.73). Keskimääräinen Pt-pitoisuus on 302 ppb, Pd-pitoisuus 416 ppb. Kondriittinormalisoitu PGE-käyrä on UC:lla lähes identtinen LC-kerrosten kanssa. Rh+Os+Ir on keskimäärin 151 ppb.

Mukkajärvenaavan magnetiitti-ilmeniittirikkaassa pegmatoidissa (Mutanen, 1982a) Pt-pitoisuudet olivat GTK:n analyyseissä yleensä määritysrajan (20 ppb) alapuolella; viidessä analyysissä (analyysipituus 1 - 6.1 m) oli Pt 30 - 140 ppb. Pd-pitoisuus nousi vain kolmessa analyysissä (pituus 4.25 - 9.55 m) 20 - 30 ppb:een. Kaikki analysoidut Au-pitoisuudet olivat pienempiä kuin 20 ppb. Anomaaliset Pt-pitoisuudet liittyivät pegmatoidipiipun keskelle ja siellä magnetiittirikkaimpiin kiviin. Heikko Pd-anomalia sijoittuu pegmatoidien reunaosan, jotka paikoin ovat sulfidipitoisia. Koska pegmatoidista ei ole täydellistä kairauslävistystä eikä kairatusta lävistyksestä jatkuvaa, tiheävälistä PGE-analyysitietoa, ei sen PGE-potentiaalia voida pitää täysin selvitettynä. On mahdollista, että piippumaisen pegmatoidin magnetiittirikkaat ydin- ja juuriosat ovat Pt-rikkaampia. Mukkajärvenaavan pegmatoidi on analoginen Lakijängän pegmatoidien kanssa, mutta niitä paljon suurempi.

Analogioiden perusteella (esim. Great Dyke) intruusion alavyöhykkeen yläosa on PGE-kriittinen. Porkkausaavan reiästä 3741/R360 on analysoitu (GTK:n Rovaniemen laboratorio, AAS) Au ja Pd väliltä, joka käsitti päävyöhykkeen alimman osan (n. 60 m) ja alavyöhykkeen pyrokseniittisen osan intruusion pohjaan asti. PGE-anomaalisten kromitiittien lisäksi lävistyksessä oli 80 m pyrokseniitteja, joissa Au oli yli 20 ppb; tästä 12.76 m:ssä oli Au yli 40 ppb. Pd oli 18.7 m:n matkalla yli 20 ppb, mutta yli 40 ppb:n pitoisuuksia ei tavattu. Selvästikin PGE-Au on siis rikastunut alavyöhykkeen yläosaan, mutta rikastuma on, kromitiittikerroksia lukuun ottamatta, jäänyt laimeaksi.

Porkkausaavan rei'issä 3741/R359 - 360 on alimpien häiriytyneiden kromitiittien yhteydessä lävistetty Cu-rikkaita sulfidipirotteisia pyrokseniitteja ja ohuita massiivisia, magneettikiisuvaltaisia sulfidirikastumia. Massiivisessa sulfidissa oli Cu 0.3 %, Ni 0.34 % ja Pt+Pd 0.1 ppm/13 cm. Pisaramainen sulfidipirote massiivisen osan alapuolella sisälsi 0.86 m:n matkalla keskimäärin Cu 1.1 %, Ni 0.08 % ja Pt+Pd 0.13 ppm. Metallisuhteiltaan nämä sulfidit muistuttavat Rookkijärven alueen PGE-pitoisia sulfideja.

Alavyöhykkeen alapuolisissa chill-kivissä ja Koitelaista vanhemmassa gabrojuonessa esiintyy kairauslävistyksissä sulfidijuoniverkostoa, jonka aines saattaa olla peräisin yläpuolella olevista kivistä. Sulfidipitoisissa kivissä on yleisesti lievästi kohonneita Au-Pd-pitoisuuksia, parhaimmillaan (R360/153.35 - 153.63 m) 0.15 ppm Pt, 0.26 ppm Pd, 0.08 ppm Au; lisäksi oli samassa näytteessä 0.32 % Cu ja 0.038 % Ni.

Ilmeisesti alavyöhykkeen mikrogabroihin liittyy laajemminkin lievästi jalometalli-anomaalisia sulfidipirotteita. Ison Vaiskonselän itäpäästä löytyi sulfidipirotteinen (0.17 % S) mikrogabrolohkare (näyte TM-83-104), jossa on Au 30 ppb, Pd 70 ppb ja Pt 20 ppb. Sulfidifaasin Pt+Pd+Au-pitoisuus on 26 ppm.. Kivessä on 0.17 % Cu ja 0.045 % Ni. Alhaisesta TiO_2-pitoisuudesta (0.20) ja korkeasta Cr_2O_3-pitoisuudesta (500 ppm) päätellen kivi edustaa melko vähän fraktioitunutta gabromagmaa.

Intruusion PGE-potentiaali on suurelta osalta selvittämättä. Stratigrafiaa on kerroksittain sidotuilla rei'illä lävistety 1460 m. Suurin osa kerrossarjaa (n. 1600 m) on kuitenkin vielä lävistämättä. Eräät PGE-kriittiset osat - erityisesti ensimmäisen pigeoniittigabron ja sen päällä olevan normaalin noriitin reversaalivyöhyke sekä LC-kerrosten ja duniittien välinen osa - on kokonaan lävistämättä. Lävistetystä stratigrafiasta on jatkuvat Pd-Au-analyysit magnetiittigabrosta, päävyöhykkeen alimmista gabroista ja alavyöhykkeen ylimmistä pyrokseniiteista. Tekeillä on Pd-Au-analyysisarja magnetiittigabron alakontaktista päävyöhykkeen yläosaan ulottuvasta, stratigrafiaan sidotusta lävistyssarjasta. Päävyöhykkeen keskiosa on kairauksin lävistämättä, mutta sen kivet ovat hyvin paljastuneina Koitelaisen tunturialueella, eikä siellä ole ilmennyt mitään, mikä suoraan tai välillisesti viittaisi stratiformeihin PGE-rikastumiin.

Päävyöhykkeen alaosan "mixed rock"-kerroksen mahdolliset PGE-rikastumat vaativat lisäkairausta. Pt-anomalia on todettu yhdessä olemassa olevassa lävistyksessä. Kun tietää, miten PGE-pitoisuudet tämän tapaisissa kerroksissa vaihtelevat lyhyilläkin matkoilla, ei kyseiseen kerrokseen liittyvää PGE-potentiaalia voi pitää ollenkaan selvitettynä. Kerrossarja on analoginen Stillwaterin PGE-Reefin kanssa, mikä antaa lisäperusteita jatkokairaukselle.

Todetuista PGE-rikastumista päävyöhykkeen yläosan pigeoniittireversaaliin liittyvä mineralisaatio on kokonaan lävistämättä kairauksella.

Päävyöhykkeen yläosan merkittävyyttä PGE:ien suhteen korostaa se, että niiden kohdalle sattuvat geokemian hp-ohjelman korkeimmat ja selvimmät moreenin hienoaineksen Pd-anomaliat. Magnetiittigabrojen kohdalle ei Pd-anomalioita tule.

Ehkä merkittävin tulos Koitelaisen PGE-tutkimuksista on, etteivät PGE:t noudata mitään stratigrafisia rikastumissääntöjä. Huomattavin tunnettu PGE-Au-rikastuma sijaitsee magnetiittigabrossa lähellä intruusion kattoa. Toinen, PGE-malminetsinnän kannalta tärkeä piirre on, etteivät PGE:t pääsääntöisesti liity sulfidirikastumiin. Tämä on viime aikoina havaittu useissa intruusioissa; joskus jopa niin, että PGE:t näyttävät "vierastavan" sulfideja. Koitelaisessakin sulfidipirotteet ja varsinkin massiiviset sulfidikasaumat ovat PGE-köyhiä. Selvimmin PGE:t liittyvät oksideihin (kromiitti, magnetiitti, ilmeniitti). Niissäkin tapauksissa (Merensky Reef, Koitelaisen magnetiittigabron yläosa), joissa PGE:t liittyvät sulfidirikastumiin, ne eivät välttämättä liity itse sulfidimineraaleihin. Jo nyt on selvää, ettei PGE-esiintymien synnyn selittämiseen käytetty sulfidisulamalli ole yleispätevä. PGE:ien ja sulfidien yhteys, missä se on havaittu, voi olla poikkeuksellinen ja sattumanvarainen; silikaattisulasta erkaantunut sulfidisula saattaa olosuhteiden niin salliessa kerätä PGE:t, mutta useimmiten PGE:t erottuvat ja rikastuvat silikaattisulasta siitä riippumatta, onko sulfidikylläisyys saavutettu.

Muita kaivannaisaiheita ja tutkimuskohteita

Kesällä 1982 löytyi intruusion länsilaidalta Liesin pirtin kaakkoispuolelta (x = 7527.70, y = 491.94) kaivinkoneella kaivetusta koekuopasta n. 2 m:n syvyydestä rapautunutta granofyyriä, jonka pintaosa on voimakkaasti kaoliiniutunut. **Kaoliini** on valkoista tai vaaleanpunertavaa. Ilmeisesti kaoliiniutunut osa ei ole kovinkaan paksu, koska kaivannon pohjalla (2.5 -3 m) granofyyri oli jo melko kovaa.

Geokemian osaston EKV-listoja tarkastettaessa löytyi Karinkiselästä analyysin perusteella näytteenottopiste (kl 3741 02, piste 75/26311, x = 7534.81, y = 508.40), jossa näytteet syvyyksillä 035, 045, 055, 065, 075 ja 083 dm olivat kaoliinirikkaita. Kaoliini on harmaata. EKV-analyyseissä erottuivat vain Si ja Al. Näytteen kaoliinipitoisuutta ei ole määritetty. Kaoliinirapauma on todennäköisesti syntynyt arkoosikvartsiitista, jota lähialueilla esiintyy rakkoina.

Jousiaavan-Kahdenputaanaavan alueella Koitelaisen gabron lounaisosassa olevia matalalentomagneettisia anomaliajaksoja selviteltiin maastomittauksilla (magneettinen ja sähkömagneettinen slingrammittaus). Systemaattinen mittaus käsitti vain pienen (2 x 3 km) osan anomalian keskiosasta. Luoteinen jakso on hyvin pitkä ja jatkuva; karttalehdellä 3732 06 sitä voi magneettisella harmaasävykartalla seurata n. 10 km:n matkan. Anomalia vaikuttaa intruusion rakenteen suhteen konformilta, ja se saattaa edustaa kerrosta. Magneettinen kappale on ilmeisesti ohut ja sen kaade on kaakkoon. Magneettista anomaliaa seuraa koko matkan sähkömagneettinen imaginaarianomalia. Koska tällä alueella ei ole paljastumia, ei anomalian aiheuttajasta ole tietoa. Anomaliakombinaation (magneettinen + imaginaari) perusteella kyseessä voi olla magnetiitti-vermikuliittipitoinen ruhje, mutta muotonsa ja jatkuvuutensa perusteella se voisi edustaa intruusion kerrossarjan kerrosta. Stratigrafiassa tällä paikalla tunnetuista kerroksista voi esiintyä vain kromitiitti. Havaitun anomalian voi aiheuttaa flogopiittiiskoksinen kromitiitti, jonka kromiitti on osittain magnetiittiutunut ja flogopiitti pintaosistaan vermikuliittiutunut.

Tämän anomaliajakson kaakkoispuolella on samansuuntainen magneettinen anomalia, jota magneettisella harmaasävykartalla voi seurata ainakin 10 km:n matkan. Tämänkin anomalian aiheuttavan kappaleen kaade on kaakkoon. Anomalia on verraten voimakas (2000 nT) ja leveä (anomalian puoliarvoleveys 100 m:stä yli 200 m:iin). Tähän anomaliaan liittyy leikkaavia ja paikoin anomalian reunoja seurailevia imaginaarianomalioita, mutta magneettinen ja sähkömagneettinen anomalia eivät seuraa toisiaan säännönmukaisesti, vaan ne aiheutuvat erilaisista geofysikaalisista "kappaleista". Todennäköisesti magneettisen anomalian aiheuttaa joko intruusion katossa oleva peridotiitti tai intruusion yläosaan vajonnut ultramafinen ksenoliitti. Imaginaarianomaliat johtunevat vermikuliitti-hydrokiillepitoisista ruhjeista. Kuvattujen luoteisen ja kaakkoisen magneettisen jakson välisellä alueella on lukuisia imaginaarianomalioita, joiden muoto, suunta ja muut rakennepiirteet osoittavat, että kyseessä on vermikuliittipitoisia ruhjevyöhykkeitä. Sulfidisiin johteisiin viittaavia sähkömagneettisia reaalikomponenttianomalioita ei ole.

Jousiaavan-Kahdenputaanaavan anomalioiden selvittäminen vaatisi kaksi syväkairausreikää. Koska luoteisempi jakso saattaa edustaa UC-kerroksen paksuuntumaa, olisi sen selvittäminen kromiitin, mutta myös PGE:ien, kannalta tärkeätä.

geologi Tapani Mutanen

KIRJALLISUUSVIITTEET

Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi Koitelaiskairan luonnonsuojelu-alueesta (1988).

Isomaa, J. (1978). Keski-Lapin liuskemuodostuma Petkulan alueella Sodankylän pohjoispuolella. Pro gradu -tutkielma. Oulun yliopiston geologian laitos. 92 s.

Karvinen, A. (1983). Kobolttitutkimukset Lokan Iso Povivaarassa Sodankylän kunnassa vuosina 1979 - 1982. Raportti M 19/3741/-83/1/10. 7 s. GTK, Espoo.

Kröner, A., Puustinen, K., & Hickman, M. (1981). Geochronology of an Archean tonalitic gneiss dome in northern Finland and its relation with an unusual overlying volcanic conglomerate and komatiitic greenstone. Contrib. Mineral. Petrol. 76 (1), 33-41.

Lehtonen, M., Manninen, T., Rastas, P., Väänänen, J., Roos, S. I. & Pelkonen, R. (1984). Geological map of Central Lapland, northern Finland, 1 : 200 000. Geological Survey of Finland.

Lestinen, P. (1980). Peurasuvannon karttalehtialueen geokemiallisen kartoituksen tulokset. Summary: The results of the geochemical survey in the Peurasuvanto map-sheet area. Explanatory notes to geochemical maps, Sheet 3723. Geological Survey of Finland.

Maa- ja metsätalousministeriö (1979). Valtioneuvoston periaatepäätöksen mukainen kansallis- ja luonnonpuistojen kehittämisohjelma. Kansallis- ja luonnonpuistojen rajaustyöryhmä. Helsinki.

Mikkola, E. (1937). Suomen geologinen yleiskartta. Kivilajikartta, 1 : 400 000, lehti C7, Sodankylä. Suomen geologinen toimikunta.

Mikkola, E. (1941). Suomen geologinen yleiskartta. Lehdet B7 - C7 - D7. Muonio - Sodankylä - Tuntsajoki. Kivilajikartan selitys. Suomen geologinen toimikunta.

Murtovaara, P. (1985). Kobolttitutkimukset Ylä-Liesijoen alueella Sodankylässä vuosina 1981 - 1982. Rap. M 19/3723/-85/1/10. 8 s. GTK, Espoo.

Mutanen, T. (1973a). Selostus Koitilaisen alueen malmitutkimuksista ajalla 1973-06-28 - 1973-08-15. Rap. GTK:ssa, Espoo.

" (1973b). Koitilaisen gabrointrusiivin E-osan oksidirikastumat. Rap. M 19/37/73/1/10. GTK, Espoo.

" (1974a). Koitelaisen tutkimukset 1973 - 1974. Rap. M 19/37/74/1/10. GTK, Espoo.

" (1974b). Kenttätutkimukset Koitelaisen alueella kesällä 1974. Rap. M 19/3741/74/2/10. GTK, Espoo.

" (1976a). Komatiites and komatiite provinces in Finland. Geologi 28 (4 - 5), 49 - 56.

" (1976b). Koitelaisen malmitutkimukset 1975. Rap. M 19/3741/-76/1/10. 45 s. GTK, Espoo.

" (1976c). Kaitaselän vermikuliittiaihe ja Lapin vermikuliittipotentiaali. Rap. M 19/3741/-76/2/10. GTK, Espoo.

" (1976d). Koitelaisen magnetiittirikasteiden tutkimus (R304 - 307). Rap. M 19/3741/-76/3/10. GTK, Espoo.

" (1977a). Koitelaisen Pt-Pd-pitoinen kromiittikerros. Rap. M 19/3741/-77/1/10. GTK, Espoo.

" (1977b). Koitelaisen tunturialueen N-osan malmitutkimukset. Rap. M 19/3741/-77/2/10. GTK, Espoo.

" (1977c). Koitelaisen platinatutkimukset Lakijängän alueella v. 1976. Rap. M 19/3741/-77/3/10. GTK, Espoo.

Mutanen, T. (1979a). Vanadiini- ja kromi-platinamalmitutkimukset Koitelaisen-vosien alueella Sodankylässä vuosina 1973 - 1978. Rap. M 19/3741/-79/1/10. 130 s. GTK, Espoo.

" (1979b). Sodankylän Koitelaisenvosien kromi-platinamalmiin liittyvien anortosiittien käyttömahdollisuudet. Rap. M 19/3641/-79/3/10. GTK, Espoo.

" (1979c). Sodankylän valtausalueilla Bonanza 1, kaiv. rek. n:o 2513, Kaitaselkä 1 - 6 ja 8 - 9, kaiv. rek. n:o 2553 ja Karinkiselkä 1 - 2, kaiv. rek. n:o 2555 suoritetut malmitutkimukset. Rap. M 06/3741/-79/1. GTK, Espoo.

" (1980). Selostus Sodankylän kunnassa valtausalueilla Kustruotoma 2, 4, 6 ja 8, kaiv. rek. n:o 2472 suoritetuista malmitutkimuksista. Rap. M 06/3741/-80. GTK, Espoo.

" (1981). A new type of platinum-bearing chromite ore in the Koitelainen mafic layered intrusion, northern Finland. (Abs.). 3rd Internat. Platinum Symposium, Pretoria, South Africa. Abstracts of papers, 28 - 29.

" (1982a). Tutkimustyöselostus Sodankylän kunnassa valtausalueilla Ala-Liesi 1 ja Ala-Liesi 2, kaiv. rek. n:o 2681 suoritetuista tutkimuksista. Rap. M 06/3714/-82/1/10. GTK, Espoo.

" (1982b). Tutkimustyöselostus Sodankylän kunnassa valtausalueella Tussarinlammit 1, kaiv. rek. n:o 2832 suoritetuista malmitutkimuksista. Rap. M 06/3732/-82/1/10.

" (1983). Tutkimustyöselostus Sodankylän kunnassa valtausalueilla Koitelaisenvosa 1 - 9, kaiv. rek. n:o 2741 suoriteuista malmitutkimuksista. Rap. M 06/3741/-83/1a/10.

" (1984). GTK:n Koitelaisen malmitutkimusten tutkimusvaiheet, kustannukset ja tulokset vuosina 1969 - 1983. Muistio, GTK, Rovaniemi.

" (1986a). Tutkimustyöselostus Sodankylän kunnassa valtaus-alueella Porkkausoja 1 - 3, kaiv. rek. n:o 3148 suoritetuista tutkimuksista. Rap. M 06/3741/-86/1/10.

" (1986b). Koitelaisen PGE-tutkimukset: nykytilanne ja lisätutkimustarve. Muistio, GTK, Rovaniemi.

" (1987). Tutkimustyöselostus Sodankylän kunnassa valtausalueilla Vaiskonselkä 1 ja Louejoki 1, kaiv. rek. n:o 2949 suoritetuista malmitutkimuksista. Rap. M 06/3714/-87/1/10. GTK, Espoo.

" (1988a). Kupariaiheen tutkimukset Utsamokoskella Sodankylän kunnassa vuosina 1973 ja 1981 - 1982. Rap. M 19/3723/-88/1/10. GTK, Espoo.

" (1988b). Tutkimustyöselostus Sodankylän kunnassa valtausalueilla Kustruotomanaapa 1 ja Viuvalo-oja 1, kaiv. rek. n:o 3473 suoritetuista malmitutkimuksista. Rap. M 06/3741/-88/1/10.

" (1988c). Tutkimustyöselostus Sodankylän kunnassa valtausalueilla Keivitsa 1 - 2, kaiv. rek. n:o 3694/1-2 ja Keivitsa 5 - 8, kaiv. rek. n:o 3694/5-8 suoritetuista malmitutkimuksista. Rap. M 06/3714/-88/1/10.

" (1988d). The Koitelainen layered intrusion and associated chromite deposits, northern Finland. IUGS - UNESCO Symposium on Mineral Deposit Modelling, Manila, Dec. 5 - 14, 1985. Extended abstract. Jätetty julkaistavaksi 1985.

" , Törnroos, R. & Johanson, B. (1987). The significance of cumulus chlorapatite and high-temperature dashkesanite to the genesis of PGE mineralizations in the Koitelainen and Keivitsa-Satovaara complexes, northern Finland (abs.). Geo-Platinum 87 Symposium, Open University, Milton Keynes, U.K., April 23 - 24, 1987.

" , Törnroos, R. & Johanson, B. (1988). The significance of cumulus clorapatite and high-temperature dashkesanite to the genesis of PGE mineralization in the Koitelainen and Keivitsa-Satovaara complexes, northern Finland. In: Prichard, H. M., Potts, P. J., Bowles, J. F. W. & Cribb, S. J. (eds.): Geo-Platinum 87, 159 - 160. Elsevier Applied Science, London and New York. 422 p.

Neitiniemi-Upola, L. (1984). Koitelaisen kerrosintruusion yläkromi-tiitin rajaaminen geofysikaalisin menetelmin. Pro gradu -tutkielma, Oulun yliopisto, geofysiikan laitos. 70 s.

Nenonen, E. (1970). Selostus malminetsintätöistä Sodankylän Peurasuvannon - Koitelaisen alueella vuodelta 1969. Rap. M 19/3723/-70/1. GTK, Espoo.

" (1975). Selostus malminetsintätöistä Sodankylän Kuusilomavaarassa ja Ruosselässä vuosilta 1969 - 1972. Rap. M 19/3723/-75/1/10. GTK, Espoo.

Peltonen, P. T. (1986). Peurasuvannon vulkaaninen konglomeraatti Keski-Lapin liuskealueella. Pro gradu -tutkielma, Turun yliopisto, geologian ja mineralogian laitos. 128 s.

" , Manninen, T. & Pihlaja, P. (1988). The late Archaean volcano-clastic Rookkiaapa Formation in Peurasuvanto, northern Finland. In: Laajoki, K. & Paakkola, J. (eds.): Sedimentology of the Precambrian formations in eastern and northern Finland. Proc IGCP 160 Symposium, Oulu. January 21 - 22, 1988, 165 - 176. Geological Survey of Finland, Spec. Paper 5.

" , Pihlaja, P. & Manninen, T. (1986). Vulkaaninen konglomeraatti Peurasuvannossa, Keski-Lapissa (tiivistelmä). Julkaisussa: Laajoki, K., Paakkola, J. & Gehör, S. (toim.): Suomen kallioperän sedimentologia. Res. Terrae, ser. B, 9, s. 24.

Penttilä, S. (1961). Esimerkki murrosten kartoituksesta ilmakuvien avulla. Geologi 13 (3 - 4), 28 - 31.

Pihlaja, P. & Manninen, T. (1988). The metavolcanic rocks of the Peurasuvanto area, northern Finland. In: Marttila, E. (ed.): Archaean geology of the Fennoscandian Shield. Proc. Finnish-Soviet Symposium in Finland, July 28 - Aug. 7, 1986. Geol. Surv. Finland, Spec. Pap. 4, 201 - 213.

Pulkkinen, E. & Rossi, S. (1984). Discovery of the Maaselkä copper-cobalt showing in Finnish Lapland. Prospecting in areas of glaciated terrain 1984, 121 - 125. Inst. Mining and Metallurgy, London. 232 p.

Puustinen, K. (1976). Selostus Rookkiaavan geokemiallisesta malmiviitteestä. Rap. M 19/3723/-76/1/10. GTK, Espoo.

" (1977). Exploration in the region to the northwest of the Koitelainen gabbro complex, Sodankylä, Finnish Lapland. Prospecting in areas of glaciated terrain 1977, 6 - 13. Inst. Mining and Metallurgy, London.

Rossi, S. (1983). Tutkimustyöselostus Sodankylän kunnassa valtaus-alueilla Maaselkä 1 - 3, kaiv. rek. n:o 2791 suoritetuista malmitutkimuksista. Rap. M 06/3741/-83/1/10. GTK, Espoo.

Stigzelius, H. (1975). Ylä-Liesijoen magneettinen häiriö Sodankylän kunnassa. Rap. M 19/3723/-75/2. GTK, Espoo.

" (1977). Recognition of mineralized areas by a regional geochemical survey of the till-blanket in northern Finland. J. Geochem. Explor. 8, 473 - 481.

Tanskanen, H. (1976). Rookkijärvi: the nickel/copper ratio in peat in a gabbro-peridotitic area. J. Geochem. Explor. 5, 309 - 310.

Tarkian, M. & Mutanen, T. (1987). Loveringite from the Koitelainen layered intrusion, northern Finland. Mineralogy and Petrology 37, 37 - 50.

Turunen, P. (1979). Selostus geofysikaalisista tutkimuksista Sodankylän Koitelaisenvosien alueella. Rap. M 19/3741/-79/2/20. GTK, Espoo.

Tyrväinen, A. (1980). Suomen geologinen kartta 1 : 100 000, lehti 3714, Sattanen. GTK, Espoo.

" (1983). Sodankylän ja Sattasen kartta-alueiden kallioperä. Kallioperäkarttojen selitykset, lehdet 3713 ja 3714. GTK, Espoo.

LIITTEET

1. Koitelaisen alueen kivilajikartta
2. Kairausten ja kaivantojen sijainti, kartta 1 : 50 000, M52.4/3714, 3723, 3732, 3741/-89/1
3. Geokemialliset mittaukset, kartta 1 : 50 000, M 35.1/3714, 3723, 3732, 3741/-89/1
4. Geofysikaaliset mittaukset, kartta 1 : 100 000, M 20.1/3714, 3723, 3732, 3741/-89/1
5. Luettelo syväkairausrei'istä.

Liittyy (säilytetään GTK:n arkistossa)

Päiväkirjat: T. Mutanen 1973 - 75, 1978 - 88

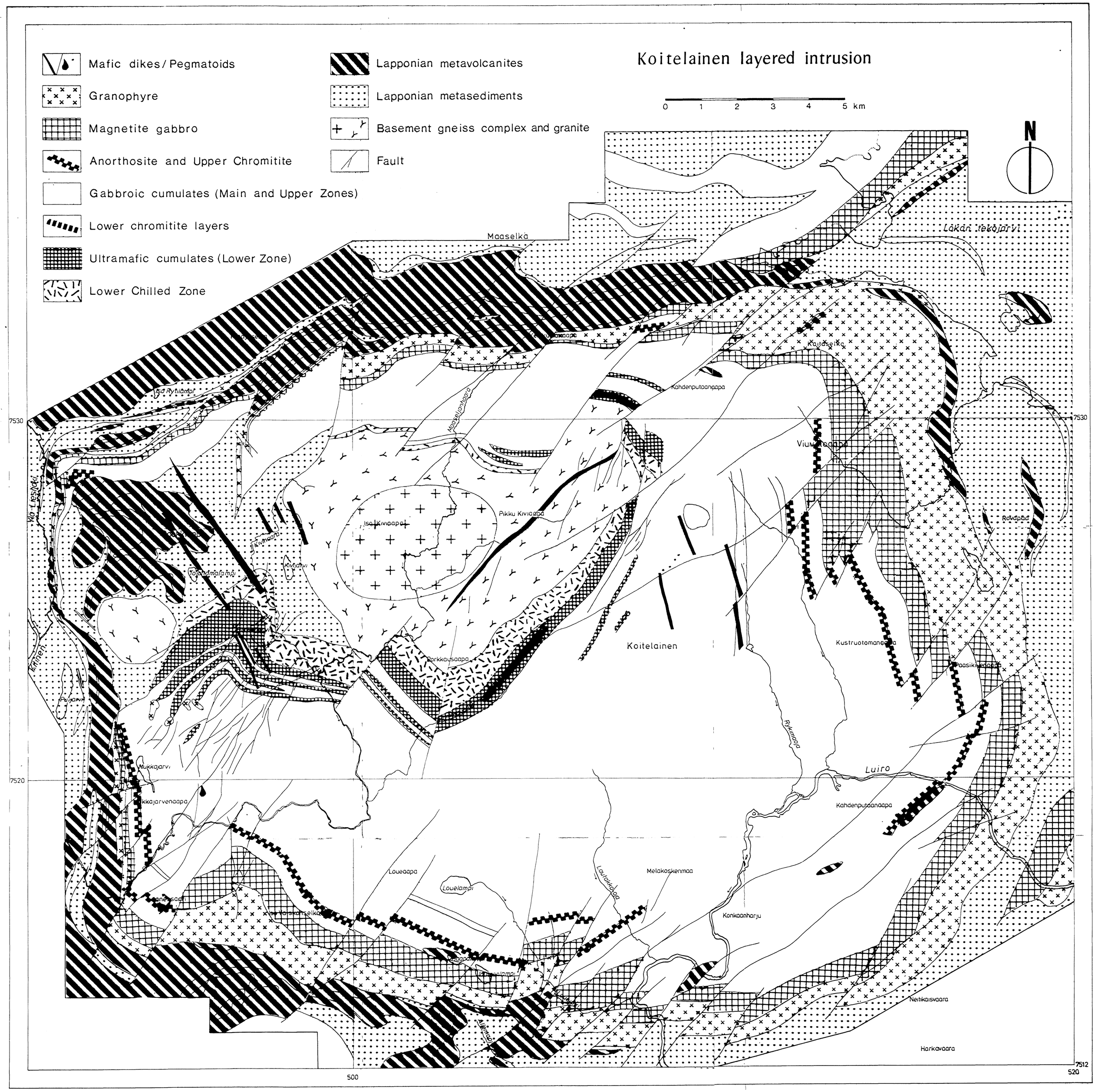
Havaintolomakkeet: T. Mutanen 1973 - 1988

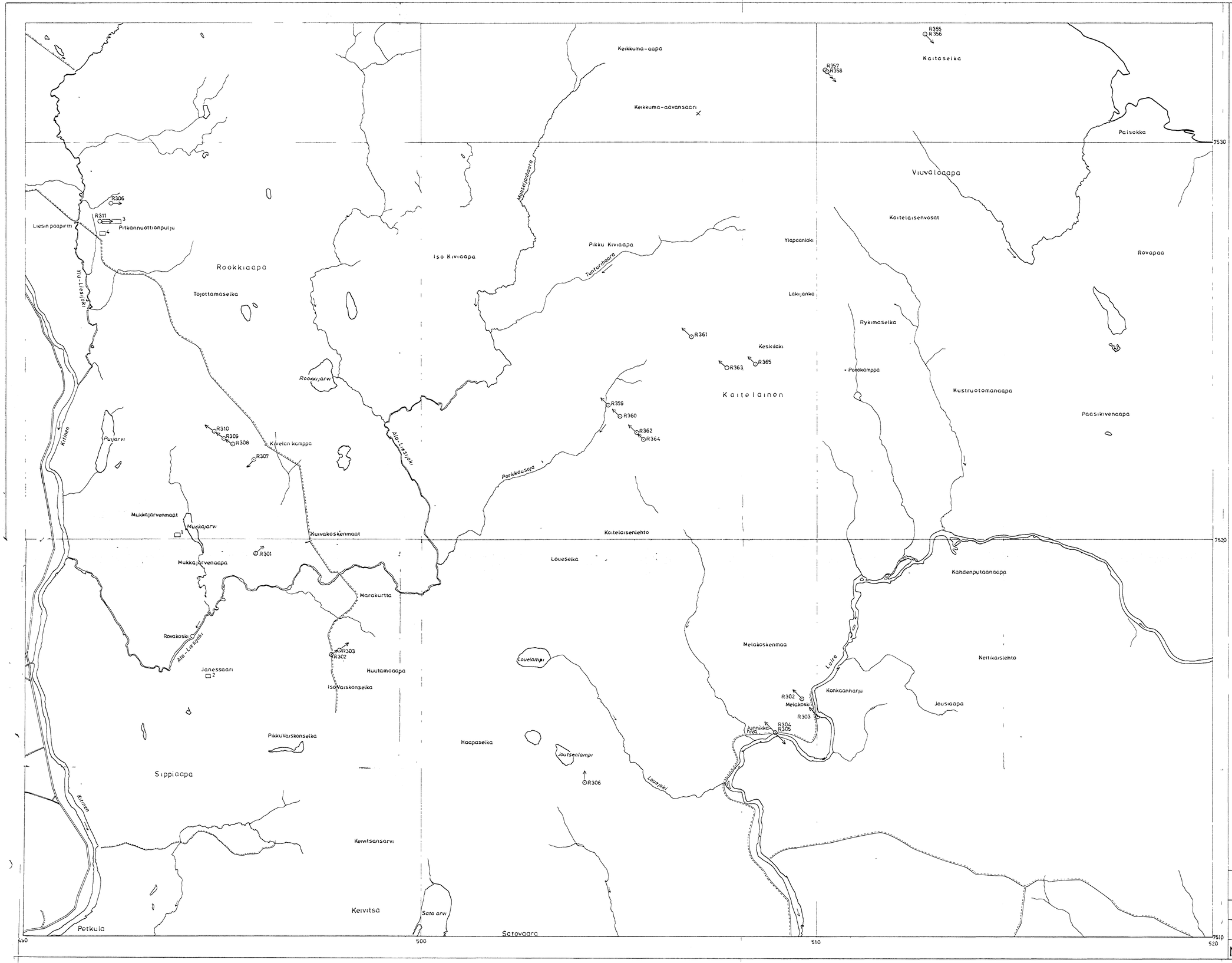
Geofysikaaliset maastomittauskartat, luettelo

Syväkairausraportit: M 52.5/3714/-81/R302, M 52.5/3714/-82/R303
M 52.5/3723/-81/R306 - R311
M 52.5/3732/-81/R302 - R305, M 52.5/3732/-82/R306
M 52.5/3741/-82/R359 - R365

Syväkairausanalyysit: M 52.6/3714/-81/R302, M 52.6/3714/-82/R303
M 52.6/3723/-81/R308 - R311
M 52.6/3732/-81/R303 - R305, M 52.6/3732/-82/R306
M 52.6/3741/-81/R318 - R319, R329
M 52.6/3741/-81/R359 - R360
M 52.6/3741/-82/R362 - R363, R365

Syväkairausprofiilit: M 52.7/3714/-81, -82/R302, R303
M 52.7/3723/-81/R306 - M 52.7/3723/-81/R310,
M 52.7/3723/-82/R311
M 52.7/3732/-81/R302, M 52.7/3732/-81/R303,
M 52.7/3732/-81/R304, R305
M 52.7/3732/-82/R306
M 52.7/3741/-81/R359, M 52.7/3741/-81/R360
M 52.7/3741/-82/R361, M 52.7/3741/-82/R362,
R364, M 52.7/3741/-82/R363, M 52.7/3741/-82/R365


Koitelainen layered intrusion
Mafic dikes / Pegmatoids
Granophyre
Magnetite gabbro
Anorthosite and Upper Chromitite
Gabbroic cumulates (Main and Upper Zones)
Lower chromitite layers
Ultramafic cumulates (Lower Zone)
Lower Chilled Zone
Lapponian metavolcanites
Lapponian metasediments
Basement gneiss complex and granite
Fault
0 1 2 3 4 5 km
N
Maaselkä
Lökan tekojärvi
Kautaselkä
Kahdenputaangaapa
Maaseljanharju
Viuvaaapa
Pikku Kiviaapa
Isä Kiviaapa
Kivimaara
Kivijärvi
Rovapää
Koitelainen
Kustruotomanaapa
Paasikivenaapa
Porkkausaapa
Rykimaaja
Luiro
Kahdenputaanaapa
Mukkajärvi
Mukkajärvenaapa
Loueaapa
Louelampi
Laulakkaaja
Melakoskenmaa
Konkaanharju
Neitikaisvaara
Harkavaara
Alemaa
7530
7520
500
7512
520



KOITELAINEN

SYVÄKAIRAIRAUSKOHTEET JA TUTKIMUS-KAIVANNOT , 1979-1982

1:50 000

R355 Syväkairausreikä ja numero

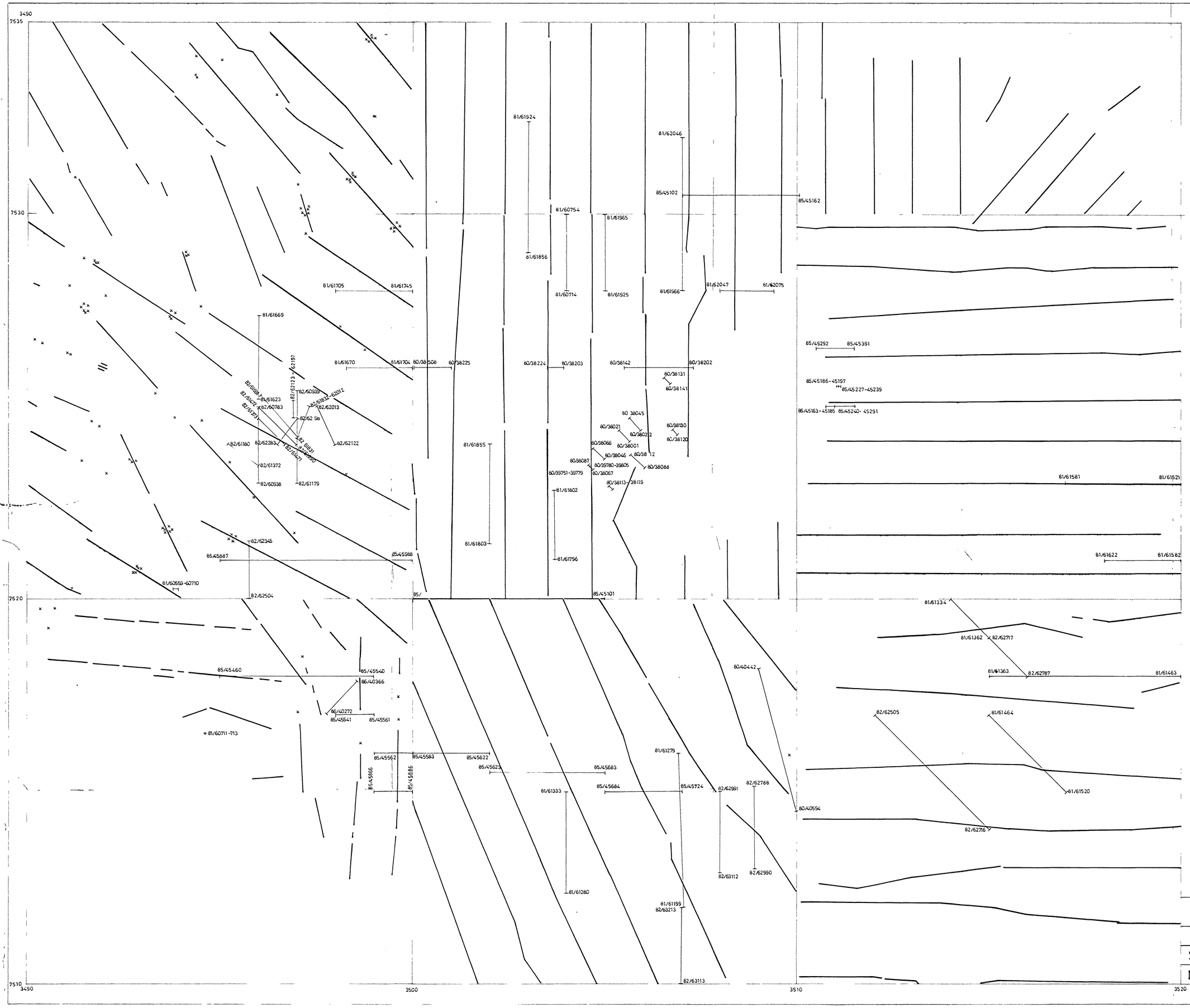
4 3 Koekaivanto ja numero

M52.4/3714,3723,3732,3741/-89/1

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

MALMIOSASTO	1:50000	
Koitelainen	TM/RK/-89	
M52 Kairausreikien sijaintikartta	3723 3741 3714 3732	

Liite 3



KOITELAINEN

1:50000

MOREENIGEOKEMIALLINEN NÄYTTEENOTTO 1980-1985

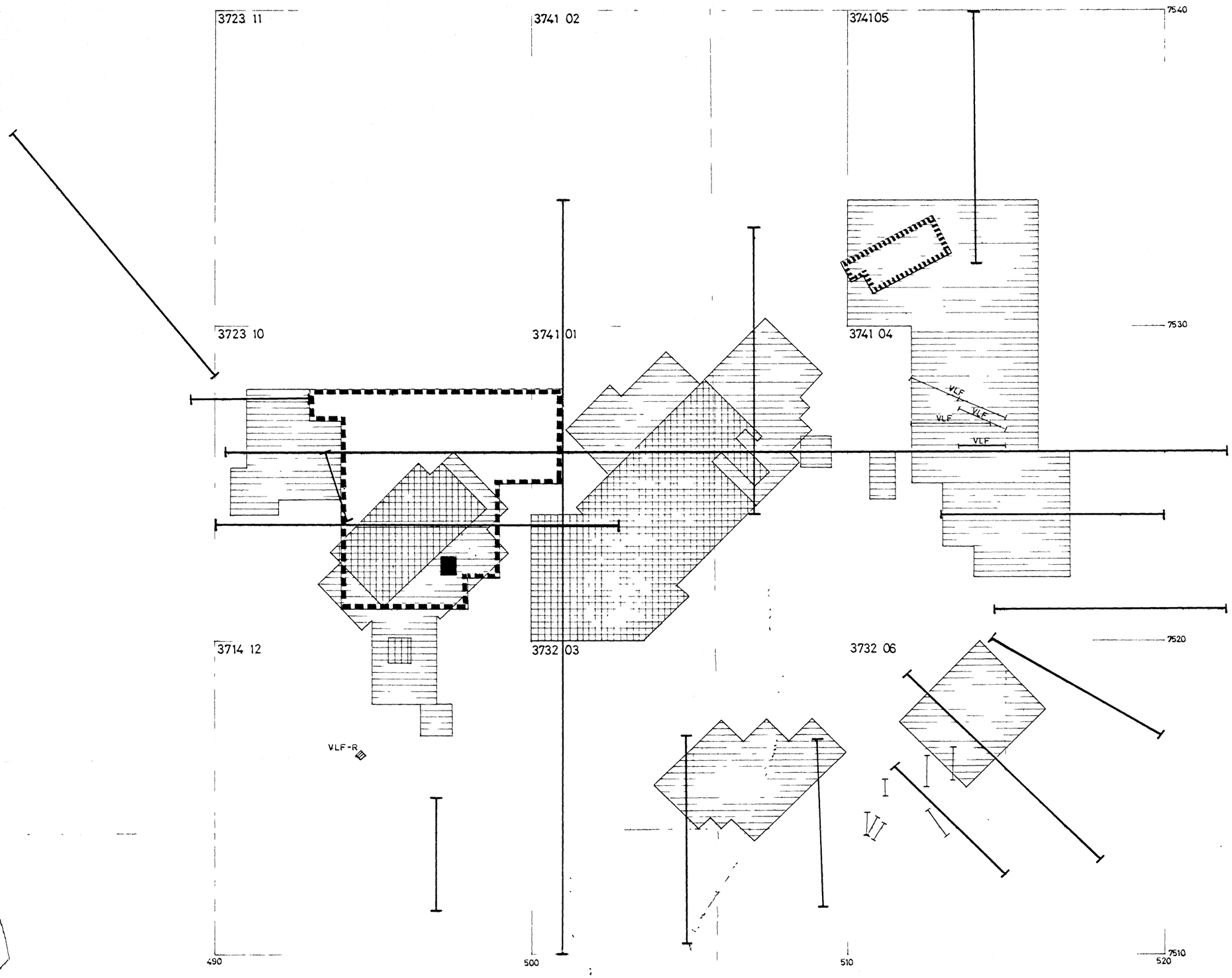
Malmiosaston näytteenottolinja

Geokemian osaston näytteenottolinja ja -piste

M 35.1/3714,3723,3732,3741 /-89 / 1

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

MALMIOSASTO	1:50000	
Sdk. Koitelainen	TM / RK / -89	
M 35 Näytteenottokartta	3714 3723 3732 3741	



KOITELAINEN

GEOFYSIKAALISET MITTAUKSET 1969-1985

1:100 000

SÄHKÖMAGNEETTINEN + MAGNEETTINEN

GRAVIMETRINEN

—"— PROFIILI

SÄHKÖMAG. + MAGN. PROFIILI

VLF-PROFIILI

IP.

TURAM

SÄHKÖMAGNEETTINEN + MAGNEETTINEN
SUOMEN MALMI OY, 1969

M20.1/3714,3723,3732,3741/-89/1

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

MALMIOSASTO	1:100000	
Sdk. Koitelainen	TM/RK/89	
M 20 Geofysikaal. mittaukset	3714 3723 3732 3741	

LUETTELO SYVÄKAIRAUSREI'ISTÄ VUOSILTA 1980 - 1982

SODANKYLÄ, KOITELAINEN

Reikä	x	y	suunta	lähtö-kalt.	loppu-syvyys, m
3714/301	7519.650	495.800	45°	70.0°	171.85
/302	7517.098	497.7093	51°	70.8°	284.90
/303	7517.210	497.9086	51°	69.8°	111.70
3723/306	7528.470	492.140	90°	47.8°	179.60
/307	7522.000	495.755	225°	68.6°	130.50
/308	7522.390	495.210	306°	69.1°	223.95
/309	7522.540	495.000	306°	69.5°	359.60
/310	7522.720	494.755	306°	46.7°	368.50
/311	7528.000	491.870	90°	44.3°	163.30
3732/302	7516.000	509.600	315°	73.0°	204.40
/303	7515.580	510.030	315°	70.2°	147.75
/304	7515.130	508.925	315°	69.9°	333.90
/305	7515.130	508.925	135°	70.0°	32.15
/306	7513.899	504.118	0°	70.1°	293.75
3741/355	7532.740	512.760	135°	70.0°	21.00
/356	7532.740	512.760	135°	80.0°	28.30
/357	7531.800	510.200	135°	45.8°	55.50
/358	7531.750	510.250	135°	69.4°	249.30
/359	7523.370	504.720	315°	69.5°	148.45
/360	7523.0872	505.0028	315°	68.0°	175.45
/361	7525.200	506.800	315°	72.3°	275.55
/362	7522.663	505.434	315°	68.8°	339.10
/363	7524.300	507.700	315°	71.0°	504.85
/364	7522.500	505.590	315°	70.0°	95.00
/365	7524.380	508.4324	315°	69.5°	281.20
				Yht.	5 179.55