

GEOLOGINEN TUTKIMUSLAITOS
GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND

TUTKIMUSRAPORTTI N:o 23
REPORT OF INVESTIGATION No. 23

H. Papunen, H. Idman, E. Ilvonen,
K.J. Neuvonen, P. Pihlaja ja J. Talvitie

Lapin ultramafiiteista

Summary: The ultramafics of Lapland



Espoo 1977

GEOLOGINEN TUTKIMUSLAITOS

Tutkimusraportti n:o 23

H. Papunen, H. Idman, E. Ilvonen, K.J. Neuvonen

P. Pihlaja ja J. Talvitie

LAPIN ULTRAMAFIITEISTA

Summary: The ultramafics of Lapland

Espoo 1977

Kauppa- ja teollisuusministeriö
Pohjois-Suomen malmigeologinen toimikunta
Projekti 11

Papunen, H., Idman, H., Ilvonen, E., Neuvonen, K.J., Pihlaja, P. & Talvitie, J. 1977. Lapin ultramafiiteista. Summary: The ultramafics of Lapland. *Geologinen tutkimuslaitos, Tutkimusraportti N:o 23*. 87 pages, 32 figures and 9 tables.

During 1974 – 1976 an investigation of the ultrabasic rocks of Lapland was performed by the Institute of Geology and Mineralogy, University of Turku, in cooperation with Outokumpu Oy and the Geochemical Department of the Geological Survey in Finland. The research was supported by the Ministry of Trade and Industry. A total of about 3500 samples was collected from the mapped 171 ultrabasic or basic bodies in different parts of Lapland. They were classified on the basis of geological field data as well as on petrological and geochemical criteria. The comprehensive analytical and field data is presented in a separate data report, which is stored in the Geological Survey of Finland. Some of the investigated ultrabasics probably belong to the tholeiitic, and some to the komatiitic rock series, and the characteristics are presented in this report. Paleomagnetic measurements were tested for classification in 9 different types of ultrabasic bodies. On the basis of the sampling and analysis of till, the geochemistry and heavy-mineral composition of the till cover above a hidden ultramafic body can be concluded to (reflect) the characteristic features of the ultramafic rock type. The opaque minerals were mainly oxides, chromite and magnetite; nickel sulfides, pentlandite, millerite and heazlewoodite were also common. Some bodies, especially those containing magnesite, were characterized by accessory nickel arsenides. Two areas were recommended for future prospecting operations.

ISBN 951-690-064-x

SISÄLLYSLUETTELO

	sivu
Johdanto	5
Projektin perustaminen	5
Toteutus	5
Dokumentointi	6
Geologiset tulokset	8
Ultramafiittien jakautuminen ja luokittelu	8
Alueellinen esiintyminen	8
Kartoituskohteiden luokittelu	12
Differentioituneet intruusioidet ja juonimaiset pyrokseeniitit	14
Ultramafiitit vulkaniittiympäristössä	16
Ultramafiitit amfiboliittien yhteydessä	22
Ultramafiitit ruhjevöhykkeissä	24
– Vätsärin tienoon deformaatiokuva (Jouko Talvitie)	24
Ultramafisten kivien asema	26
Ultramafiitit sedimenttisyntyisten liuskeiden yhteydessä	27
Duniittipahkut	27
Spinellit	27
Petrologia ja silikaattimineralogia	28
Petrologinen luokittelu (Pekka Pihlaja)	28
Kivilajeista	31
Tutkimuskohteiden petrologinen luokittelu	32
Kivilajityyppien alueellinen jakautuminen	40
Kivilajien esiintyminen eri intruusiotyypeissä	40
Mineraalien koostumuksen vaihteluista	41
Geokemia	46
Ultramafiittien luonteenomaiset geokemialliset piirteet	46
Malmimineraaleista (Hannu Idman ja Heikki Papunen)	54
Geologinen yhteenveto	58
Magneettisista ominaisuuksista (K.J. Neuvonen)	59
Menetelmät ja mittaukset	59
Mittaustulokset ja niiden tulkinta	59
Remanentin magneettisuuden suuntaus	61
Magneettinen anisotropia	63
Yhteenveto	63
Moreenin geokemialliset tutkimukset (Erkki Ilvonen)	64
Näytteenotto raskaalla paineilmaporaukuskalustolla	64
Geokemiallisen kartoituksen sovellus	67
Moreenin mineralogiset tutkimukset	71
Mineralisaatiot ja niiden tutkimukset	76
Yleistä	76
Tölkkoainien Kaamajoen tutkimus	76
Iso-Siettelöjoki	78
Ultramafiitit potentiaalisina malminetsintäkohteina	81
Teollisuusmineraalit	81
Malmimineralisaatiot	81
Summary: The ultramafics of Lapland	83
Kirjallisuutta – References	86

JOHDANTO

Projektin perustaminen

Pohjois-Suomen malmigeologisen toimikunnan aloitteesta tehtiin vuoden 1973 lopulla Turun yliopiston geologian ja minerologian laitoksessa suunnitelma Lapissa esiintyvien ultramafisten ja mafisten kivilajien malmikriittisyyttä käsittelevästä tutkimuksesta. Koska nikkelimalmien esiintymismahdollisuus näissä kivilajeissa muodosti keskeisen tutkimuskohteen ja koska perustietoa tässä suhteessa mm. Outokumpu Oy:n toimeenpaneman nikkeliohjelman tuloksena oli jo olemassa, nimitettiin tutkimussuunnitelma »Lapin nikkeliprojektiksi» ja sen toteuttamiseen anottiin ja saatiin määräraha Kauppa- ja teollisuusministeriöltä.

Selviteltäessä projektisuunnitelman mukaisesti ultramafisten kivien malmikriittisyyttä pyrittiin intruusioiden ensin luokittelemaan erilaisilla perusteilla ja sen jälkeen tutkimaan eri ryhmissä malmin esiintymismahdollisuutta ilmaisevia tekijöitä. Jo suunnitelluvaiheessa asetettiin keskeiselle sijalle seuraavien kysymysten selvittely:

1. Nikkelin suhteen anomalian rikkaiksi todettujen ja alhaisen nikkelipitoisuuden omaavien intruusioiden geokemialliset ja petrologiset eroavaisuudet.
2. Intruusiotyypin differentioituminen ja nikkelin jakautuminen eri differentiaattien kesken.
3. Mahdollisen differentioitumisen ja eri kivilajidifferentiaattien sijainnin suhde nykyiseen maanpintaleikkaukseen.
4. Intruusion esiintymistä kontrolloivat tekijät.
5. Nikkelianomalian intruusion suhde sivukiviinsä, mahdollisen sulfurisation vaikutus.
6. Intruusioiden luokittelu paleomagneettisin keinoin.
7. Ultramafiitista lähteneen moreeniaineksen kemiallinen koostumus ultramafiitin koostumuksen indikaattorina.
8. Sulfidifaasin ja oksidifaasin koostumusvaihteluja kontrolloivat tekijät.

Toteutus

Tutkimukseen osallistuivat Outokumpu Oy:n malminetsintä sekä Geologisen tutkimuslaitoksen geokemian osasto, jotka avustivat kemiallisten analyysien tekemisessä ja tulosten automaattisessa käsittelyssä. Varsinainen projektin koordinointi, tutkimustyö ja suuri osa laboratoriomäärityksistä on tehty Turun yliopiston geologian ja minerologian laitoksessa.

Projektin palkkaamina ovat toimintaan osallistuneet seuraavat henkilöt:

Päägeologina, FL, E. Ilvonen 1.3.74 – 31.12.76 (virkavapaana 1.6. – 15.9.1976)

Tutkijana, FK, P. Pihlaja 1.6.1974 – 31.12.1976

Tutkijana, FK, H. Pankka 20.5.75 – 23.10.1976 (osan ajasta puolipäivätoimisena)

Kartoittajana LuK T. Heino 20.5.74 – 30.9.1974 ja 1.5. – 31.12.1975 (osan ajasta laboratorioavustajana)

Kartoittajana LuK H. Idman 8.5. – 31.12.1975 ja 1.5. – 31.9.1976

Laboratorioapulaisena Hilikka Mäkitalo 1.5. – 31.12.1976

Kenttäapulaisena M. Takalo 10.6. – 20.12.1974, 26.5. – 10.10.1975 sekä 15.6. – 4.9.1976

Kenttäapulaisena yo T. Julku 20.5. – 30.9.1974 ja 16.5. – 30.9.1975

Kenttäapulaisena yo P. Sipilä 20.5. – 20.9.1974 sekä 23.5. – 30.9.1975.

Lisäksi tilapäisissä tehtävissä LuK Heikki Lukkarinen (paleomageettiset laboratoriomääritykset), LuK Jorma Liira (moreenitutkimus), yo Satu Tenho (moreenitutkimus), LuK P. Hakanen (piirtäjä), LuK Varpu Välimäki (piirtäjä), P. Mukku (kairausapulainen), K. Mikkola (apumies), V. Kettunen (apumies), Riitta Koponen (reikäkorttilävistäjä), Liisa Riihelä (kartanpiirtäjä), Riitta Virtanen (kartanpiirtäjä), yo Tuula Saastamoinen (laboratoriomääritykset).

Projektin johtajana on toiminut apul.prof. Heikki Papunen ja hänen ulkomaanmatkansa aikana 15.2. – 30.6.1974 sijaisena prof. K.J. Neuvonen.

Asiantuntijoina on ollut prof. K.J. Neuvonen paleomagneettisessa tutkimuksessa ja dos. Jouko Talvitie kaukokartoitusmateriaalin selvitystyössä.

Erityisen merkittäväksi projektin toteutumisen kannalta muodostui yhteistoiminta tri T.A. Häklin (Outokumpu Oy:n malminetsintä) maist. Osmo Inkisen (Outokumpu Oy:n malminetsinnän Lapin toimisto) sekä maist. Nils Gustavssonin kanssa (Geologisen tutkimuslaitoksen geokemian osasto).

Pääpaino tutkimuksen toteutuksessa pantiin kenttätöille ja sen laajalle ja tarkoituksenmukaiselle toteutukselle. Koko projektin n. 160 työkuukaudesta puolet, eli 80 työkuukautta kuluikin kenttätöissä. Arviolta n. 40 työkuukautta kului tulosten arkistointiin, puhtaaksi piirtämiseen ja raportointiin sekä loput, n. 40 työkuukautta laboratoriomäärityksiin.

Dokumentointi

Kenttätökohteista on piirretty geologiset havaintokartat 1:20000 peruskartan pohjalle, johon on merkitty myös tektoniset havainnot ja näytteiden ottopaikat. Kartotuskohde on ollut joko yksityinen ultramafinen intruusio tai lähekkäin toisiaan oleva intruusior ryhmä. Kohteet on numeroitu 1 – 171, ja jokaisella kohteella on myös nimi jonkin läheisen paikan mukaisesti. Karttamerkinnoissa on noudatettu Outokumpu Oy:n malminetsinnän käytäntöä.

Kenttähavainnot on viety GEOKU-systeemin mukaisesti havaintolomakkeille ja siirretty niiltä ATK:n avulla listauksiksi, jotka ovat projektin dokumenttikokoelman liitteinä ryhmiteltyinä kohteittain (Papunen, 1977). Ko. reikäkortteja ja havaintolomakkeita säilytetään Turun yliopistossa ja datamateriaali magneettinauhana sekä Geologisessa tutkimuslaitoksessa että Outokumpu Oy:ssä.

Kaikki analyysit lukuunottamatta platinamäärityksiä ja kokokivianalyysejä ovat reikäkor-teilla ja magneettinauhoilla dokumenttikokoelmassa (Papunen, 1977) esitetyn systeemin mukaisesti. Analysoiduista näytteistä on taltioituna peruskartan koordinaatit, näyttenumerot, kartoituskohteen tunnus, tiheys- ja magneettinen susceptibiliteetti. Tehtyjen laboratoriomääritysten takia on tietojen taltioinnissa soveltuvin osin käytetty Outokumpu Oy:n noudattamaa systeemiä. Ohut- ja pintahiehavainnoista on omat tiedostonsa. Koko analyysidatamateriaali on tulostettu listauksina kohteittain ja liitetty dokumenttikokoelmaan. Listauksissa on laskettu myös eräitä kohdekohtaisia tunnuslukuja, joiden perusteella kohteita voidaan verrata keskenään: keskiarvoja, keskihajontoja sekä maksimi- ja minimiarvoja.

Outokumpu Oy:n malminetsintäosaston tekemät analyysit ja muu määritysmateriaali muodostaa tämän projektin aineistosta varsin merkittävän osan. Kerätyistä kivi-näytteistä pääosa (n. 2500 kpl) analysoitiin liuottamalla sulfidiosa bromimetanolimenetelmällä ja määrittämällä liuksesta AAS:llä Cu, Ni, Zn, Co ja Pb sekä rikki Leco DB-64

automaattisella titraattorilla. Erityisesti rikkimääritysten suhteen on todettava, että määrittelyn käytännöllinen alaraja on 0,02 % S ja 0,02 – 0,04 % välillä osassa tuloksista on systemaattista virhettä niin, että annetut määrät ovat keskimäärin 25 % liian pienet. Noin 0,06 % alkaen systemaattista virhettä ei määrittelyssä esiinny. Kaikista analysoiduista näytteistä tehtiin myös tiheys- ja susceptibiliteettimittaukset SATMAGAN-laitteella. 1831 näytteestä valmistettiin kiilloitetut ohuthieet sekä 20 näytteestä ohuthieet, jotka tutkittiin sekä läpikulkevassa että heijastuvassa valossa ja tehtiin petrologiset ja malmineralogiset määritykset. Pääosa kiilloitetuista ohuthieistä analysoitiin mikroanalyysointilaitteella, jolloin määritettiin tummien mineraalien sisältämät Fe ja Ni. Jokaisesta intrusiosta valittiin tyyppinäytesarja (1–5 näytettä), joista määritettiin pääkomponenttien määrät XRF:llä ja AAS:llä. Lisäksi tehtiin noin 200 PGE (platinaryhmän alkuaineet) määrittystä valituista tyyppinäytteistä. Geologisen tutkimuslaitoksen kvantometrillä määritettiin kaikista analyysinäytteistä pääkomponentit ja tärkeimmät hivenaineet. Koska kvantometrin antama tulos on vain viitteellinen, on näistä arvoista laskettu kohdekohtaiset keskiarvot ja niitä käytetty tietynlaisina koostumuksen indikaattoreina.

Kvantometritulokset on dokumenttikokoelmassa esitetty listauksina, sen sijaan tiettyjä koostumusdiagrammeja ja koostumustaulukkoja on tämän raportin geokemiaa käsittelevässä osassa.

Tämän yhteenvedon tarkoituksena on esittää koottuna yhteenvedona projektin toiminnassa saavutetut tulokset ja antaa virikkeitä niihin malminetsinnällisiin mahdollisuuksiin, joita tutkimus on tuonut mukanaan.

GEOLOGISET TULOKSET

Ultramafiittien jakautuminen ja luokittelu

Alueellinen esiintyminen

Oheiseen karttakuvaan (kuva 1) on merkitty kaikki 171 tutkittua ultramafista ja mafista intruuiota. Tiedossa on vielä noin parikymmentä kohdetta, joita ei näiden kenttäkausien puitteissa ole voitu ottaa tutkittaviksi. Osa nyt tutkituista kohteista on tullut esille jo aikaisemmissa kartoituksissa ja niistä on mainintoja karttalehtiselostuksissa taikka raporteissa. Työn kuluessa todettiin aeromagneettisten karttojen, erityisesti matalentomittauksen, antavan hyviä viitteitä uusien ultramafisten intruusioiden esiintymisestä (esimerkiksi Koilliskairan alueella). Kun ultramafiitit lisäksi aiheuttavat tyypilliset muutokset kasvustoon (mm. härkki, pikkutervakko ja tupassara), muodostavat nämä geofysikaaliset ja geobotaaniset indikaatiot yhdessä kokonaisuuden, joka suurella todennäköisyydellä osoittaa paljastumattomankin ultramafiitin.

Tämän tutkimuksen piiriin ei otettu granuliittikaarelta tiedossa olevia eräitä intermediaarisia tai mafisia kiviä, joita on verraten tarkoin tutkittu Outokumpu Oy:n nikkeliöjelman puitteissa.

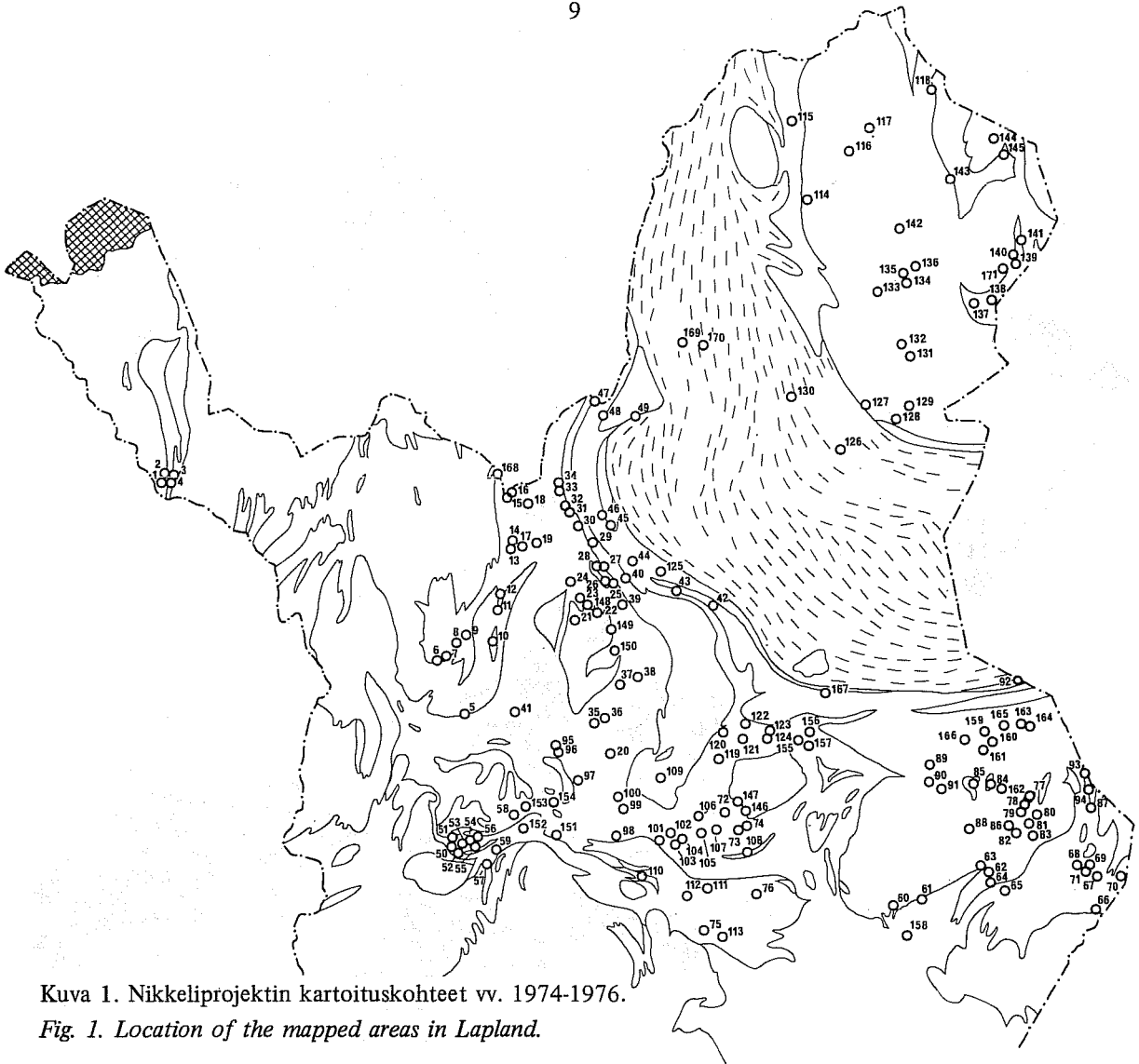
Yleensä ultramafinen kivilaji on paljastumana tai suurena paikallisena rakkana luonteenomaisine kasvustomuutoksineen. Paikoin ainoastaan muutama lohkare indikoi ultramafista kiveä.

Karttakuvasta voidaan erottaa seuraavat alueelliset ryhmittymät tai aluekokonaisuudet (kuva 2):

1. Enontekiön Tšohkkoain ympäristö
2. Länsi-Inarin liuskealue, jossa on erotettavissa kolme alaryhmittymää:
 - a) Peltotunturin alue
 - b) Repokaira-Pokka
 - c) Puljutunturin vyöhyke
3. Kittilän vihreäkivialue
4. Kittilän- Sodankylän vyöhyke, jossa on kaksi ala-alueetta:
 - a) Kittilän alue
 - b) Sodankylän alue
5. Sodankylän vihreäkivialue Koitilaisen ympäristössä, jossa siinäkin on kaksi alaryhmittymää:
 - a) Sattasvaaran-Moskuvaaran alue
 - b) Petkulan-Ruosselän alue
6. Itä-Lappi
 - a) Martin alue
 - b) Koilliskaira
7. Granuliittikaaren alue
8. Koillis-Inarin ja Utsjoen alue, jossa on kolme ala-alueetta:
 - a) Utsjoki
 - b) Inarinjärvi
 - c) Tsumnujärvi (Vätsärin alue)

Koska tälle ryhmittelylle on etsittävä tietty geologinen tausta, voidaan eri alueita luonnehtia seuraavasti:

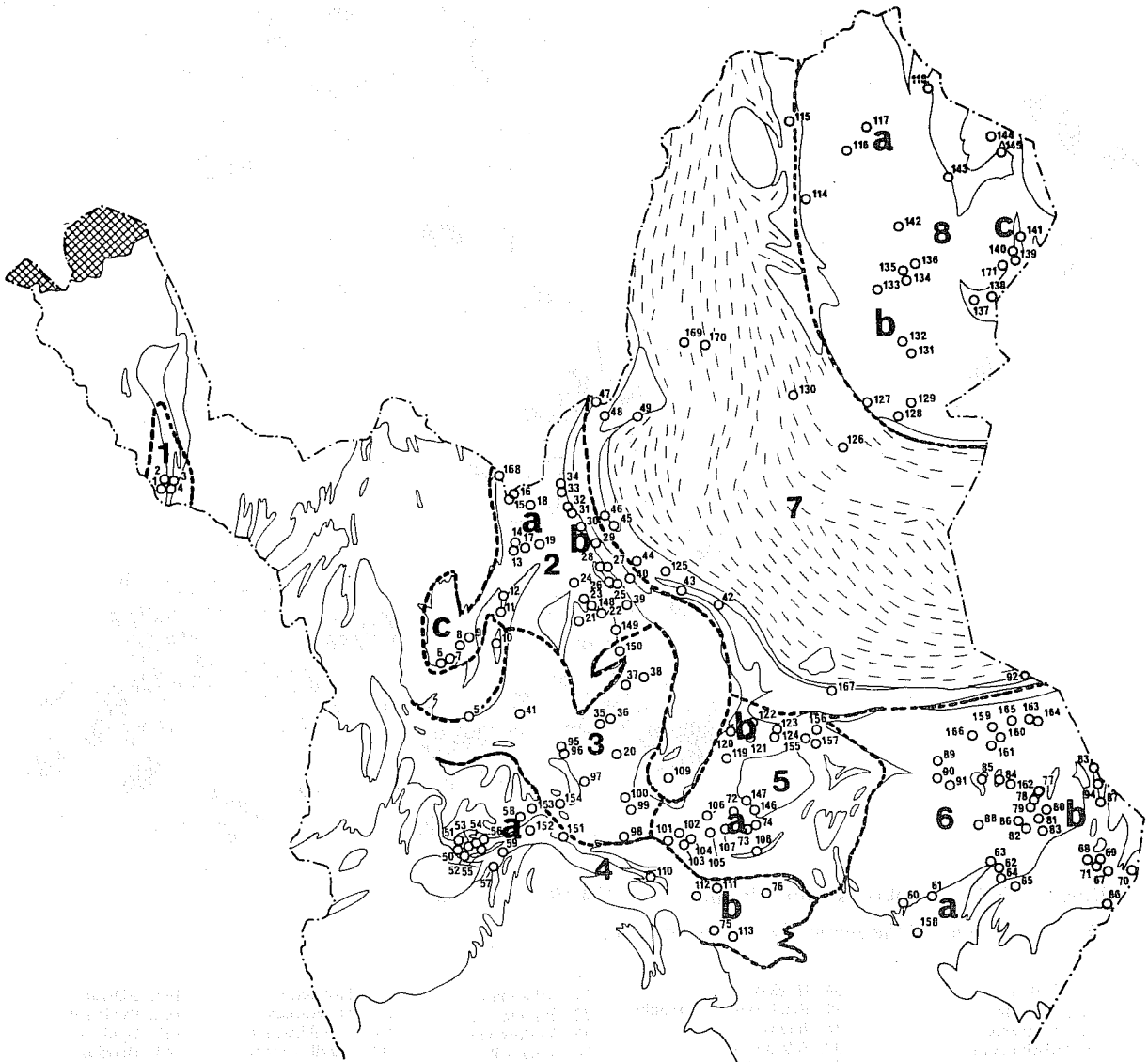
1. *Tšohkkoain* ympäristön ultramafiitit liittyvät läheisesti Markkinan-Ruossakeron-Tarjun liuskejaksoon, jossa amfiboliiteissa on tavattu vulkaanisia rakennepiirteitä: agglo-



Kuva 1. NikkeliProjektin kartoituskohteet vv. 1974-1976.

Fig. 1. Location of the mapped areas in Lapland.

- | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|
| 1. Tšohkkoavi | 36. Hukkakero | 71. Saihovaara | 106. Paskamaa | 141. Äälisjärvi |
| 2. Sarvisoavi | 37. Rajalompolo, Järvijoki | 72. Petkula | 107. Mataravaara | 142. Pavdetsohkka |
| 3. Ruossakero | 38. Järvijärvi | 73. Moskuvaara | 108. Virnikka-aapa | 143. Opukasjärvi |
| 4. Stoarbmarvari | 39. Allivuotso | 74. Souvaselkä | 109. Hirvilautanen | 144. Harrijoki |
| 5. Kehtosvaara | 40. Ivalon Matti | 75. Koskima | 110. Haaskalehto | 145. Harrisuanto |
| 6. Hotinsaajo | 41. Hanhima | 76. Kousivaara | 111. Juontoma | 146. Keivitsansarvi |
| 7. Mertavaara | 42. Vaulonlammet | 77. Tulppio | 112. Sodankylä | 147. Vaiskonpalo |
| 8. Holtinvaara | 43. Karhupalo | 78. Puntonselkä | 113. Nummelojänkä | 148. Paaraskalla |
| 9. Iso Siettelöjoki | 44. Fattijänkä | 79. Kiimavaarat | 114. Petsikko | 149. Romopalo |
| 10. Salankijärvi | 45. Sallitunturi | 80. Petäjä-Saijanvaara | 115. Jesnalvarri | 150. Pumpasenketo |
| 11. Saivojärvi | 46. Lemmekäsjärvi | 81. Vuonnelo-oja | 116. Njuohgarjavi | 151. Taljavaara |
| 12. Narkijärvi | 47. Porttiköngäs | 82. Jänesselkä | 117. Uhtsaskaiddas | 152. Vasa |
| 13. Toareskurra | 48. Vaskojänginjoki | 83. Tulppionkaitavaara | 118. Tsuomasvarri | 153. Kuusi-Pälkättivaara |
| 14. Kultakuru | 49. Pahtasuanto, Vaskojoki | 84. Kuttusvaarat | 119. Peurasuanto | 154. Jeesiörova |
| 15. Muvratsohkka | 50. Rovaselkä | 85. Nivatunturi | 120. Kurittukoski | 155. Kiimakumpu |
| 16. Peltotunturi | 51. Venäjoki | 86. Sotatunturi | 121. Kuusi-Lomavaara | 156. Kotiselkä |
| 17. Skarrevadamuorravaras | 52. Isovaaransarvi | 87. Hirvasjoki | 122. Lauttiselkä | 157. Kaitakumpu |
| 18. Pahtajärvi | 53. Pahtapuura | 88. Ruuvaaja | 123. Ruosselkä | 158. Rovaselkä-Miekkavaara |
| 19. Huuvajärvi | 54. Kotama | 89. Kappervaarat | 124. Viuvalojoenlatva | 159. Saarisuanto |
| 20. Tarpomapää | 55. Vähäoja | 90. Kärkäsvaara | 125. Heinjängän Isomaa | 160. Aittaaja |
| 21. Taatsi | 56. Palo-Tiukuvaara | 91. Suksenrovat | 126. Lahessaari | 161. Seitinaapa |
| 22. Uurrekarkia | 57. Kiimapalo | 92. Vitsaaja | 127. Vallenkarit | 162. Kontiselkä |
| 23. Yrjänänharju | 58. Kuusajoki | 93. Saihommurusta | 128. Kaikunuora | 163. Naltiohaara |
| 24. Naskamajoki | 59. Särestövaara | 94. Kynsivaara | 129. Satapetäjäsaari | 164. Kolsanmurustat |
| 25. Pikkuhelkikoski | 60. Routsukaisenvitsikko | 95. Karkeatuore | 130. Pielpajärvi | 165. Naltiovaara |
| 26. Risujängänmaa | 61. Värriövaara | 96. Nolppio | 131. Iso Roiro | 166. Akanoja |
| 27. Nirroselkä | 62. Värriöjoki | 97. Vesmajärvi | 132. Nilisaari | 167. Kussuolinkivaara |
| 28. Rämeselkä | 63. Utkuputkunmaa | 98. Keulakkopäänrinne | 133. Juhani Kotajärvi | 168. Seittikero |
| 29. Vertijoki | 64. Liesijoki | 99. Nuttio-Vainionlaki | 134. Koskamussaari | 169. Pastapeltsohka |
| 30. Ahvenjärvi | 65. Venahaaranaapa | 100. Nuttio-Tuorelaki | 135. Soidinvaara | 170. Koarvikodds |
| 31. Nautajoki | 66. Takkaselkätunturi | 101. Järvilaki | 136. Supruvaara | 171. Hiitamolampi |
| 32. Hopijärvi | 67. Kuskoiva | 102. Sattasvaara | 137. Takkaselkävaara | |
| 33. Vaskojoki, Vaskonkuolpuna | 68. Murhahaaranoja | 103. Töyrylänmaa | 138. Rajavaara | |
| 34. Vaskojoki, Kotoajanniemi | 69. Saihoselkä | 104. Vanttioselkä | 139. Kivilompola | |
| 35. Paljukanpalo | 70. Vahtikonelonvaara | 105. Vanttion Kotavaara | 140. Heäbusoajvi | |



Kuva 2. Kartoituskohteiden alueellinen ryhmittely.
 Fig. 2. Regional classification of the mapped areas.

meraatteja, mantelikiviä, uraliittiporfyyriitteja. Osa liuskeista lienee tuffisyntyisiä. Pääosa liuskejakson kivistä on sedimenttisyntyisiä: kvartsiitteja ja kiilleliuskeita, joista edelliset ovat paikoin grafiitti- ja kiisupitoisia. Liuskejakson kiven alkuperä on säilyneiden primaarirakenteiden perusteella yleensä todettavissa. Tšohkkoain alueelta on tavattu useita pienehköjä serpentiniittipahkuja (2–4) sekä iso differentioitunut gabro-metaperidotitiititruusio Tšohkkoain-Haukijärven väliseltä alueelta.

2. *Länsi-Inarin liuskealue* (Meriläinen, 1976), johon on otettu myös mukaan Pomokairan graniittialue sisältää arkoosigneissejä, kvartsiitteja, kiillegneissejä ja -liuskeita, sарvivälkegneissejä, amfiboliitteja ja vihreäliuskeita ja niitä lävistäviä happamia syväkiviä. Puljun jaksossa sekä Repokairan vyöhykkeessä on kivilajiseurueena karsikiviä ja kvartsiitteja sekä mustaliuskeita. Repokairan-Peltotunturin alue on kohtalaisen voimakkaasti metamorfoitunut ja kiven primaariset rakennepiirteet ovat suureksi osaksi hävinneet.

Liuskevyöhykkeiden jatkuminen Kittilän vihreäkivialueella antaa aiheita olettaa kuitenkin, että ainakin osa tämän aluekokonaisuuden kivistä olisi geneettisesti rinnastettavissa Kittilän vihreäkiveen, niin kuin Mikkola (1941) on todennut, mutta tällä alueella metamorfoosi olisi voimakkaampi. Meriläinen (1976) pitää kuitenkin Länsi-Inarin liuskejaksion kiviä prekarjalaisina ja Kittilän vihreäkiviä karjalaisina, joten näillä kahdella alueella olisi ikäero.

Ultramafiitteja on runsaasti ja ne esiintyvät liuskeisuuden suunnassa pitkinä jonoina. Erityisesti Repokairassa (2b) tämä rakennepiirre on selvä, samoin Puljutunturin jaksolla (2c), jossa ultramafiitteja on todettu likimain samanlaisessa kivilajiassoosiaatiossa yli kymmenen kilometrin matkalla.

Puljun jaksoa erottaa varsinaisesta Kittilän vihreäkivialueesta Tepaston syväkivialue, jonka ulottuvuudet ovat huonosti tunnettuja, sillä alue on heikosti paljastunutta. Tällä alueella ovat kohteet 5 ja 10, jotka luonteeltaan ovat mafisia intrusiivikiviä.

3. *Kittilän vihreäkivialuetta* luonnehtivat suhteellisen hyvin säilyneet vulkaaniset kivilajit ja niiden joukossa vähäisempänä osana esiintyvät sedimenttikivet. Ultramafiitteja on hajanaisesti lähes koko alueella, kuitenkin runsaimpana vihreäkivialueen itäosassa.

4. *Kittilän-Sodankylän vyöhyke* koostuu pääasiassa sedimenttisyntyisistä kivistä, kvartsiiteista ja kiilleliuskeista, jotka kuuluvat Kumpu-muodostumaan. Näiden joukossa on myös amfiboliitteja ja sarvivätkeliuskeita, mutta niiden osuus on vähäinen. Ultramafiitteja on tutkittu erityisesti Kittilässä, Kaukosen alueella (4a), jossa niitä on runsaasti pieninä intrusioina kvartsiitissa tai liuskeissa. Toinen, enimmäkseen mafisia intrusiivikiviä käsittävä osa-alue on Sodankylän ympäristössä (4b).

5. *Sodankylän vihreäkivialueen* kivilajit muistuttavat Kittilän vihreäkiviä, mutta Mikkolan (1941) mukaan ne ovat hiukan emäksisempiä. Osittain nämä ovat erittäin homogeenisia, gabromaisia, mutta monessa paikassa voidaan todeta säilyneitä ekstrusiivisia primaarirakenteita, agglomeraatteja, tyynylaavoja, mantelikiviä, porfyriittejä jne. Koostumukseltaan ne ovat intermediaarisia. Alueen keskellä on Koitelaisen gabro. Gabro esiintyy satelliitti-intrusioina myös liuskeiden keskellä erityisesti Koitelaisen alueesta kaakkoon ja etelään. Amfiboliittisten vihreäkivien joukossa on sedimenttisiksi tunnistettavia kiviä sekä kvartsiitteja, grauvakkalisukeita ja mustaliuskeita, joista eräät mm. Moskuvaaran alueella esiintyvät vuorottaisesti mafisten vihreäkivien ja niihin liittyvien ultramafiittien kanssa.

Tällä alueella on ultramafiitteja tutkittu erityisesti kahdessa vyöhykkeessä: Sattasvaaran–Moskuvaaran alueella (5a), Koitelaisen lounaispuolella sekä Petkulan-Ruosselän alueella (5b) Koitelaisen pohjoispuolella. Kummassakin paikassa pääkivilajina on koitelaisen emäksinen vihreäkivi, jossa ultramafiitit ovat pitkänomaisina linssijonoina. Alueelta on tutkittu myös muutamaa gabrointrusiota, jotka lienevät koostumukseltaan ja geneettiseltään rinnastettavissa Koitelaisen gabroon.

Luonteenomaisena piirteenä koko alueelle on kivien primaarirakenteiden säilyneisyys sekä suhteellisen alhainen metamorfoosiaste. Mikkolan (1941) havaintojen mukaan suurin osa tämän alueen ultramafiiteista liittyy geneettisesti vihreäkiviin ja edustaa niiden »pikriittisiä» laavariaatioita.

6. *Itä-Lapin* Tuntsa-Savukoski -muodostumaa Mikkola (1941) piti vihreäkivien luonnehtimaa Lapponium-sarjaa vanhempana. Tämän alueen kivet ovatkin voimakkaasti metamorfoituneita kiillegneissejä joiden joukossa satunnaisesti on kvartsiitteja sekä amfiboliitteja, jotka lienevät vulkaanisia alkuperältään. Primaarirakenteet ovat Martin aluetta lukuunottamatta yleensä hävinneet.

Ultramafisia kiviä tällä alueella on runsaasti ja erityisesti Martin alueella (6a) ne liittyvät vulkaanisia rakenteita omaavaan paremmin säilyneeseen amfiboliittiin tyypillisen vihreäkivialueen tapaan. Koska metamorfoosin intensiteetti kasvaa koilliseen mentäessä saattaa myös koillisen alueen ultramafiittipahkuista osa liittyä geneettisesti vulkanogeenisiin amfiboliliuskeisiin. Alueella on kuitenkin ultramafiitteja myös graniittigneissiympäristössä ja tällöin ainakin osa alkuperältään juonimaisia.

7. *Granuliittikaaren alueella* pääosa tutkituista ultramafiiteista on keskittynyt granuliittikaaren ulkokehälle, mutta myös sisäkehältä, Kevon alueelta on tavattu edellisten kanssa identtisiä ultramafiitteja. Varsinaisella graniittialueella olevista mafisista intruusioista on tutkittu ainoastaan muutama merkkitapaus.

8. Granuliittikaaren sisään jäävä *Koillis-Inarin ja Utsjoen alue* käsittää pääasiassa suuntautuneita grano- ja kvartsidioriittisia kiviä (pohjan gneissigraniittia) sekä amfiboliitti- ja kiillegneissivyöhykkeitä. Näitä lävistävät nuoremmat graniitti-intruusiot, joista Vainospään epähomogeeninen iso massa edustaa ikämääritysten perusteella karjalaista revoluutioikää. Erityisesti Vätsärin alueella (8c) on amfiboliittisten liuskejaksojen luonnetta pyritty selvittämään mahdollisen Petsamo-tyyppisen liuskejakson jatkeiden löytämiseksi. Havainnot kuitenkin viittaavat pääasiassa Karelidien pohjaan kuuluvien amfiboliittien ja niihin liittyvien rautamuodostumien esiintymiseen.

Utsjoen alueella (8a) mafiset ja ultramafiset intruusiot muodostavat lähes lineaarisen vyöhykkeen. Tämä rakenne näkyy myös aerogeofysikaalisilla kartoilla. Runsaimmin ultramafisia intruusioita on todettu Vätsärin alueella (8c), tosin tällä osalla on myös kenttätyötä tehty tarkimmin. Inarin koillisosasta on valmistumassa Geologisen tutkimuslaitoksen matalalentokartta ja sen antamaa informaatiota voidaan ehkä myöhemmin käyttää ultramafiittien etsinnässä ja rakenteellisten seikkojen selvityksessä. Karttaa ei tätä tutkimusta tehtäessä ollut käytettävissä.

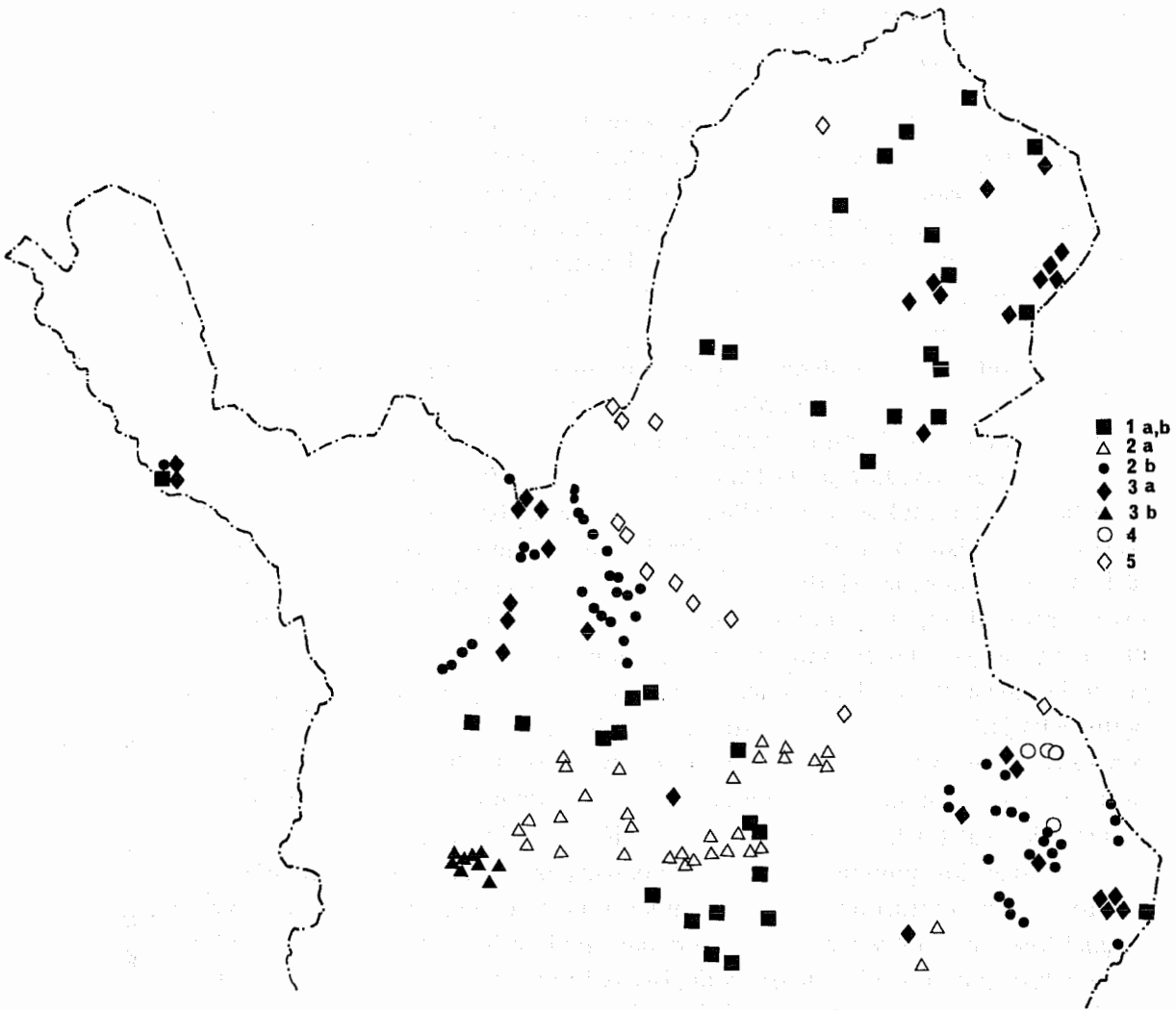
Inarinjärven NE-rannan läheisyydessä (8b) on joitakin satunnaisia ultramafiitteja, joita ehkä tarkan geofysikaalisen kartan ja kartoituksen avulla voisi löytää useampikin.

Kartoituskohteiden luokittelu

Geologisen ympäristön ja intrusioon differentioitumistyyppin perusteella kohteet on luokiteltu viiteen tyyppiin seuraavasti (kuva 3):

1. a. Differentioituneet intruusiot, joissa mafista (gabro-sarjan) jäsentä esiintyy runsaasti.
 - b. Juonimaiset pyrokseniitit
2. a. Ultramafiset kivet vulkaniittiympäristössä.
 - b. Ultramafiitit amfiboliiteissa, jotka mahdollisesti ovat metamorfoituneita vulkaniitteja.
3. a. Ultramafiset kivet, jotka liittyvät ruhjevyyhykkeisiin
 - b. Ultramafiitit sedimenttisyntyisten liuskeiden yhteydessä
4. Duniittipahkut
5. Granuliitin reunavyöhykkeen spinellikortlandiitit.

Tämä jaottelu perustuu suurelta osin kenttähavaintoihin, mutta sitä on joiltain osin täydennetty ja modifioitu petrologisten ja geokemiallisten ominaisuuksien perusteella. Tutkimuskohteiden varsinainen geokemiallinen ja petrologinen karakteristiikka esitetään erikseen myöhemmin. Vaikka jaottelu on pyritty tekemään selväpiirteiseksi on eräitä kohteita, joita ympäristön puutteellisten geologisten havaintojen takia ei voi



Kuva 3. Kartoituskohteiden geologinen luokittelu. 1a ja 1b = differentioituneet intruusiot ja juonimaiset pyrokseeniitit, 2a = ultramafiitit vulkaniittiympäristössä, 2b = ultramafiitit amfiboliittien yhteydessä, 3a = ultramafiitit ruhjevöhykkeissä, 3b = ultramafiitit sedimenttisyntyisten liuskeiden yhteydessä, 4 = duniittipahkut, 5 = spinellicortlandiitit.

Fig. 3. Classification of the investigated ultramafic and mafic bodies on a geological basis: 1a = differentiated, mainly gabbroic bodies, 1b = veinlike pyroxenitic intrusives, 2a = ultramafic body in volcanogenic (greenstone) environment, 2b = ultramafic body in amphibolite, which might be volcanic in origin, 3a = ultramafic body combined with a fracture zone, 3b = ultramafic body in sedimentogeneous schist environment, 4 = dunitic body, 5 = spinel cortlandite body in granulite-marginal zone.

luokitella. Tämä ryhmitys ei myöskään tarkoita sitä, että kaikki samaan ryhmään kuuluvat kohteet olisivat keskenään identtisiä, vaan niillä on yhteisenä juuri ryhmitykseen vaikuttavat erityispiirteet.

Seuraavassa tarkastellaan tyyppiesimerkkejä eri ryhmistä.

Differentioituneet intruusiot ja juonimaiset pyrokseeniitit

Esimerkkinä T^vohkkoaivi, kohde n:o 1

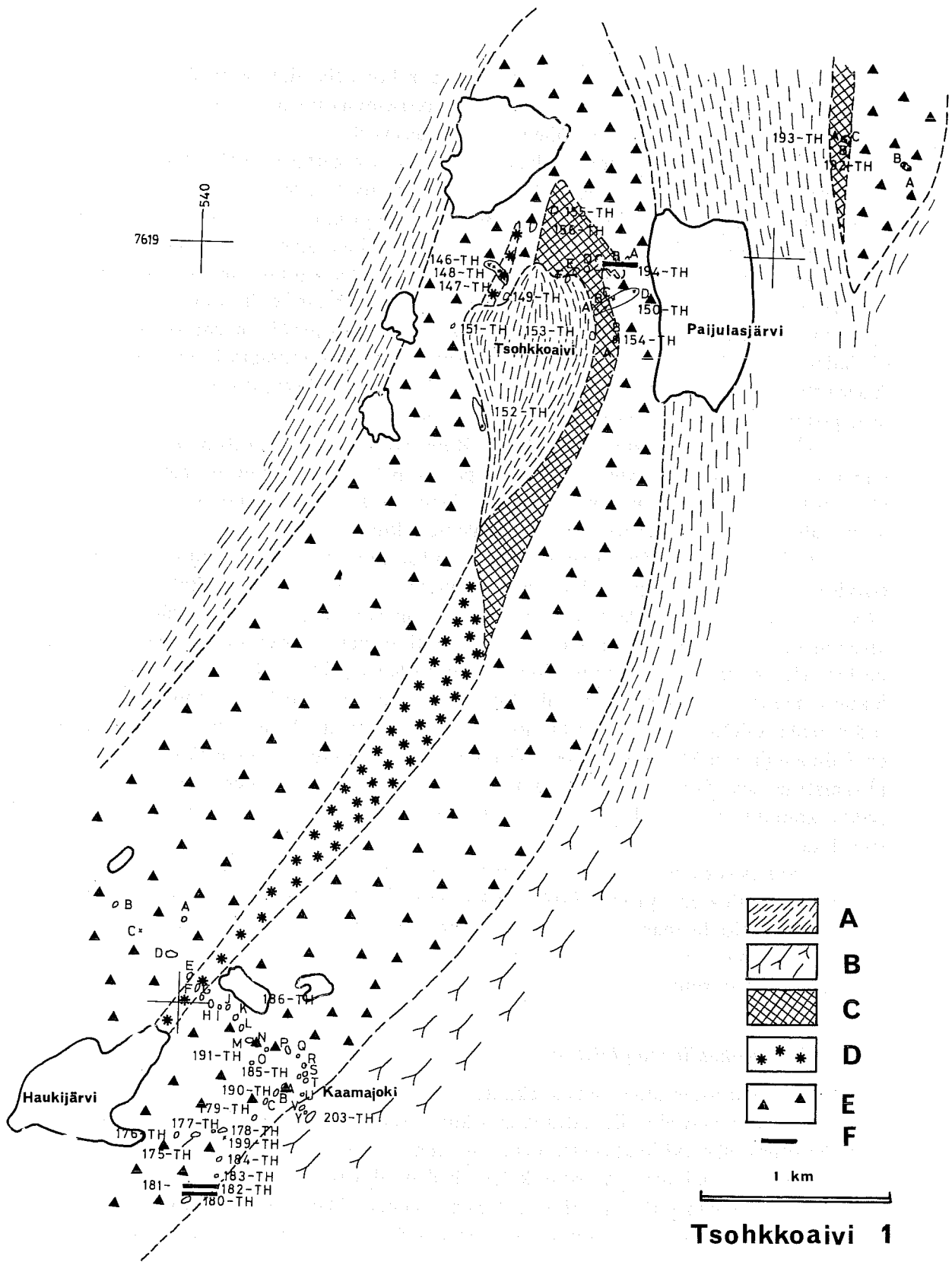
Intruusio sijaitsee Enontekiössä ja se liittyy Markkina-Ruossakeron-Tarjun liuskejaksoon (kuva 4). Todetut kontaktit intruusion SE-reunalla ovat amfiboliittia tai kloriitti-liusketta vastaan, pohjoisempina ilmeisesti kiillegneissia vastaan, länsipuolella sedimentogeenisiä kiviä, kiilleliuskeita ja kvartsiitteja vastaan. Emäksisen kivilajin keskellä, T^vohkkoaivin laella on happamia liuskeita, kvartsiittia ja kiillegneissia n. 1000 m pitkänä ja 400 m leveänä osueena. Paikoitellen näissä liuskeissa on kiisupirotetta, joka on yksinomaan rautakiisua.

Varsinainen emäksinen intruusio on ainakin n. 7 km pitkä ja parhaimmillaan n. 2 km leveä. Intruusion pohjoispää T^vohkkoaivin alueella on kohtalaisen hyvin paljastuneena ja myös eteläosassa, Haukijärven-Kaamajoen seuduilla on hyvin paljastuneita osia. Intruusion kivilajisarja ulottuu gabrosta ultramafiseen kiveen, joka on metamorfoitunutta ja koostumukseltaan cortlandiittista, perkniiittistä tai -hornblendiiittistä. Massiivin eteläosassa kivilajit ovat pääasiassa gabroja. Tarkemmin tutkitun itäkontaktin läheisyydessä Kaamajoen alueella esiintyy sarvivälkegabroa, jossa satunnaisina sulkeumina on ympäristön amfiboliitteja sekä myös yhdessä pienessä paljastumassa anortosiittinen osue, jonka ulottuvuuksia ja suhdetta ympäristön gabroon ei ole voitu määrittää. Likimain Haukijärven koillispäästä koillisuuntaan on pyrokseenigabro-vyöhyke, joka lohkarehavaintojen perusteella jatkuu T^vohkkoaivin suuntaan. Niin ikään Kaamajoen läheisyydessä on gabron keskellä pieni ultramafinen osa, jossa kivilaji on karbonaattipitoinen serpentiiniitti. Intruusion keskiosa on suhteellisen heikosti paljastunutta, mutta rakkojen perusteella ovat kivilajeina pääasiassa gabroluokan edustajat.

Intruusion pohjoispäässä, T^vohkkoaivin päällä olevan liuskeosan itäpuolella on välittömästi peridotiittinen kivilajivyöhyke, joka tulee paikalla suoritetun pienalaisen magneettisen mittauksen perusteella erittäin hyvin esille. Peridotiitin ja sivukiven väliin tulee gabro, joka on suhteellisen voimakkaasti muuttunutta: serisiittiytynyttä, saussuriittiutunutta ja kloriittiutunutta. Primaarisesta sarvivälkkeestä on yleensä vain jätteitä jäljellä, samoin plagioklaasi on muuttunutta. Peridotiitin ja gabron vaihettumisvyöhykkeessä on hienorakeinen porfyyrinen gabromuunnos, joka mikroskooppisesti muistuttaa emäksistä vulkaniittia. Liuskeosan luoteispuolella, T^vohkkoaivin rinteessä on sarvivälkegabroa ja sen keskellä osueena myös noriittia (147-TH). Sekä Kaamajoen alueella että myös T^vohkkoaivin kairauksessa todettiin muutamia leikkaavia diabaasijuonia.

Muodostuman itäosassa kontakti kaatuu loivasti länteen. Myös peridotiitin ja gabron välinen raja T^vohkkoaivilla on magneettisen anomaliakuvan perusteella länteen kaatuva. Massiivin itäreunalla on vahvana laattana homogeeninen gabro, jossa ei ole todettavissa mitään kerroksellisuuteen viittaavaa raitaisuutta. Kysymyksessä ei ole kerosintruusio, vaan länteen kaatuva laatta homogeenista gabroa, joka keskiosassaan sisältää ultramafisia osueita. T^vohkkoaivin kairausprofiili viittaa siihen, että peridotiitin ja gabron välinen kontakti olisi intrusiivinen, ja että T^vohkkoaivin massiivi olisi peräkkäisten intruusioiden muodostama kokonaisuus.

Gabron itäkontaktin läheisyydessä Kaamajoen alueella on todettu kuparikiisua, magneettikiisua ja pieniä määriä pentlandiittia. Tähän kohteeseen kairattiin 6 reikää ja esiintymä kuvataan tarkemmin s. 76–78. Intruusion pohjoispäähän, Pajulasjärven länsirannalle kairattiin profiili, jolla lävistettiin peridotiitin ja gabron kontaktivyöhyke. Kaamajoen kairauksissa todettiin, että pohjakontaktin läheisyydessä gabro vaihettuu klo-



Kuva 4. Tsohkkoaivin geologinen kartta. A = sedimentogeenisiä liuskeita, B = amfiboliitti, C = ultramafiitti, D = pyrokseenigabro, E = sarvivälkegabro, F = kairauspaikka.

Fig. 4. Geological map of the Tsohkkoaivi area, an example of gabbroic bodies. A = sedimentogeneous schists, B = amphibolite, C = ultramafic rocks, D = pyroxene gabbro, E = hornblende gabbro, F = diamond drill holes.

riittiliuskeeksi, joka satunnaisesti sisältää mm. pyrokseeneja. Ilmeisesti tämä vyöhyke, joka sitten vaihettuu amfiboliitiksi, edustaa emäksisempää intruusion osaa, joka täällä etelässä on ainoastaan kontaktin läheisyydessä näkyvissä.

Kairausprofiileista tehdyt silikaattien analyysit osoittavat, että pohjoispään peridotitiittisissa kivilajeissa silikaattien nikkelpitoisuudet ovat korkeimmillaan, sen sijaan T^vshkkoain gabron nikkelpitoisuus on selvästi alempi kuin Kaamajoen alueelta gabroista analysoidut nikkelpitoisuudet (kuva 5). Kaamajoen alueella pitoisuuksissa on erittäin suuria vaihteluja, kun taas T^vshkkoainilla vaihtelu on vähäistä. Tämä voi osaltaan johtua siitä, että analysoituna mineraalina on amfiboli, jonka pääkomponenttien koostumuksen vaihtelu on paljon laajempaa kuin pyrokseneissa ja varsinkin oliiviniissa. T^vshkkoain gabrossa todetaan lievää amfibolin rautapitoisuuden kasvua lähestyttäessä peridotitiittisen kiven kontaktia. Tämä voi todistaa differentioitumisesta happamaan suuntaan gabrossa ylöspäin mentäessä.

T^vshkkoainin kartalla NE-kulmassa Ruossakerolla todettu gabro-peridotitiittintruusio on pääasiassa sarvivälkegabroa ja parista paljastumasta otetuin näytteen tässä tutkimuksessa mukana. Intruusio on niiden perusteella verrattavissa T^vshkkoainiin, mutta silikaattien nikkelpitoisuudet ovat alempia kuin T^vshkkoainilla.

Differentioituneiden intruusioiden ryhmään kuuluvia muita intrusioita on erityisesti Koitelaisen ympäristössä, josta muutamia on tutkittu (esim. kohteet 108, 146, ja 147 kuvassa 1). Sodankylän ympäristössä on gabroja, joista osa on vihreäkiven massiivisia patjoja, osa taas selvästi differentioituneita intrusioita, kuten kohde 110, Haaskalehto, jossa on kivilajisarja peridotiteista gabroon. Granuliittialueella on lukuisia mafisia intrusioita, joista ainoastaan muutamia on tutkittu. Granuliittikaaren sisäpuolella todetuista intrusioista monet ovat koostumukseltaan gabroja. Laajin näistä on Pulmankijärven SE-puolella oleva Tsuomasvarri, joka eteläosassaan sisältää myös ultramafisia osia. Tsuomasvarrissa näyttää näiden kahden kivilajityypin välillä olevan jyrkkä kontakti ja mahdollisesti tässäkin tapauksessa on kysymyksessä kaksi eri intrusiota.

Juonimaisten pyrokseniittien alaryhmään (1b) on otettu sellaiset kohteet, joissa pääkomponenttina on pyrokseniitti ja jotka näyttävät intrusiivisilta. Tähän ryhmään kuuluvia kiviä on Koillis-Inarin alueella olevissa kohteissa 129, 138 ja 144. Juonimaiset pyrokseniitit saattavat kuulua eri ikäiseen intrusiotyyppiin kuin muut Koillis-Inarin differentioituneet intrusiot.

Ultramafiitit vulkaniittiympäristössä

Ultramafiittien alueellisessa jakautumisessa on todettu selviä keskittymiä esim. Sodankylän vihreäkivialueella Sattasvaaran-Moskuvaaran vyöhykkeellä ja pohjoisempana Petkulan-Ruosselän vyöhykkeessä, joissa molemmissa ympäristökivet ovat pääasiassa vulkanogeenisiä amfiboliliuskeita. Niin ikään Kittilän vihreäkivialueen itäosissa on esiintymistävaltaan edellämainttuihin rinnastettavia tyyppisiä. Martin tienoilla on pari kohdetta, 158 ja 61, jotka selvästi kuuluvat yhteen ympäristössä tavattujen vulkaniittien kanssa. Kun mm. Sattasvaarassa on selvästi todettavia vulkaanisia rakennepiirteitä (agglomeraatteja ja breksioita) ultramafisissa kivissä, on näitä ultramafiitteja pidettävä geneettisesti vulkaniittisarjaan kuuluvina kuten jo Mikkolakin (1941) on olettanut.

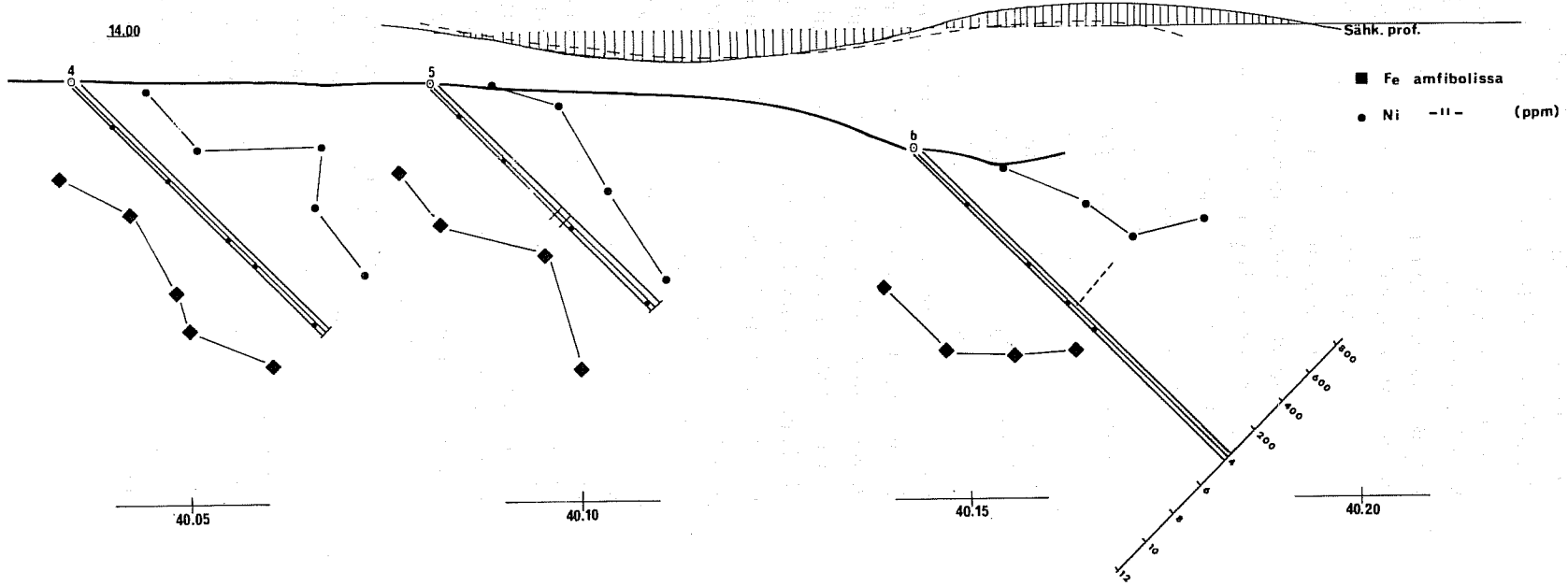
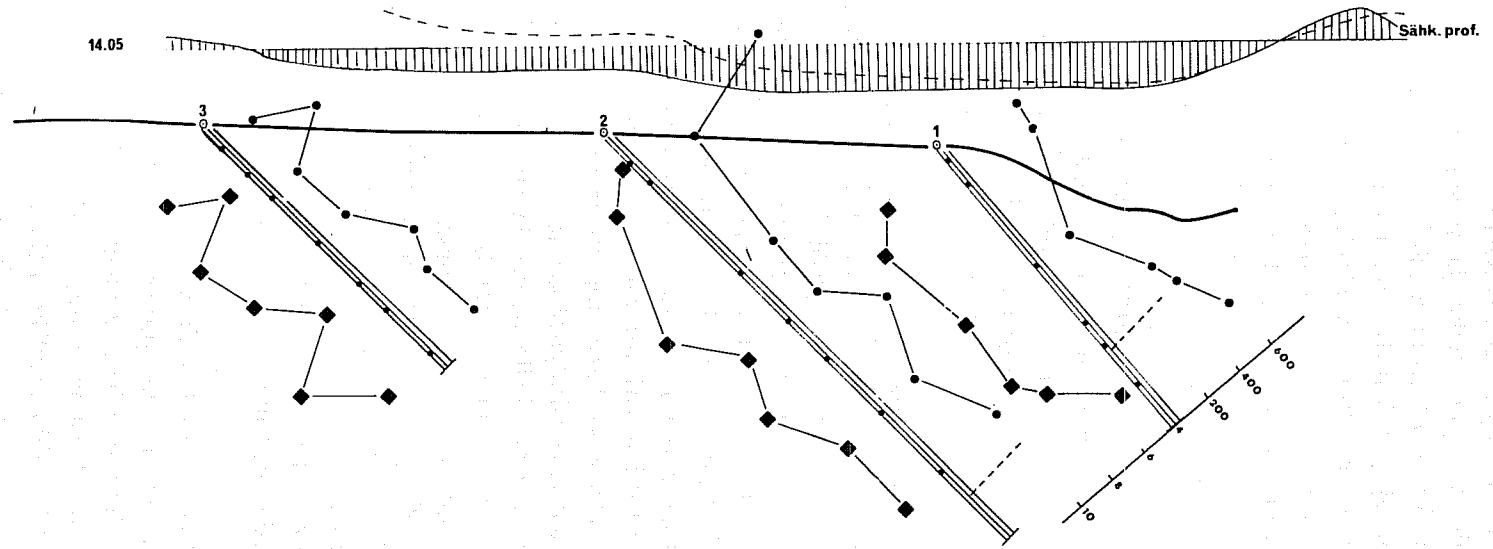
Vulkaniitteihin liittyvistä ultramafiiteista on esimerkkitapaukseksi otettu *Moskuvaara*. Paikalle on Outokumpu Oy kairannut aikaisemmin 9 reikää ja niiden antamaa kivilaji-informaatiota on käytetty hyväksi konstruoitaessa kuvassa 6 esitetyjä profiileja. Alueella on todettu kahdentyypisiä ultramafiitteja: wehrliittisiä peridotiittilinssejä, jotka ovat hyvin paljastuneina tasapaksuina, pitkinä »kerroksina» vihreäkiven yhteydessä sekä kloriitti-aktinoliittikiviä. Näistä edelliset siis ovat primaarisesti peridotiittisia koostumukseltaan, jälkimmäiset vastannevat pyrokseeniitteja, ts. ne ovat hivenen happamampia. Toistaiseksi näiden kivilajityyppien geokemiallinen luonne on puutteellisesti tunnettu. Paitsi ilmeisesti laavasyntyisiä, osin erittäin homogeenisia ja massiivisia gabromaisia vihreäkiviä, on alueen pääkivinä kerrokselliset erittäin hienorakeiset tummat fylliiteiksi kutsutut liuskeet, jotka suureksi osaksi lienevät hienorakeisia tuffiitteja. Näiden lisäksi on myös vaaleampia grauvakkamaisia liuskeita sekä ennen kaikkea mustaliuskeita, jotka aiheuttavat voimakkaita sähköisiä häiriöitä. Koko kerrossarja kaatuu suhteellisen loivasti luoteeseen kaadekulmien vaihdellessa 40-60° NW. Peridotiittipatjat rajoittuvat kairaus-ten perusteella vihreäkiveen, mutta reikä 8:ssa on serpentiiniitti kuitenkin välittömästi kiisupitoisen fylliitin päällä (fylliitissä on n. 2 % rikkiä).

Peridotiittilinssejä luonnehtivat pitkät ja magneettisen kartan perusteella tasapak-sut muodot, suhteellisen voimakas serpentiiniytyminen ja kiisuköyhyys. Kiisumineraaleina esiintyy pentlandiitin, satunnaisen kuparikiisun ja magneettikiisun lisäksi serpentiiniyty-neissä osissa heazlewoodiittia ja milleriittiä. Oksideista kromiitti ja magnetiitti ovat vallit-sevia, mutta myös ilmeniittiä on satunnaisesti. Silikaattien nikkelpitoisuudet vaihtelevat, ja oliviinin nikkelpitoisuus on keskimäärin 2219 ppm ja Fe 11,52. Peridotiitti-linssin poikki otetuissa näytesarjoissa voidaan todeta säännönmukaista Ni-pitoisuuden vähentymistä tai lisääntymistä. Koska kuitenkin toisissa sarjoissa on linssin yläosassa Ni-pitoisuus korkeampi, paikoin taas saman linssin alaosassa, lienee todettu vaihtelu satun-naista eikä indikoi kerroksen yläosan suuntaa. Kuvassa esitetyistä kahdesta patjasta poh-joisemmassa kerroksessa näyttää nikkelpitoisuus olevan oliviinissa keskimäärin hivenen korkeampi kuin eteläisessä. Samoin Ni/Cu -suhde on pohjoisessa selvästi korkeampi.

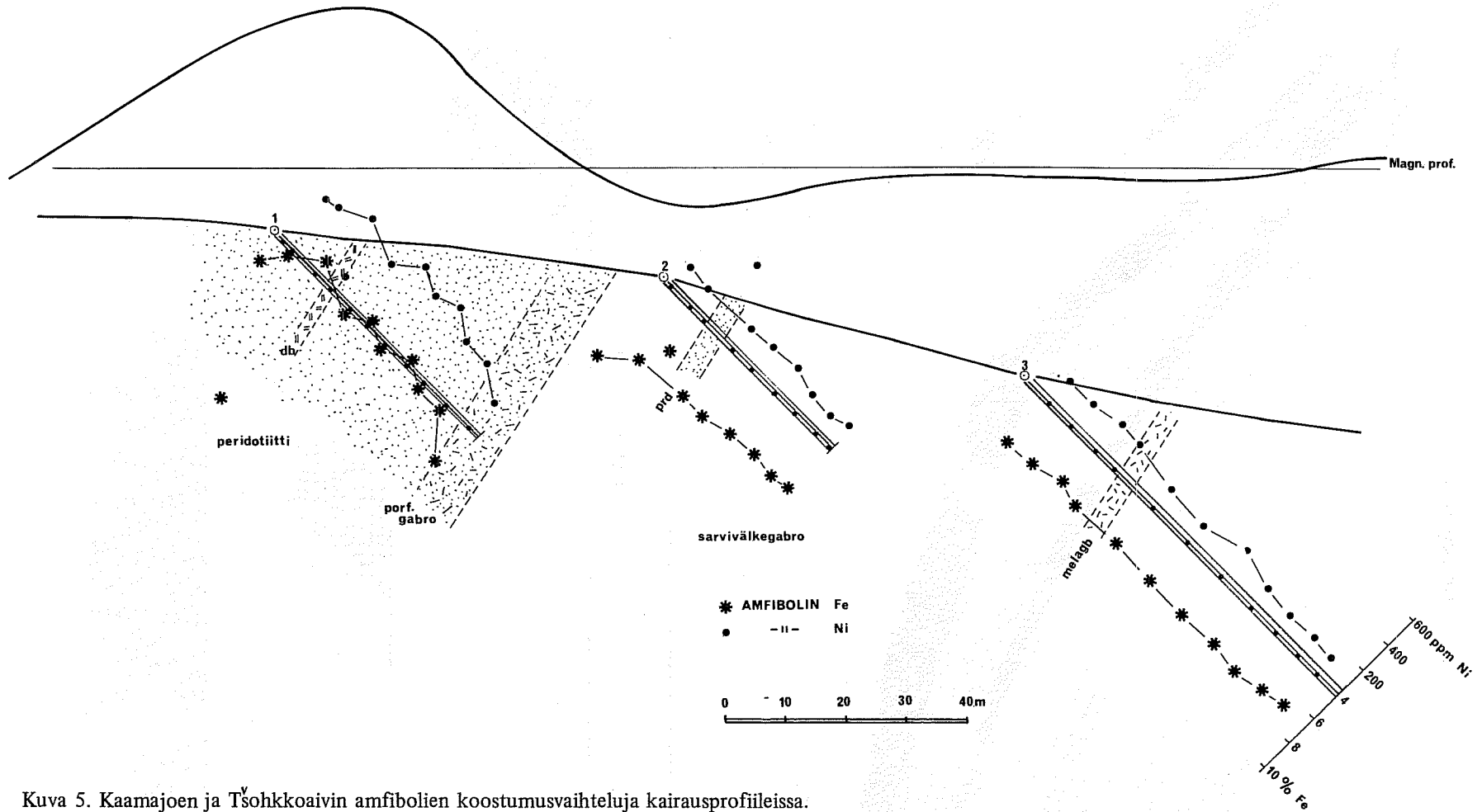
Peridotiittien kiisupitoisuus on sängen alhainen, pohjoisemmassa patjassa keskiarvo kairausanalyysien perusteella on n. 1000 ppm S, mutta eteläisemmässä pak-sussa patjassa ainoastaan n. 600 – 400 ppm. Ni/Cu -suhde pohjoisemmassa patjassa on jopa n. 26, kun se eteläisemmässä patjassa on 8–10. Kloriitti-aktinoliitti-liuskeet poikkeavat peridotiittista alhaisemman Ni/Cu -suhteensa perusteella. Merkittävä piirre on se, että paksun serpentiiniittipatjan olla oleva antofylliitti-kloriittikivi on Ni/Cu -suhteeltansa ver-rattavissa läheisyydessä olevaan vihreäkiveen.

Jos verrataan Moskuvaaraa Kittilän vihreäkivialueella esiintyvään *Nuttioon* (kuva 7) voidaan todeta, että Nuttiolla ultramafiitit esiintyvät n. 6 km pitkänä vyöhykkeenä, ikään kuin helminauhana vihreäkiven sisällä. Nuttion alueella ei kuitenkaan esiinny mus-taliuskeita ja fylliittimäisiä kiviä yhtä runsaasti kuin Moskuvaarassa, vaan Nuttion vyö-hykkeen kivet näyttävät suhteellisen homogeenisilta albiitti-amfiboliitti-kloriitti vihreä-kiviltä, joissa esiintyy sekä tyynylaava- että agglomeraattirakenteita. Nuttion ultramafiit-tia lävistää massiivinen vihreäkivijuoni, joka on koostumukseltaan ympäristön tyynylaava-rakenteisen vihreäkiven kaltaista. Näin ollen ultramafiitit olisivat asettuneet paikoilleen hyvin varhaisessa vaiheessa, ts. joko ne ovat suorastaan ekstrusioita tai vulkaanisen toi-minnan aikana intrudoituneita hypoabyssisiä kerrosjuonia. Nuttion ultramafiitit vastaavat koostumukseltaan duniitteja, mutta ovat yleensä kohtalaisesti serpentiiniytyneitä. Esimer-kiksi jakson S-osassa serpentiiniitit sekä talkkiutuneet ja karbonaattituneet muunnokset

KAAMAJOKI

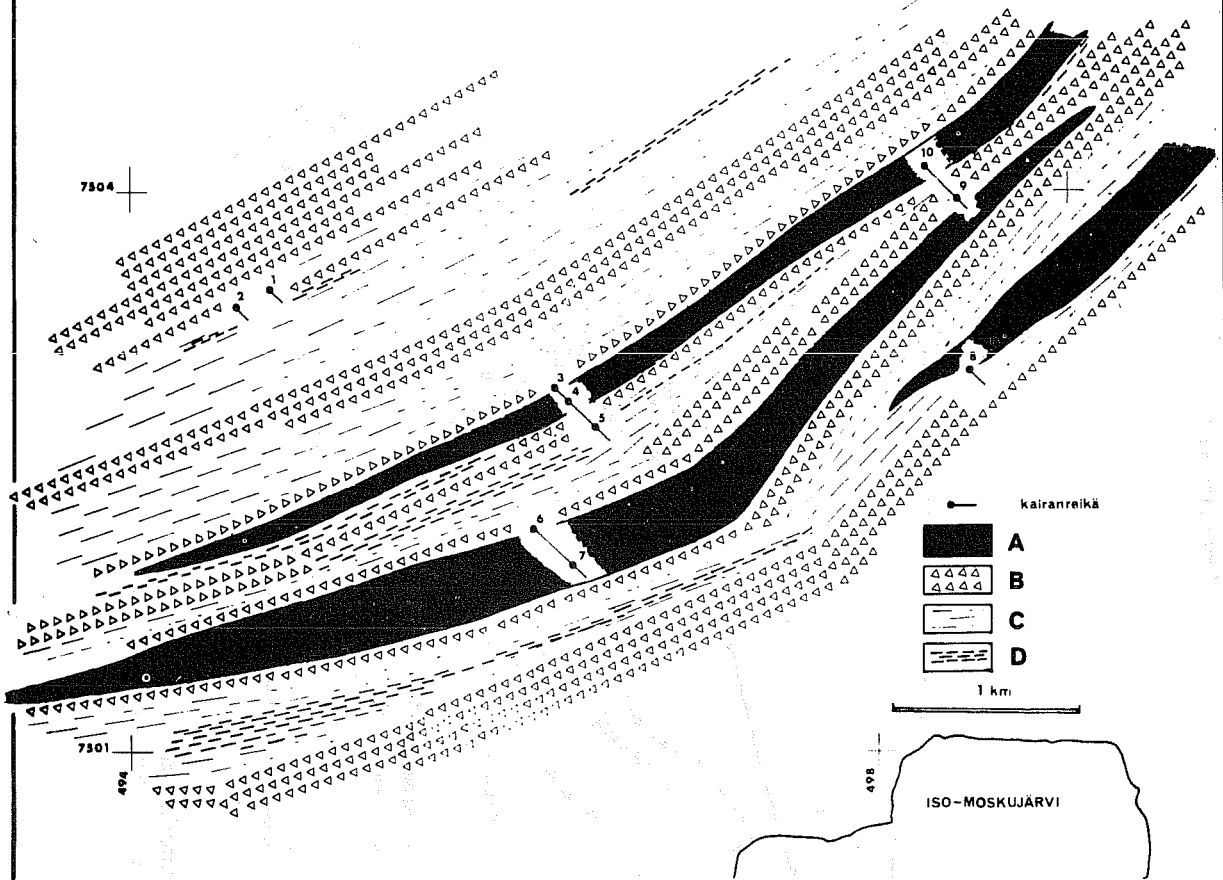


TŠOHKKOAIVI



Kuva 5. Kaamajoen ja Tšohkkoavin amfibolien koostumusvaihteluja kairausprofiileissa.
 Fig. 5. Variation in the chemical composition of amphibole minerals in diamond drill cores of Tšohkkoivi and Kaamajoki areas.

MOSKUVAARA

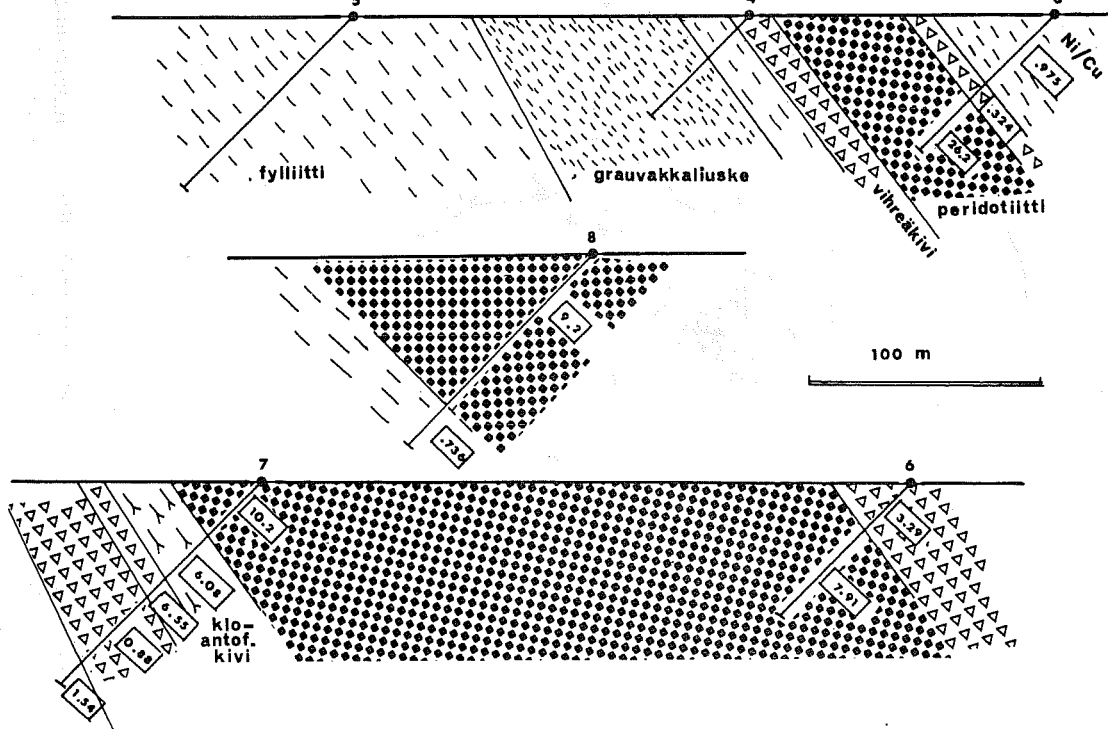


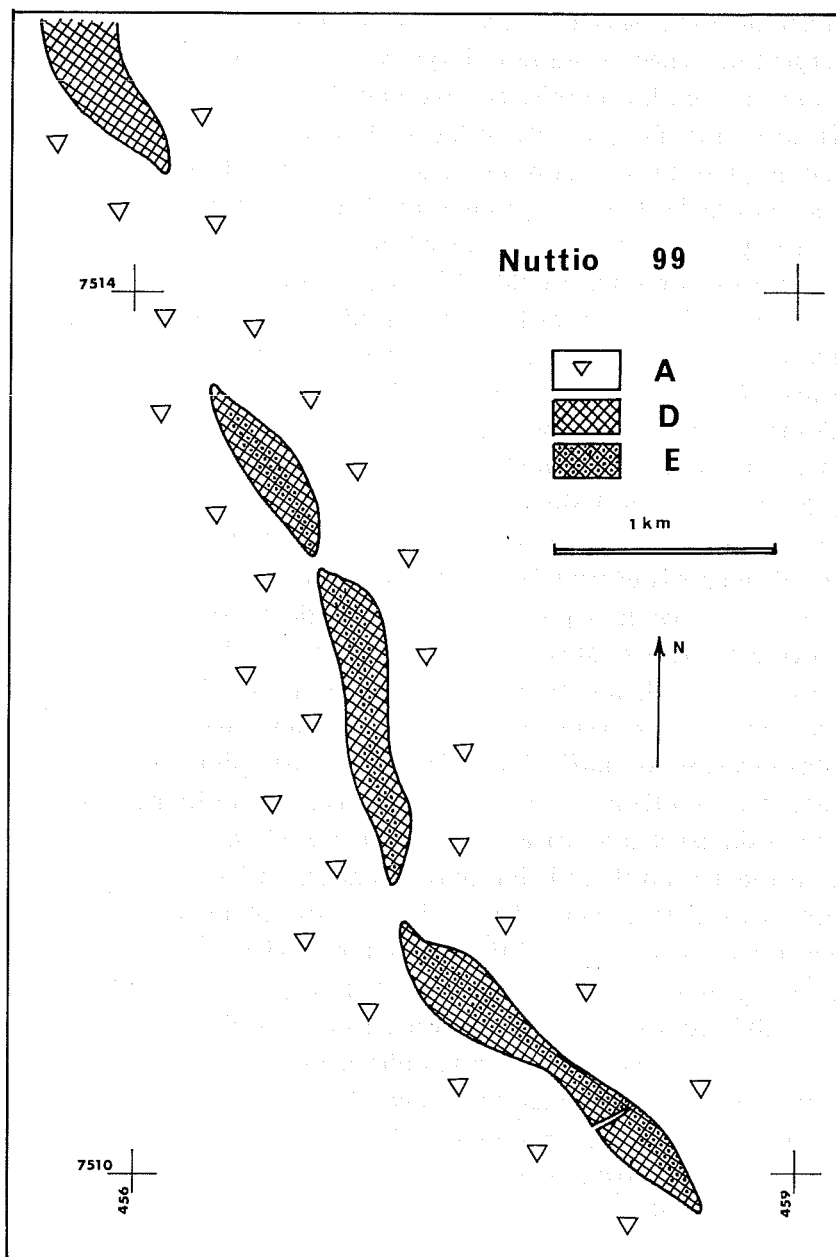
kairanreikä

	A
	B
	C
	D

1 km

Kairausprofiileja





Kuva 7. Nuttion alueen ultramafiittien esiintyminen vihreäkiven yhteydessä. A = vihreäkivi, D = serpentiiniitti, E = duniitti.

Fig. 7. Ultramafic bodies in greenstone of the Nuttio area. A = greenstone, D = serpentinite, E = dunite.

Kuva 6. Moskuvaaran alueen karttakuva sekä kairausprofiileja, joissa on kaavamaisesti esitetty kivilajisuhteet sekä kairausnäytteiden sulfidianalyseistä laskettuja Ni/Cu -suhdelukuja keskiarvoina eri kivilajiyksiköille. A = peridotiitti, B = vihreäkivi, C = fylliitti, D = mustaliuske. (Kenttähavaintoja täydennetty Outokumpu Oy:n suorittamien kairausten perusteella).

Fig. 6. Geological map and drill holes of the Moskuvaara area. A = peridotite, B = greenstone, C = phyllite (fine-grained tuffite), D = black schist: kairanreikä = diamond drill hole. Rock types in cross out: fylliitti = phyllite, grauvakkaliuske = graywacke-schist, vihreäkivi = greenstone, klo-antof.kivi = chlorite-antophyllite rock. The numbers in boxes indicate averages of the ratio Ni to Cu of each rock type calculated from the sulfide analyses.

ovat jakson eteläreunalla; keskellä ja pohjoisreunalla tavataan kivessä vielä muuttumaton-
ta oliviinia. Serpentiiniytyneessä osassa esiintyy myös asbestijuonia. Huomionarvoisena
piirteenä Nuttiossa on sen kiisupitoisuus, joka näyttää olevan korkeimmillaan jakson
eteläosassa. Kiisut esiintyvät sekä erittäin hienojakoisena pirotteena että myös hiukan
karkeampina sulfidipisaroina, joissa päämineraali on pentlandiittia, kun taas hienojakoi-
sessa pirotteessa on heazlewoodiittia ja milleriittiä. Ultramafiittijakson pohjoispäässä
kiisuja on vähän ja pentlandiitti puuttuu niistä miltei tyystin. Kiisun analyysien mukaan
eteläpäässä rikkipitoisuus vaihtelee 0,08–0,19 % ja sulfidinen Ni 1017-1708 ppm.

Nuttion kivien silikaatit ovat keskimäärin hiukan Ni-köyhempiä kuin Moskuvaar-
assa (Ni keskiarvo 1462 ppm) vaikka oliviinin rautapitoisuus onkin erittäin alhainen,
keskimäärin vain 2,44 %. Oksideina eteläisemmässä pähkussa on magnetiittia ja pohjoi-
semmassa sekä magnetiittia että kromiittia.

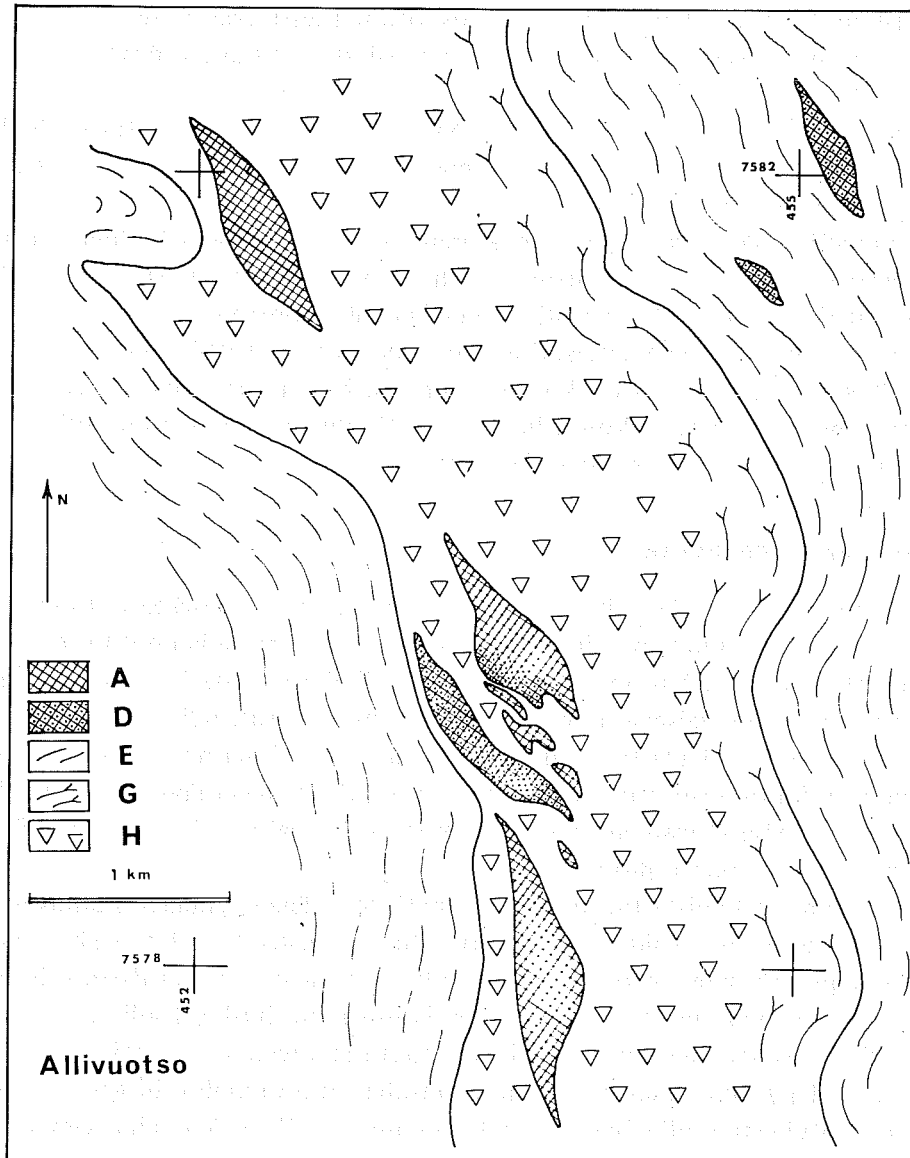
Sattasvaara kuuluu Mikkolan (1941) mukaan Sodankylän vihreäkivialueeseen.
Se poikkeaa sekä Nuttiosta että Moskuvaaran peridotiiteista pääkivilajinsa perusteella
sillä *Sattasvaara* on kloriitti-amfibolikiveä, jossa primääristä klinopyroksenia on vain
satunnaisesti ja oliviinia siis ei lainkaan. *Sattasvaara* on primaarikoostumukseltaan il-
meisesti perkniittiä vastaava ja happamampi kuin Nuttio tai Moskuvaaran peridotiitit tai
duniitit, mutta rinnastettavissa Moskuvaaran kloriitti-antofylliittikiviin. Siinä esiintyy
selvää vulkaanista breksiarakennetta, joka on nähtävissä mm. *Sattasvaaran* länsirinteellä
ja vaaran päällä. *Sattasvaaran* päällä on todettavissa kolme lävistävää juonta, jotka
koostumukseltaan ovat myös amfiboli-kloriittikiviä, mutta niiden amfiboli on kuitenkin
rautarikkaampaa kuin isäntäkivessä oleva amfiboli. Nähtävästi juonet kuuluvat ympäris-
tössä olevaan vihreäkiviekstrusiosarjaan. *Sattasvaaran* eteläosassa olevan ultramafiitin
läheisyydessä on todettu mustaliuskeita, mutta varsinaisen *Sattasvaaran* alueella ym-
päristö on vihreäkiveä. *Sattasvaaran* kivi on siis varmasti alkuperältään ekstrusiivinen.

Yhteenvetona voidaan tässä esittää, että »vihreäkivivulkanismissin» Keski-Lapissa
liittyy kahden tyyppisiä ultramafiitteja: 1) *duniitteja* ja *peridotiitteja*, jotka ovat ser-
pentiiniytyneet, talkkiutuneet tai karbonaattituneet. Ne esiintyvät pitkinä tasapaksui-
na kerroksina ja linsseinä. Todettujen lävistyssuhteiden perusteella ja selvien ekstrusiiv-
virakenteiden puuttuessa niitä on pidettävä vulkaniittisarjaan liittyvinä, lähelle pintaa
intrudoituneina hypoabyssisinä kerrosjuonina. 2) *ekstrusiivisia kloriitti-antofylliittikiviä*,
jotka vastannevat primaarikoostumukseltaan pyrokseniitteja ja ovat siis kaikkein emäk-
sisimpiä pinnalle saakka tulleista ekstrusiiveista.

Ultramafiitit amfiboliittien yhteydessä

Repokairan vyöhykkeen kivilajien voimakkaan metamorfoosin takia ultramafiit-
tien alkuperä on pulmallinen. Oheinen kuva 8 Allivuotson peridotiittipahkuista antaa
esimerkin niiden esiintymistavoista. Vaikka ympäristön kivilajit ovatkin suurelta osin
migmatiittituneita kiillegneissejä, on ultramafiittipahkujen isäntäkivenä vihreäkivi, joka
jakson koillisreunalla muuttuu amfiboliitiksi. Kysymyksessä ei kuitenkaan ole yksinomaan
metamorfoosiasteen lisäys, sillä amfiboliitti on ilmeisesti selvästi Ca-riikkaampaa kuin
vihreäkivi. Ultramafiitit ovat joko peridotiitteja, jotka ovat eri asteisesti serpentiiniyty-
neitä tai ns. karbonaatti-ortopyrokseniitteja (sagvandiitteja), joita esiintyy samoissa mas-
siiveissa peridotiittien kanssa.

Tämän Allivuotson vihreäkivijakson jatkeella luoteeseen mentäessä on Nirroselän
suuri ultramafinen kivilajikompleksi sekä siitä eteenpäin on mm. Verdijoen varressa,



Kuva 8. Allivuotson alueen geologinen kartta. A = karbonaattiortopyrokseniitti, D = peridotiitti, E = kiillegneissi, G = amfiboliitti, H = vihreäkivi.

Fig. 8. Geological map of the Allivuotso area, an example of the ultramafic bodies in greenstone environment. A = carbonate-orthopyroxenite (sagvandite), D = peridotite, E = mica gneiss, G = amphibolite, H = greenstone.

Nautajoella ja Hopeajärven alueella ultramafiitteja, joita Suomen Malmi on kairannut 1960-luvun lopulla asbestiaiheidien perusteella. Tätä kivilajijaksoa luonnehtivat amfiboliittit, jotka osin ovat vihreäkivimäisiä, osittain taas raitaisia ja vaihettuvat sarvivälkegneisseiksi. Amfiboliittien yhteydessä on siellä täällä diopsidi-skapoliitti-tremoliittikarsia, mikä antaa viitteen amfiboliittien sedimenttisestä alkuperästä. Mustaliuskeet tai puhtaat grafiittiliuskeet aiheuttavat selvät sähköiset anomaliat, jotka Outokumpu Oy:n suorittamien matalalentomittausten perusteella ovat jakson geofysikaalisena johtohorisonttina. Mustaliuskeet ovat suurelta osin kiillegneissien yhteydessä. Kun kuitenkin kivilajiassosiaatioon

kuuluu mustaliuskeiden ja karsien lisäksi myös satunnaisesti kvartsiitteja, tulee helposti mieleen, että kysymyksessä olisi epikontinentaalifasiesta edustava vyöhyke ja sen kivilajiseurue.

Repokairan jakson ultramafiitit ovat Nirroselkää lukuunottamatta suhteellisen pienikokoisia linssejä, jotka ovat yleensä voimakkaasti serpentiniytyneitä ja sisältävät monin paikoin myös asbestia.

Ultramafiitit näyttävät koko Repokairan jaksossa liittyvän enemmän tai vähemmän metamorfoituneeseen amfiboliittiin tai vihreäkiveen, joten ilmeisesti Repokairan jaksossa on ultramafiiteilla selvä (stratigrafinen?) kivilajikontrolli.

Samantyyppisiä kivilajiassosiaatioita on todettu mm. Kittilän Puljutunturin jaksossa, jossa tosin serpentiniitit ovat kiisupitoisempia. Niin ikään Koilliskairassa olevat ultramafiitit sangen monissa paikoissa liittyvät amfiboliittivyöhykkeisiin, jotka nekin ovat enemmän tai vähemmän metamorfoituneita.

Ultramafiitit ruhjevyyhykkeissä

Kun ultramafisen sulan kiteytymislämpötila on, erittäin korkea ja toisaalta ultramafiittien ympäristöstä puuttuvat indikaatiot korkeista intruusiolämpötiloista, on yleisesti hyväksytty ajatus, että ultramafiitit tietyissä PT-olosuhteissa ja korkean vesihöyrönpaineen vaikutuksen alaisena hydrautuvat, serpentiniytyvät, talkkiutuvat jne. ja tämän seurauksena ne muuttuvat plastisesti deformativiksi. Tällaisina ne saattavat ympäristön jännityskentän vaikutuksesta vähitellen muokkautua täyttämään jäykempien kivilajien murtumakohtia ja näin stressikentän vaikutuksesta voi tapahtua »kylmä intruusio» sopivia deformatiovyöhykkeitä pitkin.

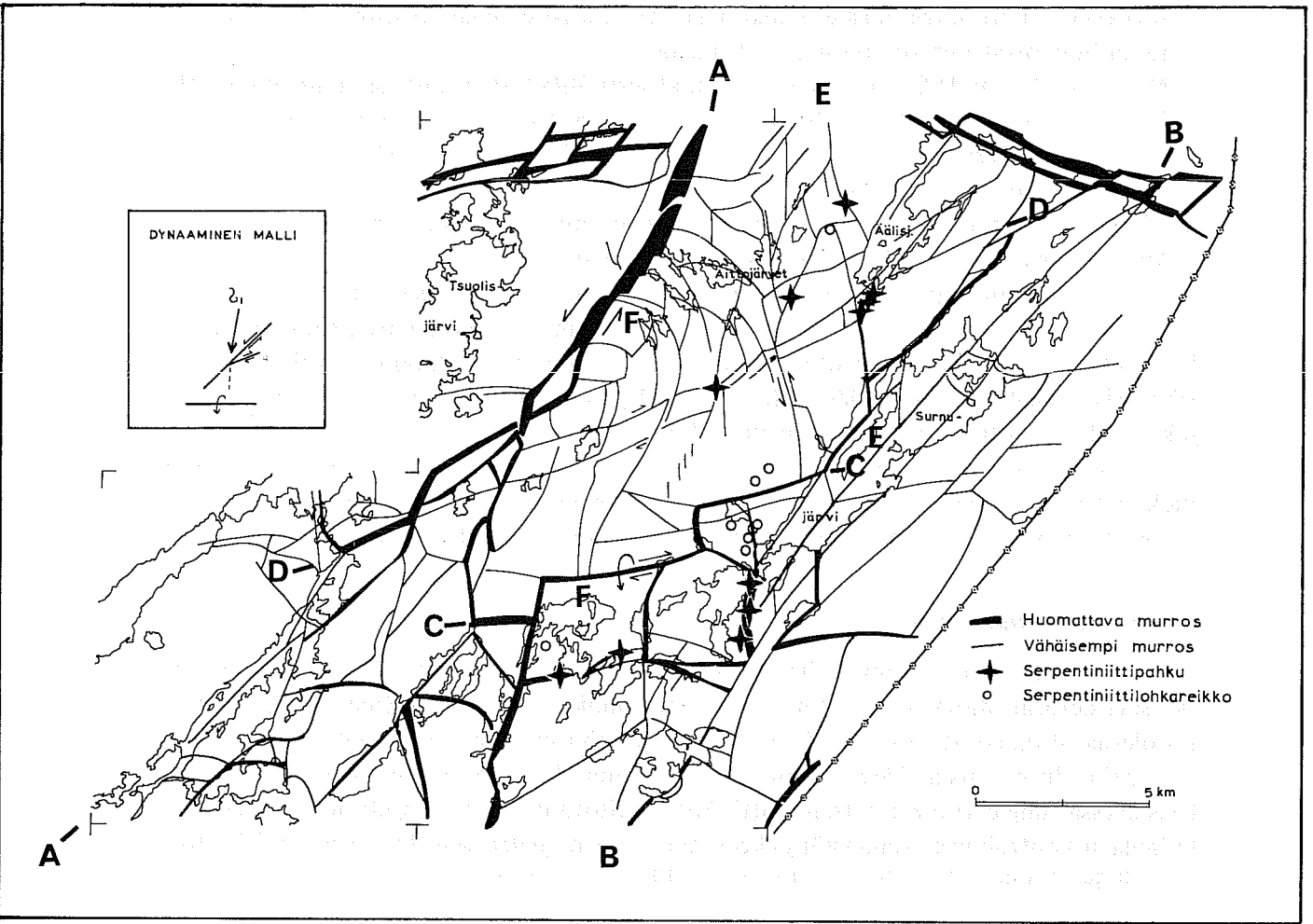
Luokiteltaessa Lapista tutkittuja ultramafiitteja tähän ryhmään kuuluvaksi, on edellytetty, että maastossa voidaan topografian tms. perusteella todeta fraktuurivyöhyke, joka olisi sopiva »kylmän intruusion» kontrolli. Sensijaan ultramafiittien esiintyminen lineaarisina vyöhykkeinä niin kuin esimerkiksi Länsi-Inarin liuskejaksolla ei sinänsä merkitse, että niiden esiintyminen olisi jonkin fraktuurirakenteen kontrolloima, sillä tietyt stratigrafiset kivilajiyksiköt esiintyvät samalla tavalla. Fraktuureihin liittyviä ultramafiitteja todettiin erityisesti Koillis-Inarissa, Vätsärin alueella. Kun tämä alue samalla on luonnontilainen, vähäkasvustoinen ja glasiaaliset muodostumat ovat suhteellisen niukkoja se muodosti sopivan kohteen kaukokartoitusmenetelmien soveltamiselle ultramafiittien kontrollivyöhykkeitä etsittäessä.

Vätsärin tienoon deformaatiokuva (Jouko Talvitie)

Kuvassa 9 esitetty Vätsärin alueen murroskartta on laadittu topografikartan perusteella. Murroksia merkittäessä on painotettu niiden topografista merkittävyyttä siten, että vahvoiksi murroksiksi merkityt vyöhykkeet esiintyvät maastossa erittäin selvinä laakso- tai rinnealueina.

Suuntauksensa mukaisesti murrokset luokitellaan seuraavasti:

1. 40° -suuntaiset alueen pääruhjeet, jotka on merkitty kartalle A-A ja B-B. Satelliittikuvien perusteella niiden pituudet ovat yli 100 km, ja nämä kaksi murrosta kuuluvat siis leveämpään murrosparveen.
2. 70-80° -suuntaiset murrokset, jotka näyttävät jäävän edellämaitun ruhjeparven sisäiseksi ilmiöiksi. Niistä topografisesti merkittävin on C-C, jonka kulku on porrasmaisesti



Kuva 9. Vätsäriin alueen murroskartta (J. Talvitie).

Fi g. 9. Fracture map of the Vätsäri area. Compiled by J. Talvitie on the basis of topographic maps and aerial photos. (Huomattava murros = major fracture zone, vähäisempi murros = minor fracture zone, serpentiniittipahku = serpentinite body, serpentiniittilohkareikko = serpentinite boulders).

katkeileva. Saman suuntainen ja yhtä lailla katkeileva joskin heikommin polveileva on pohjoisempaan esiintyvä murros D-D.

- 340-350° -suuntaiset murrosvyöhykkeet, joista karttaan on merkitty E-E, vaikuttavat nekin olevan päämurrosvyöhykkeitten väliin jääviä.
- Kaarevat liuskeisuuden kulun mukaiset fraktuurit F-F.
- F-F:n itäpuolella on nähtävissä en echelon tyyppinen murros. Myös muissa likimain N-S suuntaisissa murroksissa esiintyy tensionaalisia piirteitä.
- Kartan N-laidalla näkyy osa huomattavasta 290-300° suuntaisesta murrosvyöhykkeestä.

Kartan tasokuviossa voidaan havaita lähinnä horisontaaliset siirtymät. Näistä on indikaatioita seuraavasti:

- F-F taipuu pääruuhetta A-A vasten vasenkätisen laahuspoimun tapaan.
- F-F kaareutuu S-muotoisesti. Eri suuntiin kaareutuvien osien käännepeisteessä F-F murrosta leikkaa 70-80° suuntainen murros D-D, joka tämän perusteella on oikeakätinen. D-D:n kanssa yhdensuuntaisessa murrosvyöhykkeessä C-C on kenttätöiden yh-

teydessä todettu loivia liuskeisuuden kaateita ja loivasti itään kaatuvia poimuakseleita, jotka indikoivat ylityönnön mahdollisuutta.

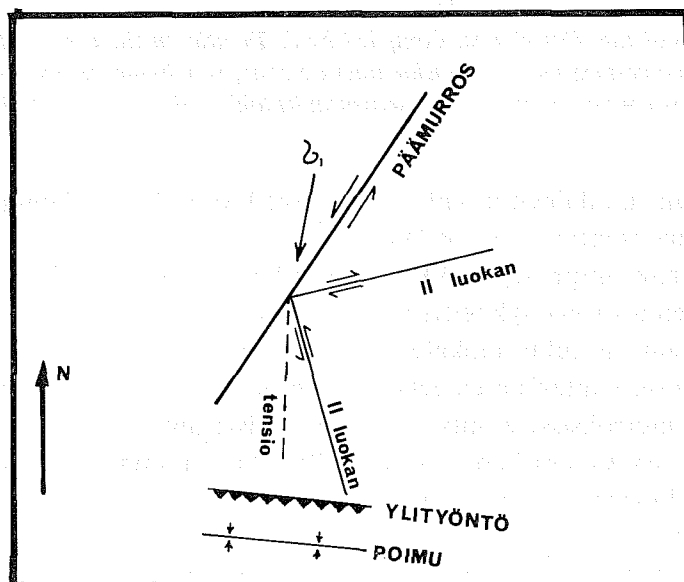
3. Murrokset C-C ja D-D porrastuvat vasenkätisesti $340-350^\circ$ suuntaisia murroksia pitkin, joista esimerkkinä on E-E. Näitä oikeakätisiä murroksia ($70-80^\circ$, esim. D-D ja C-C) ja vasenkätisiä murroksia ($340-350^\circ$, esim. E-E ja F-F) pitkin ovat päämurrosvyöhykkeitten väliin jääneet pienlohkot siirtyilleet.
4. Likimain N-S suuntaisesti syntyneet en echelon murrokset ovat tensioaalisia. Kuitenkin myös suunta $340-350^\circ$ saattaa olla tensioaalinen.

Stressikenttä, joka on synnyttänyt edellä kuvatut murrokset, on myös aiheuttanut poimutusta (akseli n. E-W) ja tämä indikoi suurimman puristuksen suuntautuneen likimain N-S -suunnassa. Kun otetaan huomioon päämurrosten luonne ja toisen luokan siirroksista edellä mainitut päätelmät, on alueella ollut vallitsevana yksi deformatiofaasi, joka voidaan esittää dynaamisena mallina (kuva 10).

Ultramafiset intruusiot esiintyvät murrosten C-C, D-D ja E-E alueella, siis toisen luokan murrossysteemissä. Toisaalta likimain N-S suuntaisten tensioaalisten tilojen muodostuminen on tarjonnut ultramafisille kiville sopivat purkauskanavat.

Ultramafisten kivien asema

Deformaatiosysteemin selvittely sinänsä ei lopullisesti selvitä ultramafiittien syntyä sillä deformaatiovyöhykkeet saattavat kontrolloida sekä syvältä (manttelista) peräisin olevaa ultramafiittia että myös esim. vulkanismiin liittyneen ultramafiitin metamorfista delokalisoitumista. Tätä tyyppiä edustavat mm. Tulppion länsipuolella amfiboliittia lävistävässä ruhjeessa oleva ultramafiitti. Myös Peltotunturin alueen ultramafiitteja nykyisellään kontrolloivat ruhjevyöhykkeet vaikkakin ne petrologisilta ja geokemiallisilta tyypeiltään kuuluvatkin yhteen vihreäkiviin liittyvien ultramafiittien kanssa.



Kuva 10. Vätsäriin alueen dynaaminen malli (J. Talvitie).

Fig. 10. Dynamic model of the Vätsäri area (by J. Talvitie).

Kivilajiassosiaatiot tämän ryhmän intruusioissa vaihtelevat puhtaasta serpentiinitistä karbonaatti-ortopyrokseeniitteihin, peridotiitteihin ja pyrokseeniitteihin. Muutamissa ultramafiiteissa mm. Vätsärin alueella voidaan todeta erittäin karkeata spinifex-rakennetta, jossa oliviinia tai ortopyrokseena esiintyy pitkinä omamuotoisina sälöinä. Tyypiltään tämä kuitenkin ilmeisesti on metamorfista spinifexiä sillä rakennetta ei voi liittää muihin laava-alkuperästä indikoiviin rakenteisiin niin kuin primaarisessa spinifex-rakenteessa pitäisi.

Ultramafiitit sedimenttisyntyisten liuskeiden yhteydessä

Edellä mm. Vätsärin alueelta tavatut ultramafiitit esiintyvät tyypillisessä pohjan gneissigraniittiympäristössä, jossa on sulkeumanomaisia kiillegneissi- ja amfiboliittivyöhykkeitä. Kittilän eteläosassa, Kaukosen ympäristössä on suuri joukko ultramafiitteja sedimenttisyntyisten liuskeitten, kvartsiittien ja kiillegneissien keskellä. Niiden esiintymistä kontrolloinevat tektoniset vyöhykkeet, ja liittyvät näin ollen edellä kuvattuihin tyyppisiin (3a, kuvassa 3).

Kaukosen alueen ultramafiittien yhteydessä esiintyvät amfiboliliuskeet ja niiden yleinen geologinen asema antavat kuitenkin aiheen olettaa, että ympäristössä olevan Kumpu-kvartsiitin alla olisi Kittilän vihreäkiven tyyppinen muodostuma ja alueen ultramafiitit liittyisivät geneettisesti siihen, mutta ne olisivat joko ruhjeiden delokalisoimia tai sopivien vertikaalisten liikuntojen paljastamia osia alla olevasta muodostumasta.

Duniittipahkut

Kun Lapin ultramafiitti yleensä ovat kohtalaisesti tai täydellisestikin serpentiniytyneitä tai muuten muuttuneita, ovat Koilliskairan alueella tavatut muutamat duniittiset pahkut tässä suhteessa poikkeuksia. Esimerkiksi Tulppion duniitti on keskiosastaan miltei puhdas duniitti ja ainoastaan reunoiltaan serpentiniytynyt. Saman tyyppisiä ovat pohjoisempana todetut kohteet 163 ja 164. Tulppion duniitissa esiintyy raontäytteinä kvartsijuonia, jotka ovat erittäin onteloisia ja muodostuneet hienojakoisesta, miltei geelirakenteisesta kvartsista. Juonet liittynevät duniitin osittaiseen serpentiniytymiseen (serpentiniytyminen edellyttää SiO_2 :n vapautumista oliviinista), ja niiden asu osoittaa serpentiniytymisen tapahtuneen hyvin alhaisissa paineissa, so. lähellä maanpintaa. Duniittipahkut liittynevät tektonisiin vyöhykkeisiin.

Spinellcortlandiitit

Granuliittikaaren ulko- ja sisäreunalla on tavattu ultramafiitteja, joilla on mineralogisena erityispiirteenä runsas spinellin esiintyminen. Näistä pahkuista kahta ovat aikaisemmin kuvanneet Mikkola ja Sahama (1936). Vaikka oliviinia ei läheskään kaikissa tyypeissä enää ole, on yleistermi spinellcortlandiitti serpentiinipseudomorfoosin vuoksi kuitenkin paikallaan. Vaikka tähän ryhmään kuuluville kiville näyttääkin granuliitin reunavyöhyke muodostuvan otolliseksi sijaintipaikaksi, on epätodennäköistä, että reunavyöhyke kontrolloisi niiden paikalleenasettumista. Päinvastoin tuntuu ilmeiseltä, että niitä kontrolloivat samantyyppiset amfiboliittivyöhykkeet kuin lännenpänä, Repokairan alueella. Granuliittifasieksen metamorfoosi olisi näinollen ollut pääsyyllinen niiden erikoiseen mineraalikoostumukseen.

Petrologia ja silikaattimineralogia

Petrologinen luokittelu (Pekka Pihlaja)

Mikroskooppisten tarkastelujen perusteella kivet on jaettu kahteenkymmeneen pääluokkaan (taulukko 1).

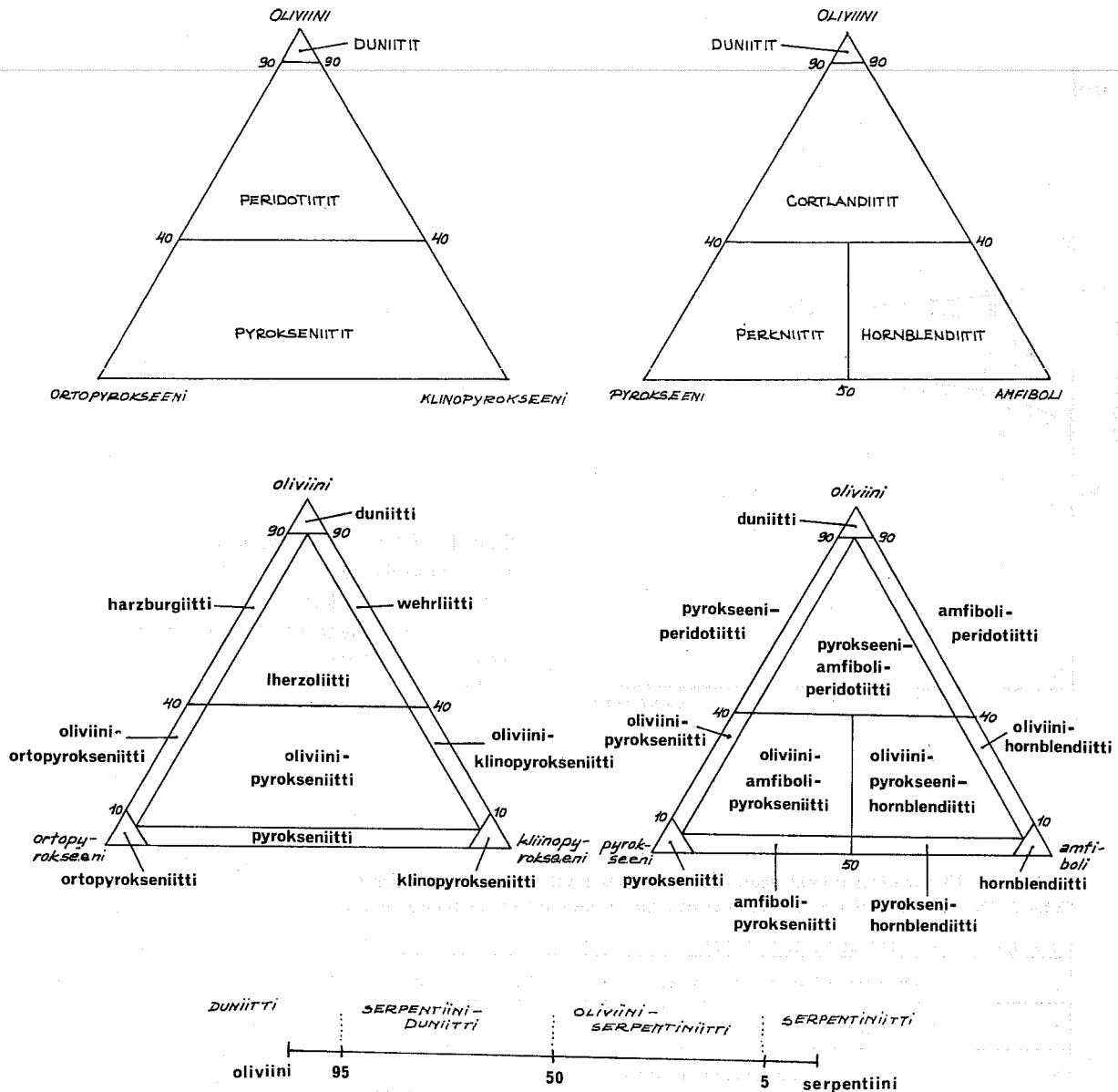
Taulukko 1. Kivilajien pääluokat.

Table 1. Main rock types.

Kivilajiluokka	lyhenne	Kivilajiluokka	lyhenne
1. Duniitit	DUN	12. Gabrot	GB
2. Pedidotiitit	PRD	13. Diabaasit	DB
3. Cortlandiitit	CORT	14. Dioriitit	DR
4. Pyrokseeniitit	PYR	15. Kvartsidioriitit	KVDR
5. Perkniiitit	PK	16. Granodioriitit	GRDR
6. Hornblendiitit	HBL	17. Amfiboliitit	AFB
7. Karbonaattiotopyrokseeniitit	KRBOPYR	18. Gneissit	GN
8. Serpentiiniitit	SP	19. Karsikivet	KA
9. Amfibolikivet	AFK	20. Vulkaniitit	VULK
10. Karbonaattikivet	KRBK		
11. Kloriittitalkkikivet (Mg-silikaattikivet)	KLOTLKK		

Ultramafiset kivet sisältyvät yhteentoista ensimmäiseen pääluokkaan. Tämä jaottelu noudattaa Streckeisenin (1974) ultramafisten syväkivien luokittelua, mutta siihen on otettu mukaan myös nimitykset cortlandiitti ja perkniitti. Duniitit on erotettu peridotiiteista omaksi luokaksi (kuva 11). Voimakkaasti muuttuneet ultramafiitit ovat luokissa 7-11 ja tämä edellyttää niin voimakasta muuttuneisuutta, ettei niitä primaarirakenteiden perusteella ole voitu sijoittaa mihinkään kuudesta ensimmäisestä luokasta. Luokat 12-16 ovat syväkiviä ja neljässä viimeisessä luokassa ovat amfoboliitit, gneissit, karsikivet ja vulkaniitit.

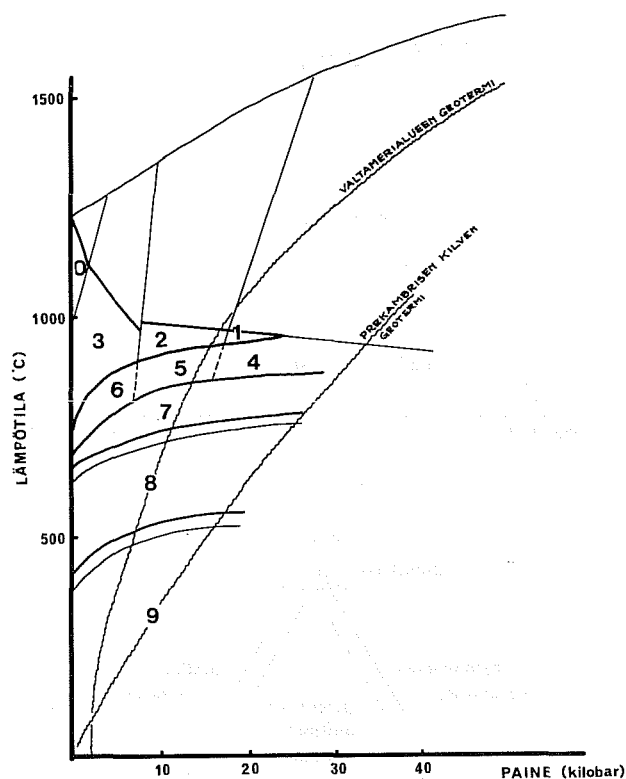
Yksityiskohtaisessa kivilajien nimeämisessä on noudatettu Streckeisenin (1974) ultramafiittien nimestä (kuva 11) mikäli kivi on muuttumaton tai heikosti muuttunut. Voimakkaasti muuttuneissa kivissä, joissa kuitenkin primaari kivilajityyppi on tunnistettavissa, on käytetty META-etuliitteitä primaarikoostumusta edustavan kivilajinimen edessä. Jossain tapauksessa on myös käytetty muuttumistuloksena olevaa mineraalinimeä kivilajiluokkanimen edessä, erityisesti silloin, kun muuttumistuloksena oleva mineraali on kivelle luonteenomainen. Mikäli kivi on niin voimakkaasti muuttunut, ettei siinä ole näkyvissä primaarista kivilajiluokasta osoittavia piirteitä, on serpentiiniytymisen kysymyksessä ollen käytetty luokkanimenä SERPENTINIITTI ja lisätty sen eteen mahdollisesti muusta karakteristisesta mineraalista johtuva lyhenne, esim. amfiboliserpentiiniitti (AFSP) tai talkki-oliviini-serpentiiniitti (TLKOLSP). Mikäli serpentiini ei ole päämineraalina, on kivilajinimitys muodostettu mineraalinimestä ja päätteestä –KIVI, esimerkiksi oliviiniamfibolikivi (OLAFK), antofylliittikarbonaattikivi (ATFKRBK), amfibolikloriittikivi (AFKLOK) ja kloriittitalkkikarbonaattikivi (KLOTLKKRBK). Näistä voimakkaasti muuttuneiden kivien nimestä on jo suoraan nähtävissä niiden pääasiallinen mineraalikoostumus. Mikäli suinkin on ollut todettavissa primaari kivilaji, on kivi pyritty sijoittamaan luokkiin 1-6. Kuvassa 11 on kaavio duniitti-serpentiiniitti sarjan kivilajinimestä.



Kuva 11. Nikkeliprojektin käyttämät kivilajinimitykset. Muunneltu Streckeisenin (1974) luokittelusta.
 Fig. 11. The nomenclature of rock types used by the project (modified from Streckeisen, 1974).

Ultramafiittien fasiaesluokittelussa käytettiin O'Haran (1967) mukaista fasiaesluokittelua, josta kuvassa 12 on esitetty pelkistettynä vesipitoisten tai korkean vesihöyrypaineen alaisten faasiin fasiaesrajat. Taulukossa 2 on ultramafiittien mineraalifasiaekset ja vastaavat metamorfiset fasiaekset. Kivilajien luetteloinnissa on käytetty taulukossa 2 olevan fasiaeksen mukaista numerointia.

Seuraavissa taulukoissa ja diagrammoissa on tilastollisesti esitetty kaikkien tutkittujen 1831 kiilloitetun ohuthieen ja 20 ohuthieen tutkimustulokset. Petrologiset tiedot on kohteittain luetteloitu ja listattu muiden datojen mukana dokumenttikokoelmassa (Papunen, 1977).



Kuva 12. Ultramafisten kivien mineraalifasieket painelämpötiladiagrammissa (O'Hara, 1976). Numerot ovat samat kuin taulukossa 3.

Fig. 12. The mineral facies of ultramafic rocks according to O'Hara (1976). The numbers refer to Table 3.

Taulukko 2. Ultramafiittien mineraalifasieket sekä vastaavat metamorfiset fasieket.

Table 2. The mineral facies of ultramafites and the corresponding metamorphic facies.

NUMERO	ULTRAEMÄKSINEN FASIES	METAMORFINEN FASIES
0	Protohypersteni-plagioklaasi-lherzoliittifasies	Sanidiniittifasies
1	Granaatti-lherzoliittifasies	Eklogiittifasies
2	Spinelli-lherzoliittifasies	Granuliittifasies
3	Ortopyrokseni-plagioklaasi-lherzoliittifasies	Pyrokseni-hornfelsfasies
4	Sarvivälke-granaatti-peridotiittifasies	Sarvivälke-eklogiittifasies
5	Sarvivälke-spinelli-peridotiittifasies	Sarvivälke-granuliittifasies
6	Sarvivälke-plagioklaasi-peridotiittifasies Sarvivälke-peridotiittifasies	Sarvivälke-hornfelsfasies Amfiboliittifasies
7	kloriitti-amfiboli-peridotiittifasies	Amfiboliittifasies Epidootti-amfiboliittifasies
8	Bastiitti-peridotiittifasies	Epidootti-amfiboliittifasies Vihreäliuskefasies
9	Serpentiniittifasies	Glaukofaaniliuskefasies

Kivilajeista

Duniiteissa oliviiniin (forsteriittia tai krysoliittia, Fe alle 10 %) tai sen muuttumistuloksena olevan serpentiinin määrä on yli 90 %. Serpentiinin lisäksi duniiteiksi nimetyissä kivissä saattaa olla kloriittia, karbonaattia, amfibojeja ja opaakkimineraaleja. Tutkituista 171 kohteesta on duniitteja 10 ja serpentiinittejä 14, joista valtaosa on koostumuksensa perusteella ollut alunperin duniitteja.

Peridotiiteissa oliviinia on yli 40 %. Harzburgiittien oliviini on krysoliittia (Fe alle 10 %) ja ortopyrokseeni enstatiittia tai bronziiittia (Fe yleensä alle 6 %). Aksessorisesti tai muuttumistuloksena on serpentiiniä, talkkia, kloriittia, amfibojeja, karbonaattia ja opaakkeja. Peridotiitteja pääkivilajinaan sisältäviä kohteita on kaikkiaan 54, näistä harzburgiitteja on 10:ssä kohteessa, joista kuitenkin vain 3 on terveitä, muuttumattomia harzburgiitteja.

Lherzoliittien, eli orto- ja klinopyrokseeniperidotiittien oliviini on krysoliittia (Fe 10-18 %) ja ortopyrokseeni bronziiittia (Fe = 6-10 %). Hyvin säilyneitä lherzoliitteja on ainoastaan yhdessä kohteessa, mutta muuttuneista metaperidotiiteista osa lienee alunperin ollut lherzoliitteja.

Klinopyrokseeniperidotiittien eli wehrlitien oliviini on krysoliittia (Fe 9-17 %), augitiitin Fe-pitoisuus vaihtelee välillä 1,5-3,5 %. Serpentiini, väritön amfiboli, kloriitti, biotiitti, talkki, karbonaatti ja flogopiitti esiintyvät sekundaareina mineraaleina ja erät tyypit sisältävät aksessorisesti vihreätä spenillia. Suhteellisen terveitä wehrlitteja on 8:ssä kohteessa, mutta metaperidotiiteissa niiden osuus lienee suurempi kuin lherzoliittien. Näiden metaperidotiittien amfibolimineraalina on tremoliitti-aktinoliittisarjaan kuuluva Fe-köyhä vaalea amfiboli (Fe useimmiten alle 2 %).

Taulukko 3. Ultramafiittien koostumusvaihtelut.

Table 3. Compositional variations of the ultramafites.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
KIVILAJI	%							
DUNIITTI (4)	35-40	< 0,1	0,1-0,5	9-11	42-52	0,01-0,50	< 0,1	-
PERIDOTIITTI (14)	35-43	0,1-0,6	1,0-3,5	6-13	28-39	1-6	0,05-0,20	0,01-0,10
HARZBURGIITTI (4)	38-43	0,1-0,4	1,0-2,5	6-10	34-39	< 2	-	-
LHERZOLIITTI (3)	37-43	0,2-0,6	2,5-3,0	9-12	32-36	2-3	-	-
WHERLIITTI (7)	35-43	0,1-0,5	1,5-3,5	10-13	28-38	3-6	0,05-0,20	0,01-0,10
CORTLANDIITTI (8)	39-43	0,1-0,6	3,5-6,5	10-16	24-29	4-8	0,5-1,0	0,01-0,20
Kivet, joissa oliviinia 40 %	35-43	0,1-0,6	0,1-6,5	6-16	24-52	0,01-8	0,00-1,00	0,00-0,20
PYROKSENIITTI (5)	46-52	0,2-0,6	1,0-3,0	7-12	20-30	2-19	0,2-1,0	0,01-0,20
ORTOPYROKSENIITTI (1)	52	0,3	3,0	12	30	2	-	0,1
KLINOPYROKSENIITTI (4)	46-51	0,2-0,6	1,0-2,5	7-12	20-22	16-19	0,2-1,0	0,01-0,20
PERKNIITTI (6)	45-48	0,3-0,6	3,0-6,0	10-12	18-25	6-15	0,1-1,0	0,01-0,60
HORNBLENDIITTI (5)	43-48	0,1-0,6	7,0-8,0	9-12	22-24	8-12	0,4-1,3	0,01-0,20
KARBONAATTI- ORTOPYROKSENIITTI (10)	34-44	< 0,1	0,1-1,5	6-12	35-42	0,05-3,00	-	0,01-0,03

Primaarista amfibolia sisältäneiden cortlandiittien oliviini on edellisiä Fe-rikkaampaa (85-64 % forsteriittia) ja amfibolin Fe vaihtelee 3-6 %. Bronziittinen ortopyrokseeni (Fe 7-10 %) esiintyy päämineraalina ja augiitti näyttää olevan bronziittia harvinaisempi (augiitin Fe 2-4 %). Vihreä spinelli on granuliittikaaren ulkokehän cortlandiiteissa yleinen aksessori, paikoin se on jopa päämineraalina. 23 cortlandiittikohteesta 11 on suhteellisen hyvin säilyneitä, sen sijaan lopuissa on runsaasti muuttumistuloksia, serpentiiniä, talkkia, kloriittia ja karbonaattia.

Pyrokseeniittien kivilajiluokasta primaarista amfibolia sisältävät perkniiitit on erotettu omaksi tyypikseen. Puhdasta ortopyrokseeniittia on yhdessä kohteessa, jossa ortopyrokseeni on bronziittia (Fe n. 7 %) ja hiukan oliviinia sisältäviä klinopyrokseeniittejä kolmessa kohteessa (augiitin Fe n. 4,5 %). Pyrokseeniittien sekundaareina mineraaleina on uraliittista sarvivälkettä, kloriittia, serpentiiniä, talkkia, biotiittia ja karbonaattia. Perkniiiteiksi sanotut amfibolipyrokseeniitit sisältävät oliviinia alle 40 % ja pyrokseenia enemmän kuin amfibolia. Oliiviini sisältää 78-74 % forsteriittia, mutta muuttuneissa perkniiiteissä vain n. 65 %. Terveissä kivissä amfibolin Fe-pitoisuus vaihtelee 3,5-7,5 %, mutta muuttuneissa kivissä saattaa olla jopa 12 %. Perkniiittia pääkivilajina sisältäviä kohteita on 17, joista viidessä kivet ovat muuttumattomia.

Hornblendiiteissa amfibolia on enemmän kuin pyrokseeniä ja amfibolin Fe vaihtelee 3,6-4,5 %, augiitin 1,5-3,0 % ja ortopyrokseenin rautapitoisuus 7,5-10,5 %. Oliiviniissa on 85-65 % forsteriittia. Muuttumistuloksina on kloriittia, serpentiiniä ja talkkia. Hornblendiittikohteita on kaikkiaan 6.

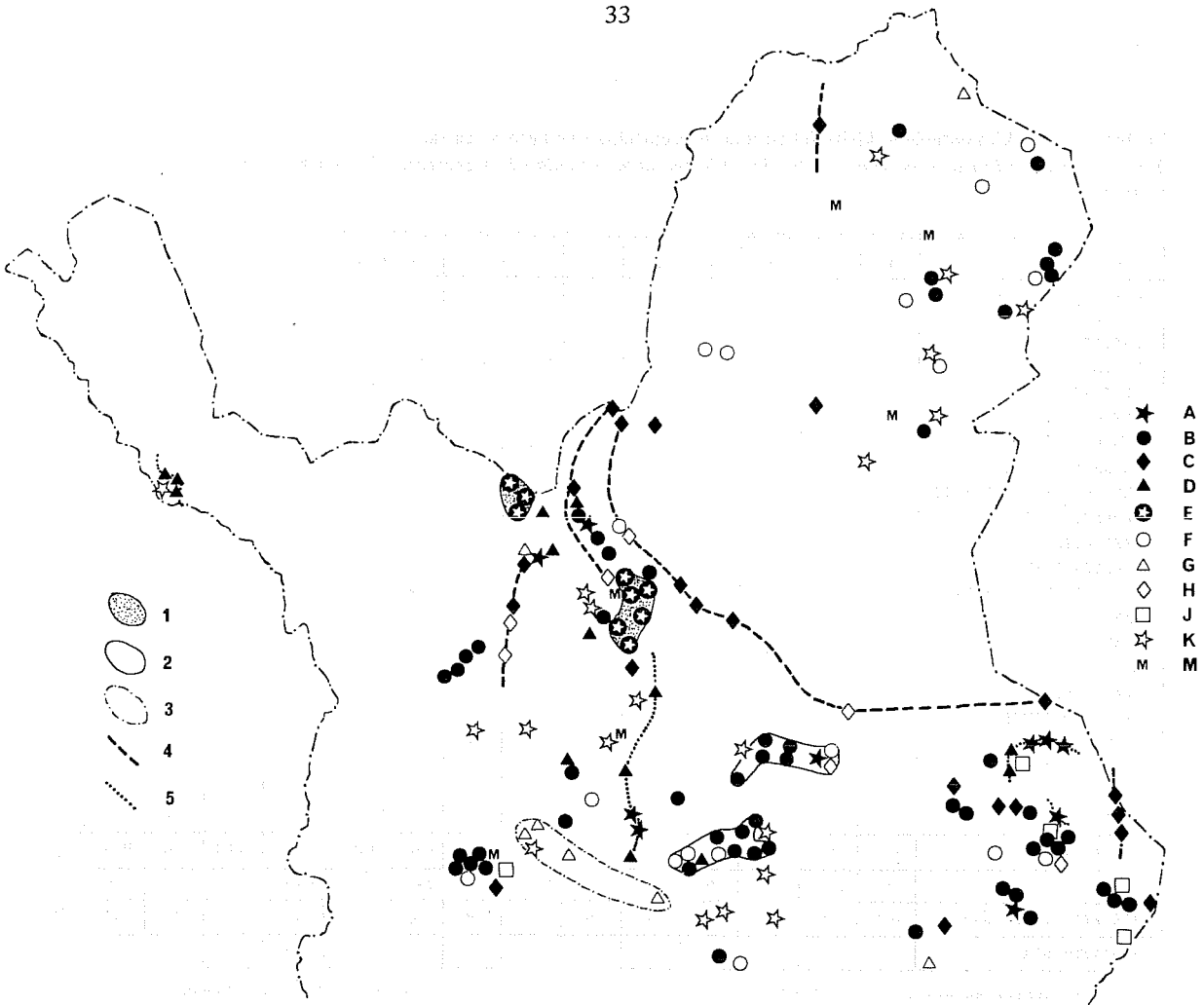
Taulukossa 3 on esitetty erilaisten ultramafisten kivien kemiallisen koostumuksen vertailua muuttumattomista tai lievästi muuttuneista kivistä tehtyjen määritysten perusteella. Eri ultramafiiteille tunnusomaisia piirteitä ovat taulukon mukaan seuraavat: Peridotiittiset kivet (duniitit, peridotiitit ja cortlandiitit) erottuvat omaksi ryhmäkseen alhaisen SiO_2 -pitoisuutensa perusteella. Keskinäistä eroa duniiteille, cortlandiiteille ja peridotiiteille saadaan tarkastelemalla niiden Al-, Mg-, Na- ja osin myös Ca-pitoisuuksia. Pyrokseeniittejä, perkniiittejä ja hornblendiittejä erottavat toisistaan erilaiset Al-, Mg-, Ca- ja Na- pitoisuudet. Metamorfiset karbonaattiortopyrokseeniitit (sagvandiitit) ovat koostumukseltaan (kationisuhteiltaan) lähellä harzburgiitteja ja duniitteja. Kaikki projektin aikana tehdyt n. 400 silikaattianalyysia on kohteittain järjestettynä taulukkona dokumenttikokoelmassa (Papunen, 1977).

Tutkimuskohteiden petrologinen luokittelu

Kuvassa 13 on esitetty tutkimuskohteiden petrologinen luokittelu siten, että näkyviin on merkitty kohteen pääkivilaji tai merkityksellisin kivilajityyppi.

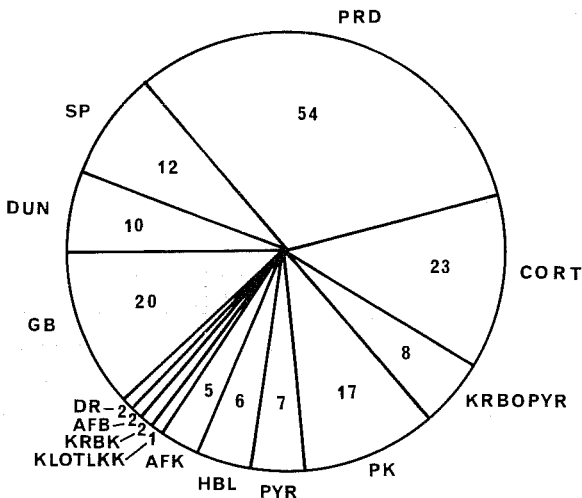
Taulukossa 4 on esitetty ohuthiiden perusteella määritetyt kivilajit jokaisessa kohteessa (prosentteina näyte- tai hiemäärästä). Nämä prosenttiosuudet eivät aina anna täysin oikeata kuvaa eri kivilajien runsaudesta itse kohteessa, koska näytteitä otettiin kaikista kivilajityypeistä ja myös sivukivistä edustavasti. Valtakivilaji-sarakkeeseen onkin merkitty kartoittajan tekemä havainto kohteen pääkivilajista. Tutkitut sivukivinäytteet on merkitty +:lla. Samassa kartoituskohteessa saattaa olla useita erillisiä ultramafisia pahkuja ja näistä valtakivilajista poikkeavat pahkut on merkitty huomautuksia-sarakkeeseen.

Kuvassa 14 on esitetty kaikkien 171 kartoituskohteen valtakivilajien prosentuaalinen jakauma.



Kuva 13. Tutkimuskohteiden luokittelu petrograafisin perustein, sekä tietyn kivilajin luonnehtimat vyöhykkeet ja alueet. A = duniitit, B = peridotiitit, C = cortlandiitit, D = serpentiinit, E = karbonaatti-ortopyrokseniitit, F = perkniiitit, G = pyrokseniitit, H = hornblendiitit, J = amfibolikivet, K = gabrot, M = muut. Kivilajivyöhykkeet: 1 = karbonaattiortopyrokseniittialue, 2 = vulkaniittialue, 3 = pyrokseniittialue, 4 = cortlandiittivyöhykkeet, 5 = duniittivyöhykkeet.

Fig. 13. Classification of the investigated bodies on a petrological basis (prevailing rock type of each body indicated): The areas and zones characterized by a certain rock type are also delineated on the map. Rock types: A = dunite, B = peridotite, C = cortlandite, D = serpentinite, E = carbonate-orthopyroxenite, F = perknite, G = pyroxenite, H = hornblendite, J = amphibole rocks, K = gabbro, M = other types.



Kuva 14. Kartoituskohteiden valtakivilajien prosenttijakautuma.

Fig. 14. Abundances of different rock types in the whole material studied (in percentage).

Taulukko 4. Tutkimusalueiden kivilajijakautuma prosentteina hienäytelmästä.

Table 4. Distribution of rock types in the investigated areas calculated in percentages from the number of thin sections.

K O H D E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
K I V I L A J I - L U O K K A															
DUNIITTI		8							3	10	7				
PERIDOTIITTI	3	4				50	100	83	51	10	7	8	9		
CORTLANDIITTI	2	21	25					17				46	46		
PYROKSENIITTI														56	
PERKNIITTI	10	4							5	10			27		
HORNBLENDIITTI	3	4				17				50	40	23		11	
KRB-ORTOPYROKSENIITTI															100
SERPENTINIITTI	1	29	75	83		33			24		20	8		11	
AMFIBOLIKIVI		8							8						
KARBONAATTIKIVI		4										8		11	
KLORIITITALKKIKIVI				17					8	10			18	11	
GABRO	79				100					10	27	8			
DIABAASI	1	17													
DIORIITTI											+				
KVARTSIDIORIITTI											+				
GRANODIORIITTI															
VULKANIITTI	+	+						+							
AMFIBOLIITTI	+	+											+	+	
KARSI															
GNEISSI													+		
VALTAKIVILAJI	GB	SP	SP	SP	GB	PRD	PRD	PRD	PRD	HBL	HBL	CORT	CORT	PYR	KRB- OPYR
FASIES	7	7-9	9	9	7	8	7-8	9	7-9	7	6-8	7	8	6	7
HIENÄYTEIDEN MÄÄRÄ	101	27	4	6	4	6	5	8	45	13	15	13	14	11	10
HUOMAUTUKSIA		1								2	3				

1) Kohteessa erillinen CORT-pahku
2) Kohteessa DR-alue

3) Kohteessa erillinen PRD-pahku

K O H D E	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
K I V I L A J I - L U O K K A															
DUNIITTI		60	12		25	5									
PERIDOTIITTI			4	12	5	44	50							22	83
CORTLANDIITTI				8										19	17
PYROKSENIITTI														3	
PERKNIITTI					1	5					50	10			
HORNBLENDIITTI			2	8	1		11					22	100	25	
KRB-ORTOPYROKSENIITTI	56					5	44			29		48			
SERPENTINIITTI		20	42	44	62	77					50			25	
AMFIBOLIKIVI	11		2	4						29		5			
KARBONAATTIKIVI	22	20	25	20	9					29				6	
KLORIITITALKKIKIVI	11		12	4	3					14		5			
GABRO						5		50	100						
DIABAASI					1										
DIORIITTI															
KVARTSIDIORIITTI															
GRANODIORIITTI						+									
VULKANIITTI															
AMFIBOLIITTI		+	+	+		+	+			+	+	+	+	+	+
KARSI														+	
GNEISSI					+							+	+		+
VALTAKIVILAJI	KRB- OPYR	DUN	SP	SP	SP	SP	KRB- OPYR	GB	GB	KRB- OPYR	AFB	KRB- OPYR	HBL	PRD	PRD
FASIES	7-9	7-9	8-9	8-9	8-9	9	7	8	7	7-9	7	7	7	6-9	7-8
HIENÄYTEIDEN MÄÄRÄ	9	6	59	27	176	24	10	2	1	10	10	49	4	37	9
HUOMAUTUKSIA					1,2	3	3					4			

1) Kohteessa erillinen SP-pahku
2) Kohteessa erillinen DUN-pahku3) Kohteessa erillinen PRD-pahku
4) Kohteessa erillinen CORT-pahku

Taulukko 4. Jatk.
Table 4. Contd.

K O H D E	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
K I V I L A J I - L U O K K A															
DUNIITTI	64	13													
PERIDOTIITTI	7	44						22	9			46		56	
CORTLANDIITTI	7	26		73								46	40	12	20
PYROKSENIITTI														17	
PERKNIITTI									4				1	7	40
HORNBLENDIITTI			20	27								8	57		40
KRB-ORTOPYROKSENIITTI	7	4							39	75					
SERPENTINIITTI	14	13	60					67	22					7	
AMFIBOLIKIVI															
KARBONAATTIKIVI						100		11	13	13					
KLORIITTITALKKIKIVI									9						
GABRO					100		100		4		100		1		
DIABAASI															
DIORIITTI											12				
KVARTSIDIORIITTI															
GRANODIORIITTI															
VULKANIITTI					+	+									
AMFIBOLIITTI			+	+					+	+					
KARSI				+											
GNEISSI						+									+
VALTAKIVILAJI	DUN	PRD	SP	CORT	GB	KRBK	GB	SP	KRB- OPYR	KRB- OPYR	GB	CORT	CORT	PRD	HBL
FASIES	7-8	5-9	9	7	8	8-9	7	8	7-9	7-8		5-7	5-7	7	5-7
HIENÄYTYTEIDEN MÄÄRÄ	14	23	8	16	4	7	7	10	27	8		13	70	41	6
HUOMAUTUKSIA												1			

1) Kohteessa erillinen PRD-pahku

K O H D E	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
K I V I L A J I - L U O K K A															
DUNIITTI															
PERIDOTIITTI	25				83	48	36	90	67	20				40	60
CORTLANDIITTI		78	100	68		3						50			10
PYROKSENIITTI	25	11											100		10
PERKNIITTI	50	11				13	45	5	33	20				10	
HORNBLENDIITTI				5		13								20	
KRB-ORTOPYROKSENIITTI															10
SERPENTINIITTI						10		5							
AMFIBOLIKIVI										20				40	
KARBONAATTIKIVI					17		18			20					
KLORIITTITALKKIKIVI										20					
GABRO				27		13									
DIABAASI															
DIORIITTI															
KVARTSIDIORIITTI															
GRANODIORIITTI															
VULKANIITTI															
AMFIBOLIITTI															
KARSI				+											
GNEISSI		+		+											
VALTAKIVILAJI	PK	CORT	CORT	CORT	PRD	PRD	PK	PRD	PRD	PRD	LOTLIK	CORT	PYR	AFK	PRD
FASIES	5	5-7	5	5	8	6-9	7	8-9	7-8	8-9		7	7	8	7
HIENÄYTYTEIDEN MÄÄRÄ	4	10	12	30	6	31	11	21	6	5		2	4	5	10
HUOMAUTUKSIA							1							1	

1) Kohteessa erillinen PRD-pahku

Taulukko 4. Jatk.

Table 4. Contd.

K O H D E	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
K I V I L A J I - L U O K K A															
DUNIITTI		33		43	33		17								
PERIDOTIITTI	33	33	100	29	67	33	67	100				50	89	71	
CORTLANDIITTI	33									80					
PYROKSENIITTI													6	18	
PERKNIITTI	33			14									6	6	
HORNBLENDIITTI														6	
KRB-ORTOPYROKSENIITTI															
SERPENTINIITTI		33					8								
AMFIBOLIKIVI						66			100						
KARBONAATTIKIVI							8								
KLORIITITALKKIKIVI															
GABRO				14						20		50			
DIABAASI															
DIORIITTI															
KVARTSIDIORIITTI															
GRANODIORIITTI															
VULKANIITTI															
AMFIBOLIITTI															
KARSI															
GNEISSI															
VALTAKIVILAJI	CORT	PRD	PRD	DUN	PRD	AFK	PRD	PRD	AFK	CORT	PRD	PRD	PRD	PRD	PRD
FASIES	7	7-9	7	6-7	7	7-8	8	8	8	7		8	7-8	7-8	
HIENÄYTTEIDEN MÄÄRÄ	3	6	8	7	3	3	12	1	1	5		2	18	17	
HUOMAUTUKSIA	1						2								

1) Kohteessa erillinen PRD-pahku

2) Kohteessa erillinen DUN-pahku

K O H D E	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
K I V I L A J I - L U O K K A															
DUNIITTI		56			20				4						
PERIDOTIITTI		32		60	53	66			26	43	50	33			56
CORTLANDIITTI					20		33	100	30	43	25	33		100	33
PYROKSENIITTI															
PERKNIITTI		8		20		33	61						100		
HORNBLENDIITTI							6		13		25				11
KRB-ORTOPYROKSENIITTI															
SERPENTINIITTI				20											
AMFIBOLIKIVI			100		7				22	14					
KARBONAATTIKIVI									4						
KLORIITITALKKIKIVI															
GABRO	100	4										33			
DIABAASI															
DIORIITTI															
KVARTSIDIORIITTI															
GRANODIORIITTI															
VULKANIITTI															
AMFIBOLIITTI									+						
KARSI															
GNEISSI															
VALTAKIVILAJI	GB	DUN	AFK	PRD	PRD	PRD	PK	CORT	CORT	CORT	PRD	CORT	PK	CORT	PRD
FASIES	7	7	7	7	7	7-8	7	7	7-8	7	7	7	7	7	7
HIENÄYTTEIDEN MÄÄRÄ	1	25	1	5	15	3	18	3	25	7	8	3	1	2	9
HUOMAUTUKSIA		1							1						2

1) Kohteessa erillinen PRD-pahku

2) Kohteessa erillinen CORT-pahku

Taulukko 4. Jatk.
Table 4. Contd.

K O H D E	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135
K I V I L A J I - L U O K K A															
DUNIITTI															
PERIDOTIITTI	80	73	75											100	33
CORTLANDIITTI			25		67										
PYROKSENIITTI							50								
PERKNIITTI		27										25			
HORNBLENDIITTI					33		50					25			67
KRB-ORTOPYROKSENIITTI															
SERPENTINIITTI	20														
AMFIBOLIKIVI															
KARBONAATTIKIVI															
KLORIIITTIKIVI															
GABRO						100			100			50			
DIABAASI															
DIORIITTI															
KVARTSIDIORIITTI															
GRANODIORIITTI															
VULKANIITTI															
AMFIBOLIITTI															
KARSI															
GNEISSI															
VALTAKIVILAJI	PRD	PRD	PRD	PRD	CORT	GB	DR	PRD	GB	CORT	PK	GB	PK	PRD	PRD
FASIES	7-8	8	7		6	6	6		5	6		6		6	8
HIENÄYTTTEIDEN MÄÄRÄ	5	11	24		3	5	2		1			4		2	3
HUOMAUTUKSIA															1

1) Kohteessa erillinen HBL-pahku

K O H D E	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
K I V I L A J I - L U O K K A															
DUNIITTI															
PERIDOTIITTI		67		79	100	50			25			100	50		100
CORTLANDIITTI													25		
PYROKSENIITTI															
PERKNIITTI		33				17		67	75		25				
HORNBLENDIITTI				21							8				
KRB-ORTOPYROKSENIITTI														100	
SERPENTINIITTI															
AMFIBOLIKIVI														13	
KARBONAATTIKIVI								33							
KLORIIITTIKIVI															
GABRO			100			17					67			12	
DIABAASI						17									
DIORIITTI															
KVARTSIDIORIITTI															
GRANODIORIITTI															
VULKANIITTI						+									
AMFIBOLIITTI							+								+
KARSI															
GNEISSI														+	+
VALTAKIVILAJI	GB	PRD	GB	PRD	PRD	PRD	AFB	PK	PK	PRD	GB	PRD	PRD	KRD- OPYR	CORT
FASIES		8	5	7	8	8		7	6	7	6	8	7	7	7
HIENÄYTTTEIDEN MÄÄRÄ		3	10	14	11	7		3	4	1	12	4	9	1	7
HUOMAUTUKSIA									1						

1) Kohteessa erillinen PRD-pahku

Taulukko 4. Jatk.
Table 4. Contd.

K O H D E	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165
K I V I L A J I - L U O K K A															
DUNIITTI					50								70	50	100
PERIDOTIITTI	36		29	50		20		12	14		25	92	30		
CORTLANDIITTI							100		14						
PYROKSENIITTI	64	20	57	17				35							
PERKNIITTI		20				40					8				
HORNBLENDIITTI						20		18							
KRB-ORTOPYROKSENIITTI															
SERPENTINIITTI					25				72		75			50	
AMFIBOLIKIVI								12							
KARBONAATTIKIVI			14												
KLORIITTITALKKIKIVI								12							
GABRO		60		33	25	20		12							
DIABAASI															
DIORIIITTI															
KVARTSIDIORIITTI															
GRANDIORIITTI															
VULKANIITTI				+				+							
AMFIBOLIITTI															
KARSI								+							
GNEISSI															
VALTAKIVILAJI	PYR	GB	PYR	PRD	DUN	PK	HBL	PYR	SP	AFK	SP	PRD	DUN	DUN	DUN
FASIES	6	7	6	7-8	8	7	7	6-8	9		8	7	7	8-9	7
HIENÄYTTTEIDEN MÄÄRÄ	11	5	7	14	4	5	1	20	7		4	13	10	4	2
HUOMAUTUKSIA								1							

1) Kohteessa erillinen PRD-pahku

K O H D E	166	167	168	169	170	171									
K I V I L A J I - L U O K K A															
DUNIITTI															
PERIDOTIITTI	100		7			20									
CORTLANDIITTI						20									
PYROKSENIITTI						20									
PERKNIITTI				57	50	20									
HORNBLENDIITTI		100			17	20									
KRB-ORTOPYROKSENIITTI															
SERPENTINIITTI															
AMFIBOLIKIVI			20												
KARBONAATTIKIVI			40												
KLORIITTITALKKIKIVI															
GABRO			33	43	33										
DIABAASI															
DIORIIITTI				+											
KVARTSIDIORIITTI															
GRANDIORIITTI															
VULKANIITTI															
AMFIBOLIITTI		+	+												
KARSI															
GNEISSI					+										
VALTAKIVILAJI	PRD	HBL	KRBK	PK	PK	PK									
FASIES	8	5	7-8	5	5	6-7									
HIENÄYTTTEIDEN MÄÄRÄ	2	8	16	9	8	5									
HUOMAUTUKSIA						1									

1) Kohteessa erillinen PRD-pahku

Kivilajityyppien alueellinen jakautuminen

Duniitteja tai alkuperältään duniittisia serpentiniittejä on tavattu alkuosassa esitetystä kahdeksasta alueesta viideltä. Kittilän vihreäkiven ja Koilliskairan alueella niitä on runsaasti. Erityisesti Kittilän vihreäkivialueella ne ovat keskittyneet alueen itäosaan likimain N-S -suuntaiseen vyöhykkeeseen ja Koilliskairassa kahteen paikkaan: Tulppion alueelle ja kaaren muotoiselle vyöhykkeelle Naltiojokilaaksossa (kuva 13). Duniittisia ultramafiitteja on myös Nuortti-tunturin, Liesijoen ja Kuskoivan alueella sekä Länsi-Inarin liuskevyöhykkeellä Peltotunturissa ja Repokairan jaksolla. Niinikään Tšohkkoavien alueen serpentiniitit ovat alunperin duniitteja. Duniitit puuttuvat kokonaan Kittilän -Sodankylän vyöhykkeestä, granuliittialueelta sekä Koillis-Inarista.

Peridotiitteja on kaikilla osa-alueilla, kuitenkin niukimmin Tšohkkoavilla, Kittilän vihreäkivialueella sekä granuliittialueella. Länsi-Inarin liuskejaksoson peridotiitit niin Repokairassa kuin Peltotunturinkin jaksolla ovat lähes yksinomaan hartzburgiitteja, joita tavataan myös Tulppion ympäristössä. Selviä lherzoliitteja on Sattasvaaran-Moskuvaaran vyöhykkeessä Sodankylän vihreäkivialueella, samoin Martin-Savukosken vyöhykkeessä sekä granuliittialueen lounaisessa reunavyöhykkeessä. Myös wehrlitit on Sodankylän vihreäkivialueella, mutta niitä esiintyy myös Kittilän-Sodankylän vyöhykkeessä ja Koillis-Inarissa. Koska kuitenkin peridotiitit ovat yleensä voimakkaasti muuttuneita, on jaottelu lherzoliitteihin ja wehrlitititihin monesti vaikeaa ja alueellinen jakautuminen on jäänyt vaillinaisesti selvitettyksi.

Cortlandiitit ovat merkittävänä ryhmänä vain kolmella alueella. Länsi-Inarin liuskejaksolla, granuliittialueella sekä Koilliskairassa. Merkittävin ja pisin cortlandiittivyöhyke noudattelee granuliitin ulkoreunaa koko sen pituudelta, samoin sisäkaarella on merkkejä cortlandiiteista. Koilliskairan itäosassa, Nuorttitunturin alueella on N-S -suuntainen cortlandiittijakso. Cortlandiittivyöhykkeisiin liittyy myös hornblendiitteja.

Perkniittejä ei tavata lainkaan Länsi-Inarin liuskejaksolta eikä Tšohkkoavilta. Runsaimmin näitä kiviä on Koillis-Inarissa, granuliittialueella ja Sodankylän vihreäkivialueella.

Varsinainen pyrokseniittialue on Kittilän-Sodankylän vyöhyke ja sen jatke itään Savukoskelle. Samalla alueella on myös gabrovaltaisia differentioituneita intruusioita. Toinen pyrokseniittialue on Koillis-Inarissa Tsuomasvarrin alueella, jossa on myös runsaasti gabroja.

Karbonaattortopyrokseniitteja on tavattu ainoastaan Länsi-Inarin liuskevyöhykkeellä, jossa niitä on kahdella alueella: Allivuotson – Nirroselän alueella sekä Peltotunturin alueella.

Kivilajien esiintyminen eri intruusiotyypeissä

Kun verrataan alussa esitettyjä intruusiotyyppisiä (ks. s. 12) ja niissä tavattuja kivilajeja, voidaan esittää seuraava taulukko näiden yhteenkuuluvuudesta:

Intruusiotyyppi

1. a ja b
2. a
2. b

Luonteenomainen kivilajiluokka

- gabro, pyrokseniitti (perkniitti)
peridotiitti, duniitti, perkniitti
peridotiitti (hartzburgiitti), karbonaattortopy-

- | | |
|------|---|
| | rokseniitti (duniitti, cortlandiitti) |
| 3. a | peridotiitti, serpentiniitti, karbonaattiorotopyrok-
seniitti, hornblendiitti, cortlandiitti |
| 3. b | peridotiitti |
| 4. | duniitti |
| 5. | cortlandiitti, hornblendiitti |

Mineraalien koostumuksen vaihteluista

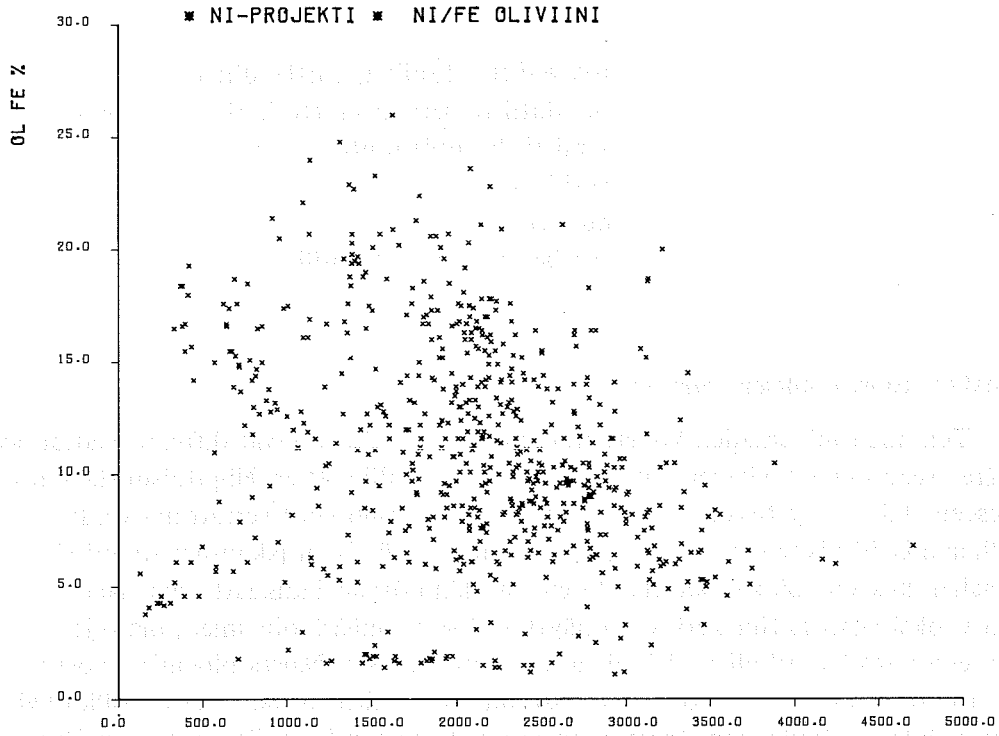
Tummien mineraalien koostumuksen vaihtelut kuvastavat differentiaation astetta ja määrää sekä myös kivilajien totaalkoostumusta. Silikaattien Ni-pitoisuutta Fe/Mg-suhteeseen (tai analyttisistä syistä pelkkään Fe-pitoisuuteen) verrattuna voidaan käyttää nikkelimalmikriittisyyden eräänä indikaattorina. Myös Ni:n jakautumista eri silikaattimineraalien kesken voidaan käyttää kiteytymislämpötilan indikaattorina (Häkli, 1971). Tämän vuoksi analysoitiin kerätyistä näytteistä suuri määrä oliviinien, orto- ja klinopyrokseenien sekä amfibolien nikkeli- ja rautapitoisuuksia. Näistä oliviinin koostumus antaa luotettavimmat arvot kokonaiskoostumuksen vaihtelun faktoreista, sillä oliviini on vain kahden päätejäsenen, forsteriitin ja fayaliitin seoskide. Sen sijaan amfibooleissa on niin suuri vaihtelu sekä koostumuksessa että myös kiderakenteessa, että sen antama informaatiota tulkittaessa olisi samalla otettava huomioon mineraalispesieksen kaikki muuttuvat tekijät.

Kuvassa 15 on esitetty kaikkien analysoitujen silikaattien koostumuksenvaihtelut. Nämä kuvaavat sinänsä vain hyvin laajaa vaihtelua ja vaatimatonta negatiivista korrelaatiota Ni- ja Fe-pitoisuuksien välillä. Intruusiokohtaisesti voidaan kuitenkin eri mineraaliparien välillä olevasta Ni:n jakaumasta määrittää kiteytymislämpötiloja ja tämän tekemiseksi on suunnitteilla ATK-ohjelma, joka tulisi käytettävissä olevan datamateriaalin perusteella laskemaan intruusiokohtaisesti näitä arvoja. Tehtävä jää kuitenkin myöhemmäksi.

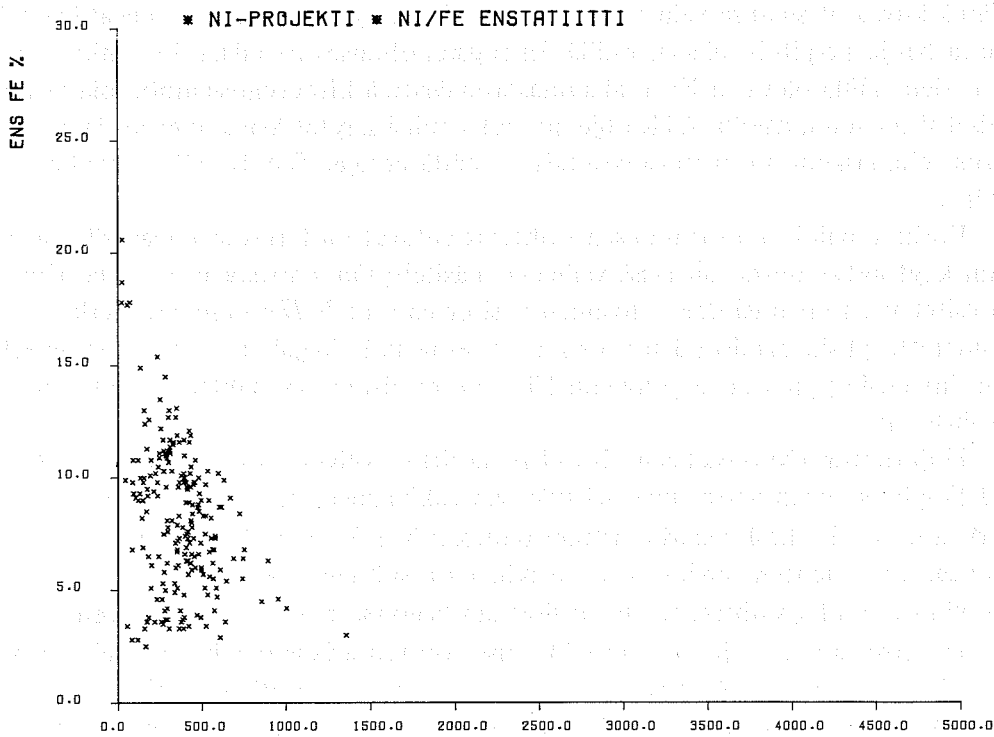
Koska oliviinin koostumuksen vaihtelut antavat luotettavan kuvan silikaattisen nikkelin käyttäytymisestä, on tässä vaiheessa käsiteltykin ainoastaan oliviinia. Kuvassa 16 on esitetty eri intruusioiden oliviinien keskimääräiset Ni/Fe -suhteet. Merkinnässä on noudatettu yksinkertaisuuden vuoksi s. 8 esitettyä aluejakoa. Kuvion perusteella voidaan intruusiotyypin ja sen oliviinin Ni ja Fe-pitoisuuksien suhteen todeta muutamia erityispiirteitä:

Puljutunturin vyöhykkeen (2c) ultramafiittien oliviinit ovat anomalisen Ni-köyhiä Fe-pitoisuuteen verrattuna. Kittilän vihreäkivialueen (3) kivissä Ni-pitoisuus on korkea ja oliviini keskimäärin erittäin rautaköyhää. Peltotunturin ja Repokairan-Pokan (2a, 2b) alueitten oliviinit ovat keskimäärin suhteellisen rautaköyhiä, mutta niiden Ni-pitoisuudet vaihtelevat intruusiottain laajoissa rajoissa. Tällä alueella on myös pari intruusiota, 27 ja 32 (kuva 1), joissa on rautarikas oliviini. Koitelaisen ympäristössä (5) ja Itä-Lapissa (6) oliviinit ovat keskimäärin suhteellisen Ni-rikkaita kun taas granuliittikaaren (7) sekä Koillis-Inarin ja Utsjoen (8) alueilla oliviinit ovat monesti Ni-köyhiä.

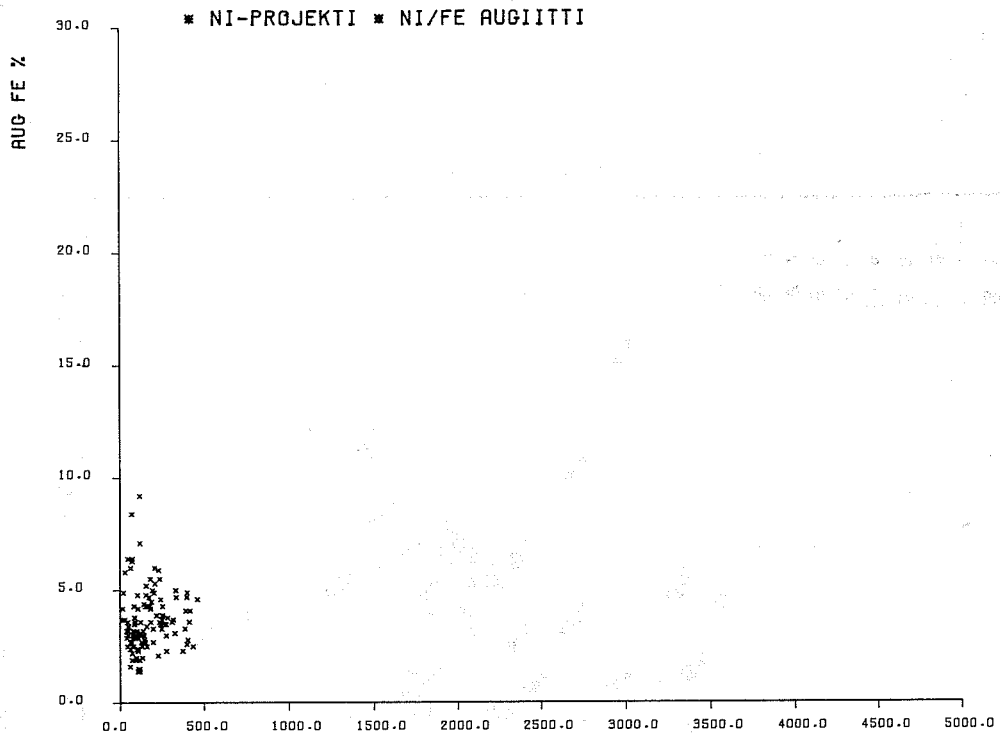
Koska keskiarvopitoisuuksiin vaikuttaa erittäin paljon näytepopulaation edustavuus, selvittää oliviinin koostumusvaihtelua intruusiokohtainen, yksittäisten analyysien tulosten esittäminen diagrammalla. Yksittäisessä intruusiossa oliviinin Ni-pitoisuus-



STATISTICS		OL NI PPM
NUMBER OF SAMPLES	= 657	
ARITHMETIC MEAN OF OL NI PPM	= 2079.5	GEOMETRIC MEAN OF OL NI PPM = 1877.7
ARITHMETIC MEAN OF OL FE %	= 10.9	GEOMETRIC MEAN OF OL FE % = 9.5
STANDARD DEVIATION OF OL NI PPM	= 777.6	GEOMETRIC STANDARD DEV. OF OL NI PPM = 1.68
STANDARD DEVIATION OF OL FE %	= 4.9	GEOMETRIC STANDARD DEV. OF OL FE % = 1.81
CORRELATION COEFF.	= -0.2	

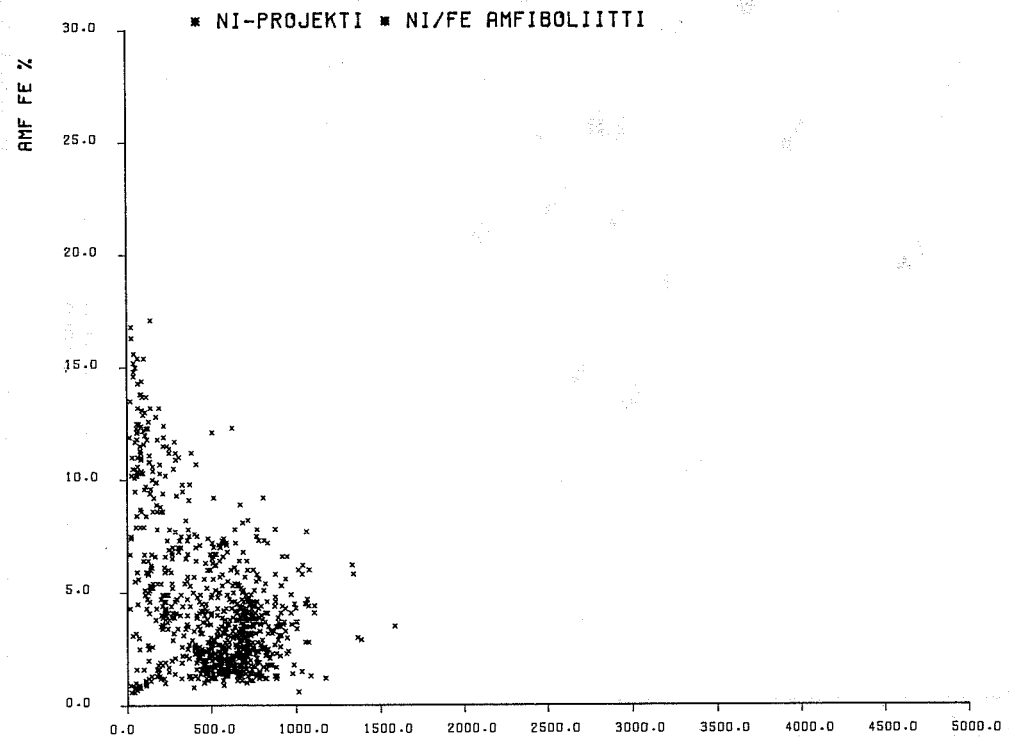


STATISTICS		ENS NI PPM
NUMBER OF SAMPLES	= 222	
ARITHMETIC MEAN OF ENS NI PPM	= 369.8	GEOMETRIC MEAN OF ENS NI PPM = 316.9
ARITHMETIC MEAN OF ENS FE %	= 8.2	GEOMETRIC MEAN OF ENS FE % = 7.6
STANDARD DEVIATION OF ENS NI PPM	= 185.1	GEOMETRIC STANDARD DEV. OF ENS NI PPM = 1.88
STANDARD DEVIATION OF ENS FE %	= 3.2	GEOMETRIC STANDARD DEV. OF ENS FE % = 1.52
CORRELATION COEFF.	= -0.3	



STATISTICS

STATISTICS		AUG NI PPM	
NUMBER OF SAMPLES	= 125	GEOMETRIC MEAN OF AUG NI PPM	= 129.7
ARITHMETIC MEAN OF AUG NI PPM	= 164.9	GEOMETRIC MEAN OF AUG FE %	= 3.4
ARITHMETIC MEAN OF AUG FE %	= 3.6	GEOMETRIC STANDARD DEV. OF AUG NI PPM	= 2.10
STANDARD DEVIATION OF AUG NI PPM	= 109.6	GEOMETRIC STANDARD DEV. OF AUG FE %	= 1.42
STANDARD DEVIATION OF AUG FE %	= 1.3		
CORRELATION COEFF.	= .0		

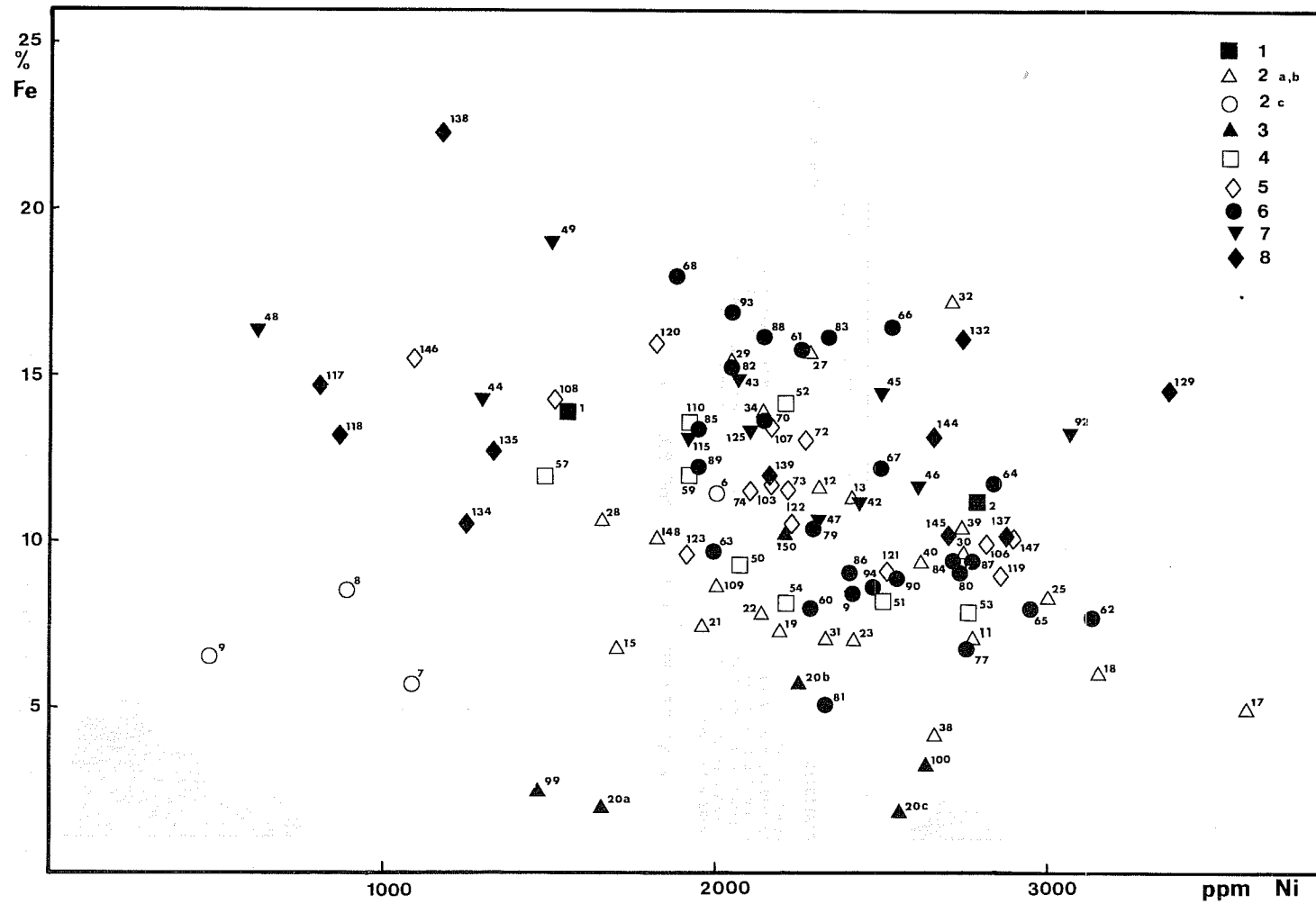


STATISTICS

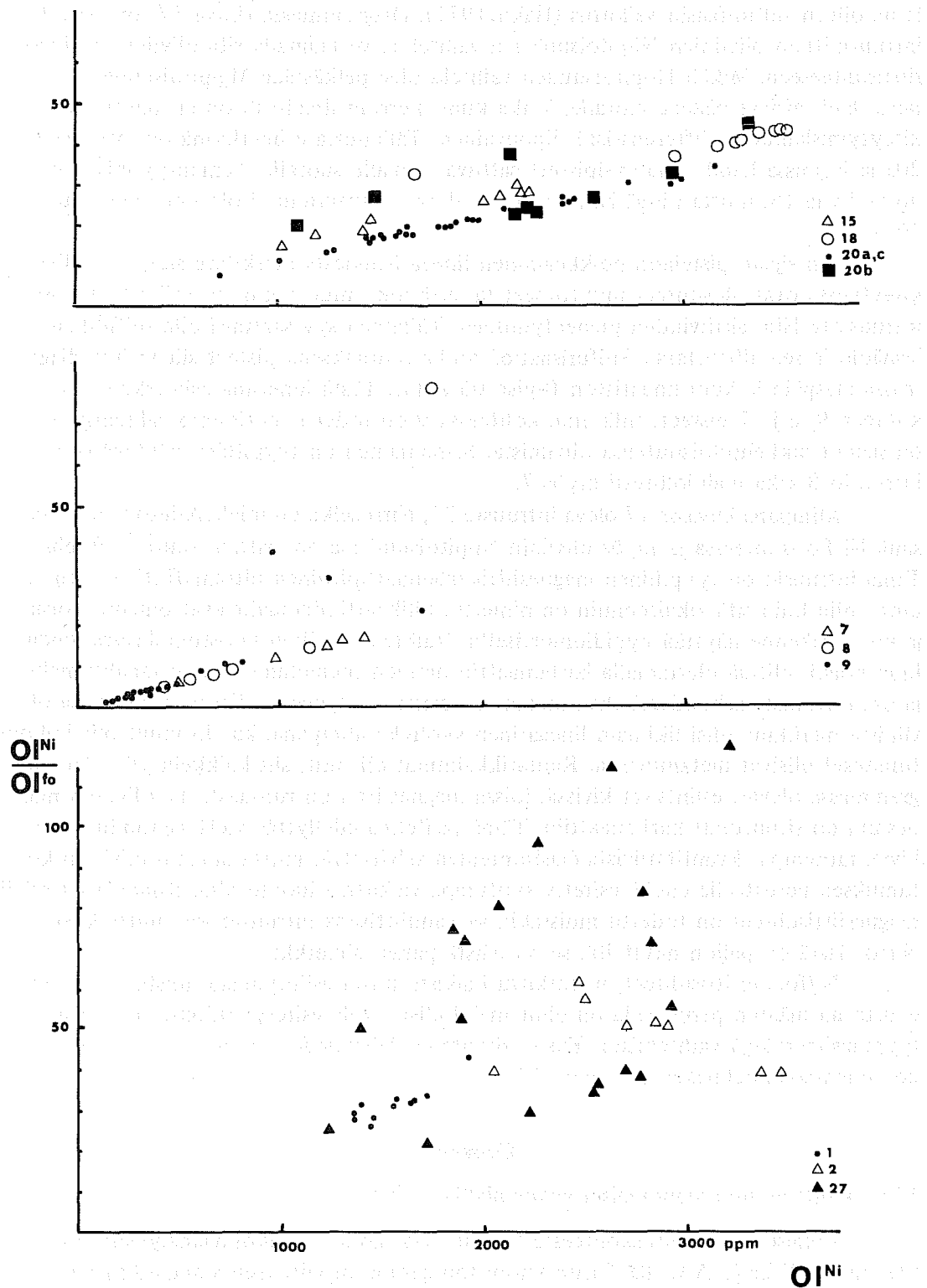
STATISTICS		AMF NI PPM	
NUMBER OF SAMPLES	= 863	GEOMETRIC MEAN OF AMF NI PPM	= 398.8
ARITHMETIC MEAN OF AMF NI PPM	= 510.2	GEOMETRIC MEAN OF AMF FE %	= 3.6
ARITHMETIC MEAN OF AMF FE %	= 4.5	GEOMETRIC STANDARD DEV. OF AMF NI PPM	= 2.32
STANDARD DEVIATION OF AMF NI PPM	= 273.4	GEOMETRIC STANDARD DEV. OF AMF FE %	= 1.98
STANDARD DEVIATION OF AMF FE %	= 3.2		
CORRELATION COEFF.	= -.4		

Kuva 15. Kaikkien analysoitujen silikaattimineraalien koostumusvaihtelut.

Fig. 15. Plot of Ni vs Fe for the analyzed silicate minerals.



Kuva 16. Analysoitujen oliviinien koostumukset esitettynä kohdekohtaisina keskiarvoina.
 Fig. 16. Plot of Ni vs Fe in olivines. Points represent averages of the mapping areas. The symbols refer to area codes used in Fig. 2, the number refer to mapping areas of Fig. 1.



Kuva 17. Eräiden esimerkkikohteiden oliiviinien koostumusvaihteluita esitettyinä diagrammassa, jossa oliiviinin nikkelpitoisuutta on verrattu suhteeseen: Oliiviinin Ni/oliiviinin forsteriittipitoisuus %:na. Numerot ovat kartoituskohteiden numeroja.

Fig. 17. Plot of nickel in olivine vs $O_{Ni}/O_{fo}^{forsterite-\%}$. The numbers indicate mapping areas presented in Fig. 1.

teen vaikuttavat oliviinin Fe/Mg -suhteen vaihtelut, kiteytymislämpötila ja mahdollisesti läsnä olleen sulfidifaasin vaikutus (Häkli, 1971). Diagrammassa (kuva 17) on esitetty intruusiottain oliviinien Ni-pitoisuuksien vaihteluja vertaamalla sitä oliviinin Ni/forsteriittisuhteeseen. Mikäli Ni-pitoisuuden vaihtelu olisi pelkästään Mg-pitoisuudesta riippuva, lankeaisivat pisteet suoralle, jonka kulmakerroin ilmeisesti on eri näytteiden kiteytymislämpötiladifferenssistä riippuvainen. Tällaisesta esimerkkinä on intruusiopari 20a ja b, joissa kaikki analyysipisteet sattuvat samalle suoralle. Samantyyppisiä ovat myös 15 ja 18, mutta niissä Ni-pitoisuuden kokonaisvaihtelu ei ole yhtä suuri kuin 20:ssä.

Sen sijaan pistejaon poikkeaminen lineaarisuudesta merkitsee sitä, että oliviinin kiteytyessä ovat olosuhteet muuttuneet tai että joku muu tekijä on vaikuttanut osassa intruusiota Ni:n aktiivisuuden pienentymiseen. Tällainen syy saattaisi olla sulfidifaasin läsnäolo ja sen aiheuttama sulfurisaatio, jonka seurauksena pisteet siirtyisivät diagrammassa alaspäin ja koordinaatiston O-pistettä kohti. Tästä ilmeisinä esimerkkeinä ovat kohteen 9, 8 ja 7 pisteet, sillä mm. kohteessa 9 on todettu sulfidimineralisaatio, joka on saanut nikkelpitoisuutensa oliviinista. Samanlainen on tyypiltään nähtävästi myös intruusio 8 sekä mahdollisesti myös 7.

Alimpana kuvassa 17 oleva intruusio 27, Nirroselkä on mielenkiintoinen, koska siinä Ni/Fo -suhteessa ja myös oliviinin Ni-pitoisuudessa on erittäin suuria vaihteluja. Tämä intruusio on tyypillinen magnesiittikarbonaattipitoinen ultramafiitti, siis sagvandiitti, niin kuin sitä aikaisemmin on nimetty. Silikaattimineraalit ovat omamuotoisia ja kiven rakenne näyttää hypidiomorfiselta. Vaihtelu oliviinin koostumuksessa voidaan luontevasti selittää olettamalla karbonaattituuminen premetamorfiseksi tapahtumaksi ja osa oliviinista sekundaariseksi, metamorfoosissa syntyneeksi. Kiven primaarista oliviinista merkinä olisi likimain lineaarinen vyöhyke alimpana, kaikki muut oliviinikoostumukset olisivat metamorfisia. Rautarikkaimmat oliviinit, siis kaikkein ylimpänä diagrammassa olevat, esiintyvät kivissä, joissa magnesiittia on runsaasti, ts. oliviinin magnesium on sitoutunut karbonaattiin. Tämä päätelmä edellyttää vielä sagvandiittisten kivantarkempaa kvantitatiivista faasisuhteiden selvittelyä, mutta ainakin oliviinin koostumuksen perusteella edellä esitetty syntytapa vaikuttaa luontevalta. Samanlaiset oliviinimagnesiittisuhteet on todettu muissakin sagvandiittisissä intruusioissa, mutta koska Nirroselästä on paljon näytteitä, se on näistä paras esimerkki.

Ni/forsteriittisuhteet on tutkittu kaikista niistä esiintymistä, joista se näytteiden edustavan määrän perusteella on ollut mahdollista. Yllä esitetyt tulokset ovat vain tyyppiesimerkkejä vaihteluista. Yksityiskohtaiset lähtötiedot on esitetty kohteittain dokumenttikokoelmassa (Papunen, 1977).

Geokemia

Ultramafiittien luonteenomaiset geokemialliset piirteet

Jokaisesta kartoituskohteesta valittiin 1-5 näytettä kokokivianalyysiin, joka suoritettiin XRF:llä ja AAS:llä Turun yliopiston geologian laitoksen standardimenetelmien mukaisesti. Kaikki analysoidut näytteet tutkittiin myös Geologisen tutkimuslaitoksen kvantometrillä. Erityisesti hivenaineiden kuten Cr, V, Ti ja Mn osalta on jouduttu nojautumaan kvantometriin määrittäisiin. Tällöin on aina käytetty kohteitten keskiarvotuloksia, koska yksittäisten määritysten hajonnat olivat varsin suuria.

Tulokset on esitetty dokumenttikokoelmassa (Papunen, 1977). Iso-Siettelöjoen ja Peltotunturin kohteitten kivistä teki T. Heino pro gradu-työtään varten analyysejä runsaammin kuin kohteista keskimäärin yleensä on tehty.

Pääkomponenttien määrasuhteita on yritetty selvittää erilaisten diagrammojen avulla. Mm. Kunon (1966) magmatyyppiäotteludiagrammaan asetettuina analysoidut näytteet sattuvat tholeiittisten basalttien kenttään – muutamaa alkaalibasaltteihin joutuvaa spiliittinäytettä lukuunottamatta – ja valtaosa ultramafiiteista tulee erittäin niukasti alkaalia sisältävälle alueelle. Selvää systematiikkaa eivät nämä $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ versus SiO_2 tai $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ versus Al_2O_3 diagrammat anna. Niin ikään kolmiogrammassa $\text{MgO} - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ saatuva ultramafiitit lähelle MgO -kärkeä, ja myös tämän diagramman käyttökelpoisuus on vähämerkityksinen tässä työssä analysoidujen näytteiden luokittelussa.

Viime vuosina on ns. komatiittinen vulkaniittityyppi tullut tunnetuksi Etelä-Afrikassa, Australiassa ja Kanadassa tehtyjen tutkimuksien perusteella. Tämä kivilajisarja on kuitenkin ollut riittämättömästi määritelty ja siihen on laskettu kuuluvaksi mitä erilaisimpia ekstrusiiveja. Keski-Lapin ultramafiitteja on tarkasteltu Arndt, Naldrett ja Pyken (1976) määritelmän pohjalta:

- komatiitti on kivilajisarja, johon voi kuulua ei-kumulaatteja (laavoja) peridotiittisestä koostumuksesta (30 % MgO , 44 % SiO_2) basaltteihin (8 % MgO , 52 % SiO_2) ja andesiitteihin (12 % MgO , 56 % SiO_2) sekä kumulaatteja peridotiittista (40 % MgO) gabroihiin (n. 12 % MgO). Ei-kumulaattien koostumus vastaa sen sulan koostumusta, josta ne ovat muodostuneet.
- sarjaan kuuluvilla laavoilla saattaa olla erikoisia rakennepiirteitä, kuten spinifex-rakenteita ja polyedrirakoa.
- sarjan jäsenillä on yleensä alhainen $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})$ -suhde verrattuna Al_2O_3 -pitoisuuteen, alhainen TiO_2 ja ZrO_2 -pitoisuus sekä korkeat MgO , NiO ja Cr_2O_3 -pitoisuudet.

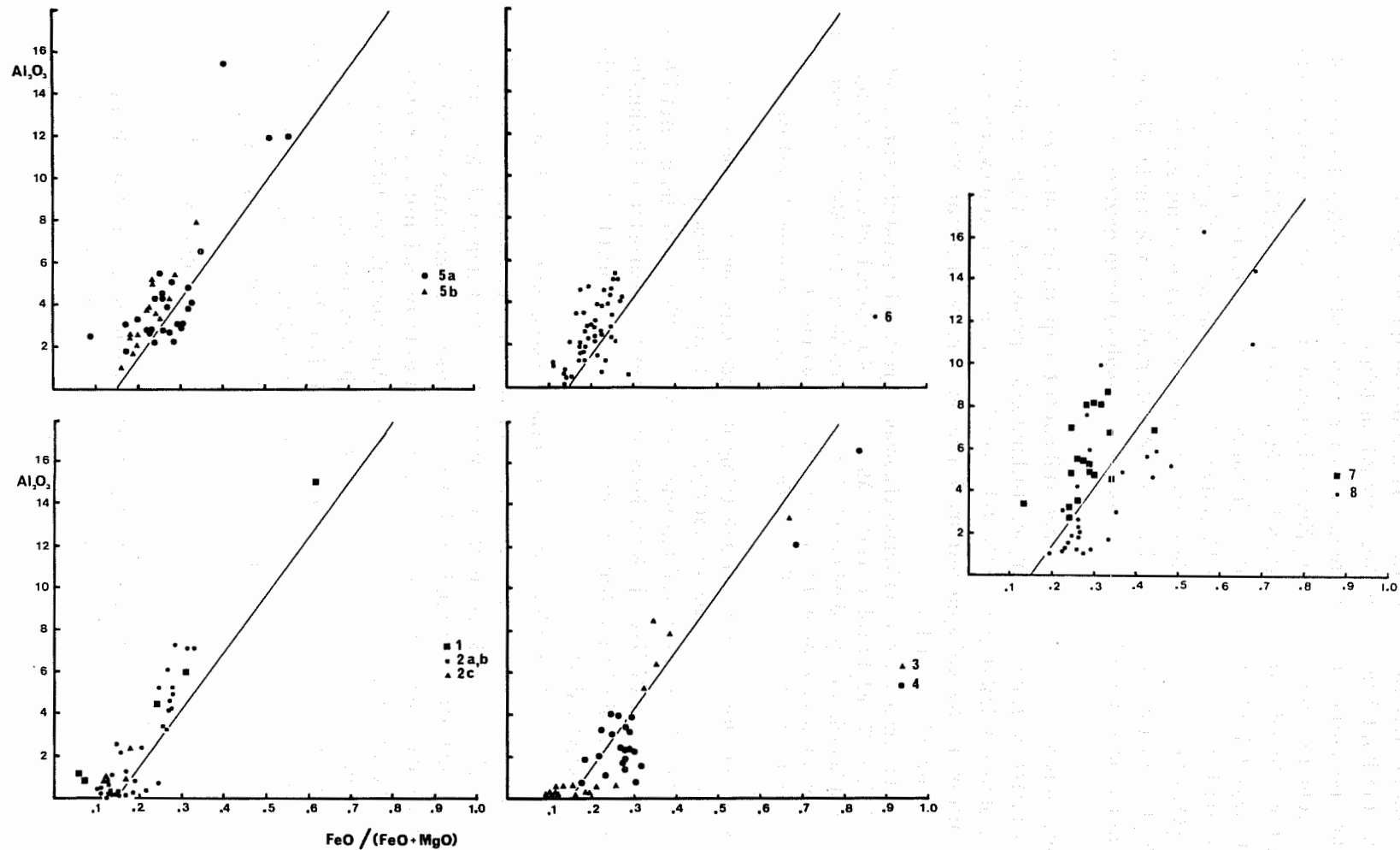
Komatiittiset laavat ovat osoittautuneet merkityksellisiksi sen takia, että Etelä-Afrikassa ja varsinkin Australiassa ja Kanadassa on todettu massiivisten nikkelimalmien liittyvän tämän tyyppisiin kiviin. Niinpä tämän tutkimuksen kannalta on komatiittiprobleema sängen merkityksellinen.

Intruusioitten geokemiallisen luonteen määrittämisessä antaa Arndt *et al.* (1976) esittämä Al_2O_3 versus $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})$ diagramma mielenkiintoisia sovelluksia. Arndt *et al.* (1976) ovat käyttäneet diagrammaa komatiittisten ja tholeiittisten basalttien ja ultramafiittien erottamiseen ja tässä mielessä on diagrammaa sovellettu myös nyt tutkittuihin kiviin. Kuvassa 18 on alueittain esitetty mainitut diagrammat.

Näiden diagrammojen soveltamisessa on kuitenkin ensinnä esitettävä pari varausta: 1) ultramafiitit, erityisesti duniitit sattuvat alueelle, jossa alhaisen Al_2O_3 -pitoisuuden takia diagramman tarkkuus ei enää ole riittävä, 2) komatiitit ovat erikoisen koostumuksen omaava kivilajisarja, ja näin ollen yksittäisten kivilajityyppien tai näytteiden tarkastelu saattaa olla harhaanjohtavaa eikä anna tulokseen riittävää varmuutta.

Seuraavat päätelmät lienevät kuitenkin riittävästi perusteltuja näidenkin diagrammojen perusteella:

- Koilliskairan ultramafiiteista pääosa kuuluu komatiittisarjoihin, samoin Länsi-Inarin liuskevyöhykkeellä sekä myös mahdollisesti Tsohkkoaivin alueella olevat ultramafiitit.
- granuliittikaaren reunavyöhykkeen ultramafiitit eivät koostumuksellisesti poikkea Länsi-Inarin liuskevyöhykkeen ultramafiiteista, vaikka niillä mineraalikoostumus onkin omalaatuinen.



Kuva 18. Ultramafiittien Al_2O_3 pitoisuuden ja $FeO/(FeO+MgO)$ -suhteen riippuvuus toisistaan (FeO = kokonaisrauta). Pisteet edustavat yksittäisiä kivi-analysejä ja numerot osoittavat aluejakoja. Diagrammassa olevan viivan vasemmalla puolella ovat komatiittiset kivilajit ja oikealla puolella tholeiittiset (Arndt, Naldrett ja Pyken, 1977, mukaisesti).

Fig. 18. Plot of Al_2O_3 versus $FeO/(FeO+MgO)$. FeO is total Fe calculated as FeO . Numbers and symbols refer to area codes presented in Fig. 2. According to Arndt et al. (1977) the points right of the diagonal represent tholeiitic rocks and the points left of it are komatiitic.

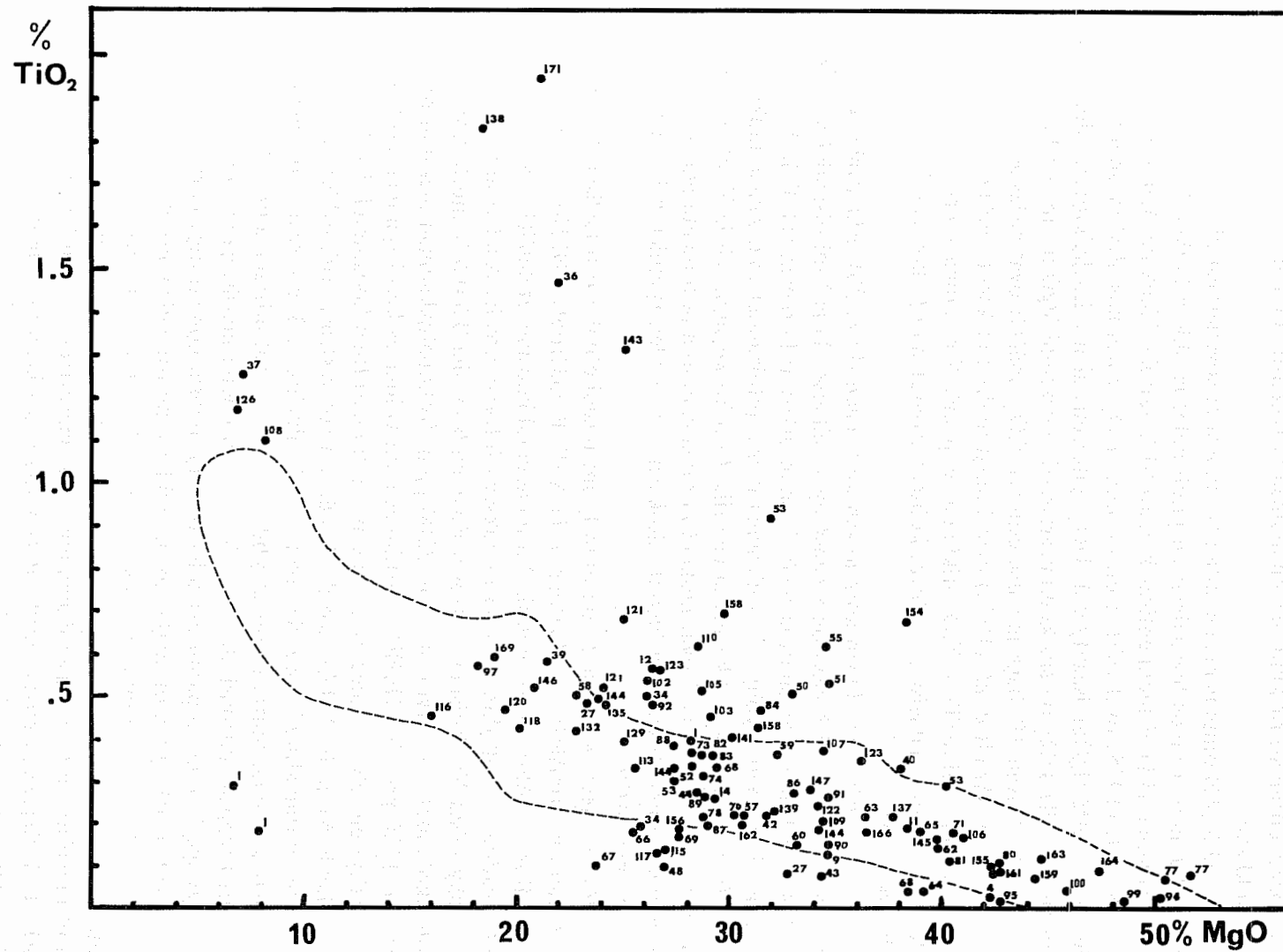
- Kittilän eteläosan ultramafiitit eivät yleensä ainakaan pääkomponenttien koostumuksen perusteella kuulu komatiittien ryhmään.
- Kittilän vihreäkivialueen ja Sodankylän vihreäkivialueen ultramafiiteista osa voi kuulua, osa taas ei kuulune komatiittien ryhmään.
- Koillis-Inarin ultramafiitit kuuluvat muutamaa poikkeusta lukuunottamatta tholeiittiseen luokkaan.

Jotta tätä pääkomponenttien antamaa tulosta ei sovellettaisi liian kategorisesti, on otettava huomioon myös hivenaineitten pitoisuudet ja tällöin korkea Ni ja Cr ja vastaavasti alhaiset Ti ja V luonnehtivat komatiittisia sarjoja. Niinkuin Arndt *et al.* (1976) ja Nesbitt (1975) ovat esittäneet, on mm. TiO_2 -pitoisuus MgO-määrän mukaan vaihteleva siten, että MgO:n lisääntyessä TiO_2 -pitoisuus alenee kivilajisarjasta riippumatta. Komatiittisarjalla TiO_2 on siis keskimääräisesti alhaisempi MgO:n suhteen kuin tholeiittisilla kivillä. Kuvan 19 diagrammassa esitetyt TiO_2 -määrät ovat pääasiassa samaa luokkaa kuin esim. Arndt *et al.* (1976) ovat komatiiteille esittäneet, mutta joukossa on myös muutamia suhteellisen TiO_2 -rikkaita tyyppisiä. Nimenomaan eräät Sodankylän ja Kittilän vihreäkivialueisiin kuuluvat kohteet eroavat muista korkean TiO_2 -pitoisuuden perusteella.

TiO_2 ja V näyttävät hyvin korreloivan keskenään (kuva 20). Alueittain voi todeta, että alueitten 2 ja 6 kivissä on yleensä hyvin alhaiset Ti ja V-pitoisuudet kun taas alueilla 3, 4 ja 5 hajonta on suuri ja myös keskimääräisesti korkeammat Ti ja V-pitoisuudet. Granuliitin reunavyöhykkeen ultramafiiteissa pitoisuudet ovat samaa luokkaa kuin Länsi-Inarin luskeyvyöhykkeellä, ja alueella 8 on korkeampia Ti- ja V-pitoisuuksia. Näin ollen siis alueet 2, 6 ja 7 ovat keskenään samankaltaisia ja toisaalta alueilla 3, 4 ja 5 on likimain samantyyppinen hajonta, joskaan erot näiden ryhmien välillä eivät ole erityisen merkittäviä.

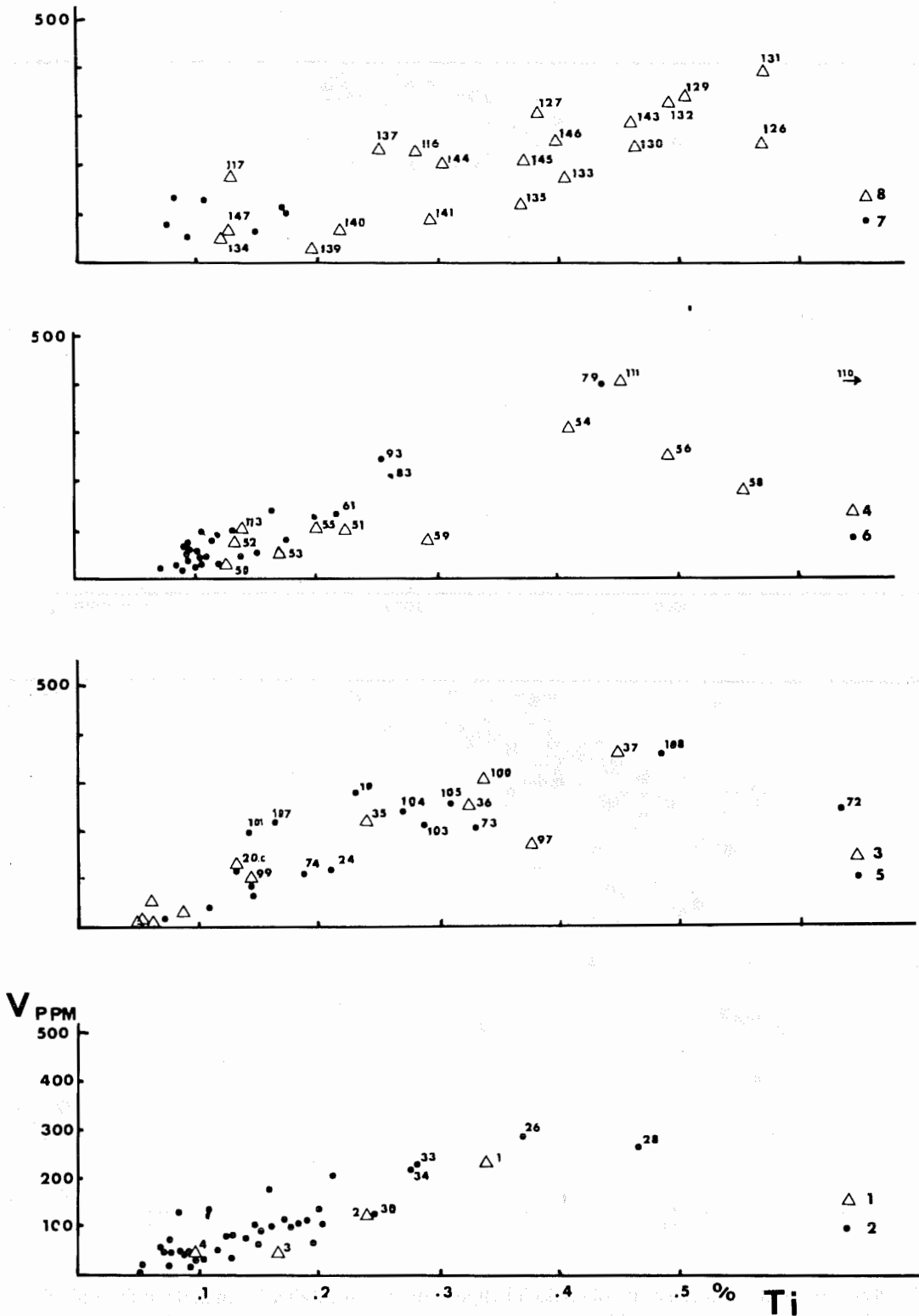
Ni/Cu -suhteet. Kuvassa 21 on esitetty intruusiokohtaisesti totaalisen Ni-pitoisuuden (kvantometrimeritysten keskiarvo) ja AAS:llä määritetyn Ni/Ni+Cu -suhteen vaihteluja. Koska AAS-määrittäminen tehtiin bromimetanoliliuosmenetelmällä, saadaan Ni/Ni+Cu -suhteeksi sulfidifaasin koostumukseen liittyviä arvoja. Analysoiduissa yksittäisissä näytteissä Ni-pitoisuus saattoi parhaimmillaan olla 0,5-0,6 % mutta korkeimmat kohdekohtaiset keskiarvot olivat n. 3200 ppm. Kokonaisjakauman maksimi tulee noin arvoon 1700 ppm Ni. Ni/Ni+Cu -suhteessa on voimakas keskittyminen korkeisiin arvoihin. Erityisen selvästi tulee esille alueen 6 ultramafiittien koostumuksien keskittyminen korkeille Ni- ja Ni/Ni+Cu arvoille ja nämä arvot vastaavat suhteellisen hyvin komatiittisille ultramafiiteille saatuja arvoja. Myös alueilla 2, 3 ja 4 sekä 5 on edellisiin rinnastettavia kohteita, mutta hajonnat yhdellä alueella ovat erittäin suuret, koska joukossa on eri tyyppisiä intruusioita, mm. differentioituneita massiiveja ja vihreäkiviin kuuluvia tyyppisiä, joilla kuparipitoisuudet ovat tyypillisiä komatiitteja korkeammat. Erityisesti kohde 102, joka on Sattasvaara, poikkeaa muista vulkaniitteihin liittyvistä ultramafiiteista korkean Cu-pitoisuutensa ansiosta. Alueen 8 gabrokivissä nikkelimäärät ovat alhaisia ja Ni/Cu -suhde on selvästi kuparivoittoinen. Sen sijaan eräät Vätsärin alueen ultramafiitit sattuvat tässä diagrammassa komatiittisten kivien koostumusalueelle. Intruusio 138, Rajavaara eroaa muista alueen kivistä korkean nikkelpitoisuutensa ja kuparipitoisuutensa takia.

PGE. Platinaryhmän metallit analysoitiin kaikkiaan 87 eri kohteesta otetuista 185 näytteestä. Analyysit tehtiin kupelointimenetelmällä Outokumpu Oy:n Porin keskuslaboratoriossa. Määrittysten erotuskynnyksiksi arvioitiin n. 10 ppb Au, Pt ja



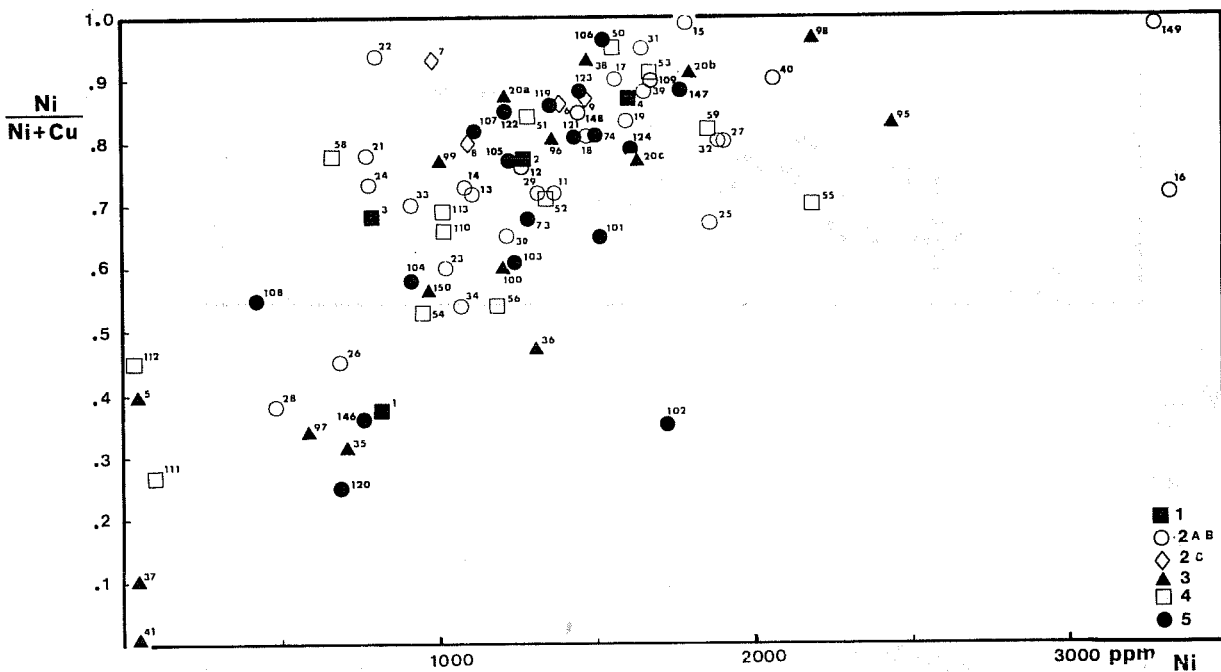
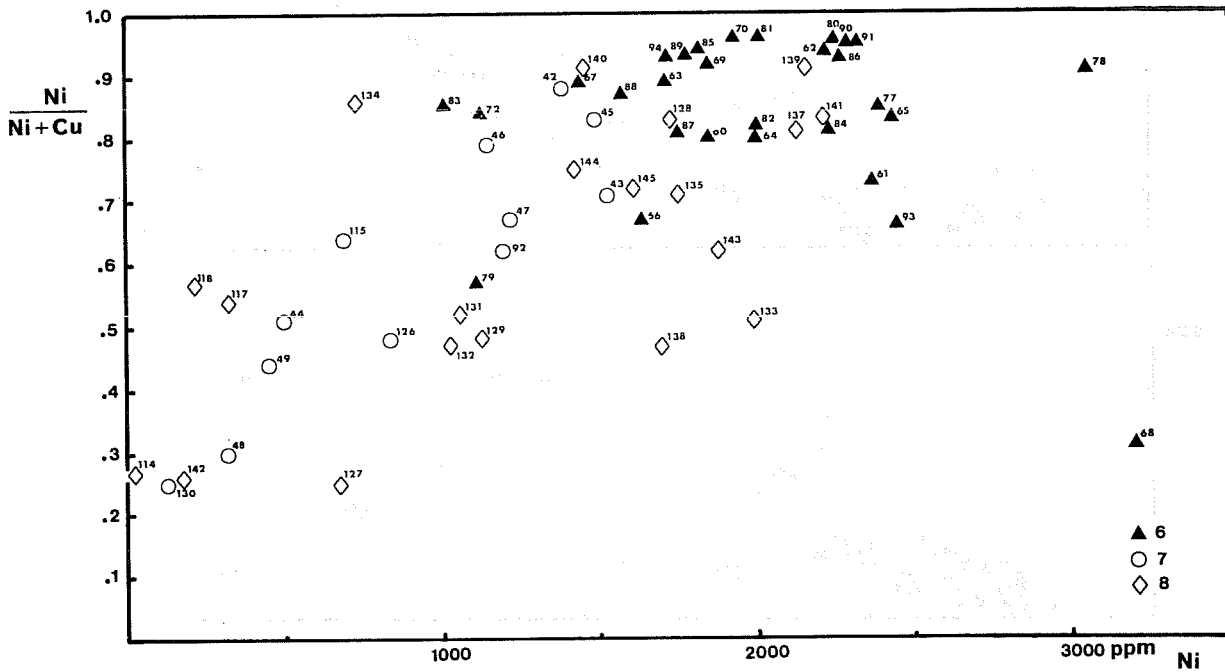
Kuva 19. Analysoitujen näytteiden MgO ja TiO₂ -suhteita. Numerot ovat kartoituskohteitten numeroita.

Fig. 19. Plot of MgO versus TiO₂. Numbers indicate mapped areas as in Fig. 1. The areas marked by a dashed line indicates komatiitic compositions according to Naldrett and Cabri (1976).



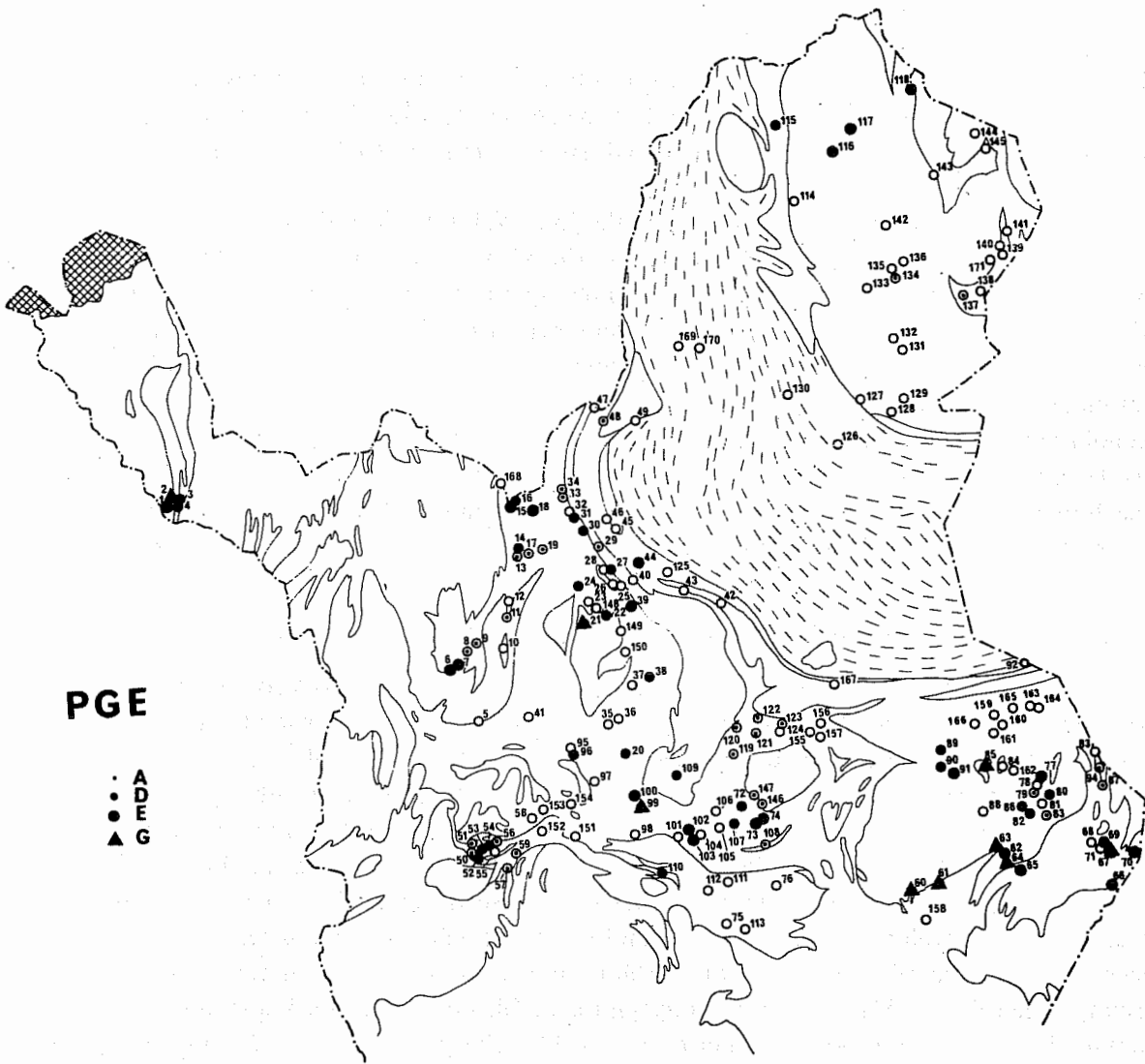
Kuva 20. Kartoituskohteitten lasketut Ti- ja V-pitoisuuksien aritmeettiset keskiarvot (kvantometrimeri-tyksistä). Merkkityyppi osoittaa aluetta, eräitä anomalia kohteita on merkitty kohdenumeroilla.

Fig. 20. Plot of Ti versus V for different mapping areas. The small numbers indicate the mapping areas of Fig. 1; the symbols and their numbers refer to the area codes of Fig. 2.



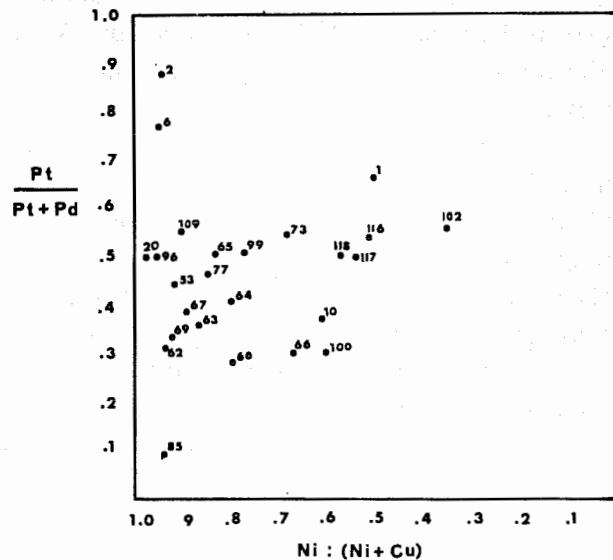
Kuva 21. Kartoituskohteitten lasketut kokonaisnikkelipitoisuudet esitettyinä bromimetanoliliuotuksella saatuun Ni ja Cu -pitoisuuteen (sis sulfidiseen Ni ja Cu) verrattuna. Kaikki arvot ovat kartoituskohteittäin laskettuja aritmeettisia keskiarvoja.

Fig. 21. Plot of total Ni versus Ni/(Ni+Cu) (of sulfide analyses). The symbols indicate area codes of Fig. 2, the small numbers indicate individual mapping areas of Fig. 1.



Kuva 22. PGE (platinaryhmän alkuaineitten) esiintymistä kuvaava kartta. A = analysoitu näyte, mutta pitoisuudet erotuskynnyksen alapuolella. D = analysissä todettuja merkkejä platinametalleista, E = selvästi todettava PGE-pitoisuus, G = pitoisuus 0,1 ppm tai sen yli.

Fig. 22. PGE-analyses: A = analyzed sample with PGE below the detection limit, D = traces of PGE, E = distinct marks of PGE in analysis, G = PGE content 0.1 ppm or more.



Kuva 23. Pt/Pd -suhteen ja Cu/Ni -suhteen riippuvuus toisistaan. Osa PGE-pitoisuuksista on lähellä määrittelykynnystä, joten suhde ei ole tarkka. Numerot ovat kartoituskohteiden numeroita.

Fig. 23. Plot of $Pt/(Pt+Pd)$ versus $Ni/(Ni+Cu)$. Numbers refer to mapping areas in Fig. 1.

Rh sekä n. 5 ppb Pd. Karttakuvassa 22 on esitetty ne intruusioidet, joista näytteitä on analysoitu ja joista saatiin mitattavia PGE-pitoisuuksia. Kuvassa 23 on esitetty Naldrett ja Cabrin (1976) mukaisesti Pt/Pt+Pd -suhteen muutos Cu/Cu+Ni -suhteen funktiona.

Suuri osa pisteistä sattuu sille alueelle, joka Naldrett ja Cabrin (1976) mukaan edustaa tyypillistä komatiittien Pt Pd ja Cu Ni -suhteita. Erityisesti juuri alueen 6 kivissä oli platinametallien pitoisuudet korkeampia ja suhdemääritys oli tarkempi. Korkeimmat Pt- ja Pd -pitoisuudet olivat kohteissa 64 ja 67: 0,1 ppm Pt ja 0,15 ppm Pd. Koska kokemuksen mukaan PGE jakautuminen ultramafisissa massiiveissa voi olla satunnaista, ei näin pieni näytemäärä anna juuri muuta kuin viitteellisiä tuloksia. Kuppelointianalyysin korkean hinnan vuoksi kannattaisi jatkotyönä tehdä edustavammasta näytesarjasta lisämääryksiä NAA-menetelmällä, joka on huokeampi ja antaa tarkempia tuloksia. NAA-määrytyksiin vaadittavat laitteet on tällä hetkellä paitsi Teknillisen korkeakoulun reaktorilaboratoriossa myös Åbo Akademin fysiikan laitoksessa Turussa.

Malmimineraaleista (Hannu Idman ja Heikki Papunen)

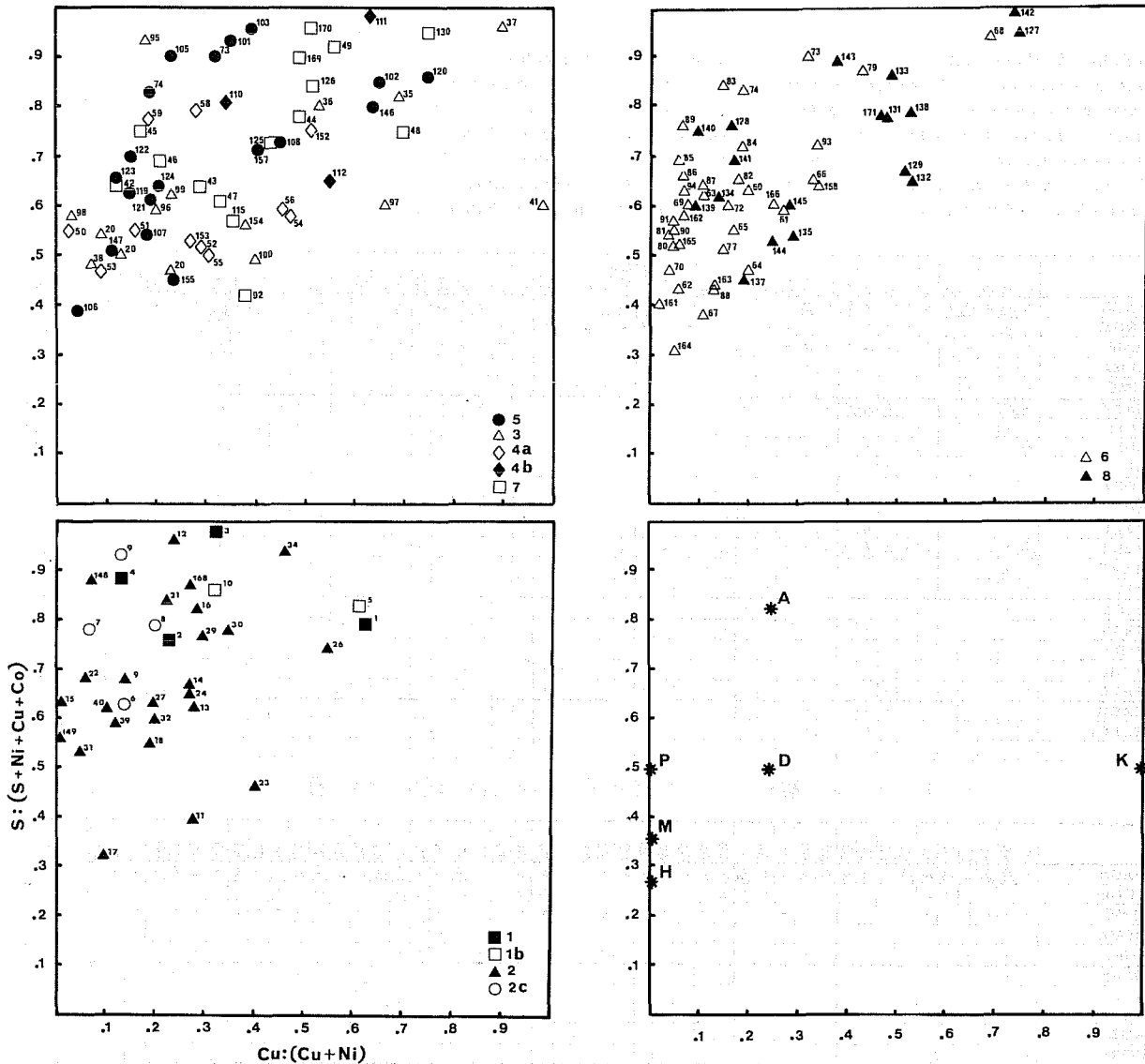
Kiillotetuista ohuthieistä määritettiin malmimineraalit mikroskooppisesti. Runsaammin malmimineraaleja sisältävistä tai erikoisista näytteistä vietiin tiedot reikäkor-teille, joilta ne on listattu malmimineraaliluetteloiksi. Oheinen taulukko antaa kuvan eri malmimineraalien esiintymisestä ja yleisyydestä eri intruusioissa (taulukko 5).

Oksidifaasi on luonnollisestikin sangen yleisenä ultramafiiteissa ja kromiitti sekä magnetiitti tavallisimmat oksidit. Kromiitti on pyöreämuotoisina tai lähes oma-muotoisina kumulustyyppisinä kiteinä, joita kehämäisesti ympäröi tai lävistää »harmaa magnetiitti» ja tavallinen magnetiitti. Magnetiitti on itsenäisinä kumulusrakeina harvinaisempi kuin kromiitti, mutta se on erittäin yleinen sekundaarinen mineraali, jonka esiintyminen liittyy pääkiven serpentiniytymiseen. Oksidimineraalien koostumuksen vaihteluista, suotautumista ja seurueista on tekeillä selvitys (Idman, 1977). Ilmeniitti on edellisiä harvinaisempi, mutta sitäkin on tavattu mm. kromiitin ja magnetiitin kanssa yhteenkasvettuneena.

Sulfidifaasin mineraalisuhteitten vaihtelu sopii erittäin hyvin Eckstrandin (1975) esittämään systeemiin.

AAS-analyysien ja rikkimäärytysten perusteella on laadittu oheinen diagramma (kuva 24), jossa intruusiokohtaiset keskiarvopitoisuudet on laskettu suhteiksi ja niiden perusteella arvioitu sulfidifaasin koostumuksen muutosta pääasiassa S-Ni-Cu kentässä. Mikroskooppisesti havaitut mineraalisuhteet vastaavat hyvin diagrammasta saatua arviota.

Serpentiniiteissä pentlandiitti, heazlewoodiitti ja milleriitti ovat tavalliset nikkelisulfidit. Satunnaisesti on tavattu myös awaruiittia ja korkean oksidoitumisasteen näytteissä bravoiiittia ja violariittia. Magneettikiisuus on näytteissä tosin tavallinen, mutta sangen monissa intruusioissa sulfidipirootteesta puuttuvat rautakiisut täysin. Tällainen vähärautainen sulfidimineraaliseurue on samalla myös yleensä rikkiköyhä ja analyysitilastoissa saadaankin tällaisten näytteiden Ni/S -suhteeseen perustuvalla »sulfidifaasin nikkelpitoisuudelle» anomalisen korkeita arvoja. Magneettikiisun puuttuminen sulfidimineraaliseurueesta voidaan tulkita myös siten, että rikkiä ei ainakaan näytteen edustamassa intruusion osassa ole riittävästi massiivisen kiisuesiintymän aikaansaamiseksi. Tällöin kuitenkin jää vielä mahdollisuus Dumont-tyyppiseen kiisupirotekasautumaan in-



Kuva 24. Sulfidifaasin koostumusta osoittava diagramma. Arvot ovat kohdekohtaisia sulfidianalyyseiden aritmeettisiä keskiarvoja. Merkit alueittain, kondenerumeroit pistettäin vieressä. Neljännessä diagrammassa merkinnät tarkoittavat seuraavia sulfidifaasin koostumuksia: A = »keskimääräinen» Cu-Ni malmi, jossa 6 % Ni, 2 % Cu ja 0,3 % Co sulfidifaasissa, D = malmi, jossa on 3/4 pentlandiittia ja 1/4 kuparikiisua, mutta ei lainkaan magneettikiisua, P = koko sulfidifaasi on pentlandiittia, M = vastaavasti milleriittiä ja H = heazlewoodiittia ja K = kuparikiisua. Pelkkä magneettikiisuu tulee diagramman yläreunaan. Pisteiden aseman perusteella voi edellä esitetyt koostumukset huomioiden arvioida sulfidifaasin mineraalikoostumusta.

Fig. 24. Plot of $Cu/(Cu+Ni)$ versus $S/(S+Ni+Cu+Co)$. Symbols indicate area codes of Fig. 2, numbers refer to individual mapping areas of Fig. 1. The plot indicates the composition of the sulfide phase, so for example point A is an »average» Ni-Cu ore with 6 % Ni, 2 % Cu, 0,3 % Co and 38 % S, D is an ore with 3/4 pentlandite and 1/4 chalcopyrite in sulfide phase, P = whole sulfide phase is pentlandite, M = millerite, H = heazlewoodite and K = sulfide phase is composed of pure chalcopyrite. The mineralogical composition of the sulfide phase can be estimated from the location of the point.

Kuparimineraaleja ei näytteiden korkean Ni/Cu -suhteen takia esiinny runsaasti, mutta kuparikiisuus on kuitenkin melko tavallinen mineraali. Sen lisäksi on satunnaisesti tavattu borniittia, kubaniittia ja myös metallista kuparia.

Geologinen yhteenveto

Edellä esitettyjen kuvausten perusteella voidaan todeta, että Lapissa on tiettyihin geologisiin yksiköihin liittyviä ultramafiittikeskittymiä ja kullakin alueella tai osa-alueella on ultramafiiteissa juuri tälle osa-alueelle tunnusomaisia erityispiirteitä. Ultramafiittien esiintymistä kontrolloivat joko rakenteelliset piirteet, so. johonkin ajallisesti ja alueellisesti laajempaan systeemiin kuuluvat tektoniset vyöhykkeet taikka toisaalta aikaan sidotut stratigrafiset kivilajiyksiköt. Viimeksi mainituista erityisasemassa ovat vulkaanisiin muodostumiin liittyvät ultramafiitit, joista selvimmät kivilajikontrollit ovat Sodankylän vihreäkivialueen molemmilla ultramafiittikeskittymillä. Vaikka Koilliskairan ja toisaalta Länsi-Inarin liuskeyvyöhykkeen ultramafiitteja kontrolloi amfiboliittisten tai selvästi vulkaanisiksi tunnistettavien vihreäkivien esiintyminen, on voimakas alueellinen metamorfoosi kuitenkin häiritsevänä tekijänä stratigrafisen kontrolliyksikön identifioimisessa.

Geokemiallisten piirteittensä puolesta Koilliskairan ja Länsi-Inarin liuskejakson ultramafiiteilla on selvimmän komatiittisia ominaisuuksia ja myös geologisesti nämä liittynevät vanhimpiin liuskemuodostumiin, jotka ajallisesti lienevät rinnastettavissa esim. Kuhmon-Suomussalmen jaksoon. Tšohkkoivin alueen komatiittisille ultramafiiteille antaa oman erikoisen lisäpiirteensä se, että Ruossakeron breksioituneesta liuskeesta on saatu lyijyhohteen *common lead* ikä 2990 Ma (Kouvo, henkilökohtainen tiedonanto), mikä vastaa likimain mm. Kuhmon-Suomussalmen jaksolta tai Nunnanlahden alueelta amfiboliittikarresta saatuja ikä. Sen sijaan Keski-Lapin vihreäkivien asemasta on eriäviä käsityksiä. Monet pitävät niitä karjalaisina muodostumina (esim. Paakkola, 1971), mutta on myös esitetty, että ne olisivat varsinaista jatulia vanhempia, prekarjalaisia. Tässä viimeksi mainitussa tapauksessa ne pitäisi ilmeisesti rinnastaa Itä-Karjalasta ja Kuolasta todettuun Seletskin muodostumaan, jota NL:n geologit pitävät prekarjalaisena ja antavat iäksi 2400 Ma (henkilökohtainen tiedonanto, K. Kratts, 1976). Toisaalta ei ole myöskään varmaa diskordanssia esim. Kittilän vihreäkiven ja Länsi-Inarin liuskeiden välillä, sen sijaan kyllä metamorfoosiasteen lisäys lähestyttäessä granuliittivyöhykettä.

Keski-Lapin stratigrafian selvittely on tietyllä tavalla avainasemassa myös ultramafiittien tutkimusten ja malminetsinnän kannalta, mutta tässä projektissa on ollut mahdotonta hankkia riittävää kenttämateriaalia juuri tämän kysymyksen ratkaisemiseen. Kuitenkin ultramafiiteista nyt kerätty perusaineisto auttaneen myös perustavaa laatua olevien kallioperägeologisten kysymysten selvittelyssä.

Tutkimusten yhteydessä on todettu granuliittikaaren metamorfoosin muokanneen sen yhteydessä esiintyneiden ultramafiittien mineraalikoostumusta. Erityisesti spinellieortlandiittien ja osaltaan myös sagvandiittien syntyminen on liitetty granuliittimetamorfoosiin.

MAGNEETTISISTA OMINAISUUKSISTA (K.J. Neuvonen)

Tutkimuksen tarkoituksena on mm. ollut selvittää, onko eri instrusiivien välillä sellaisia karakteristisia piirteitä, joiden avulla ne voitaisiin erottaa toisistaan. Näiden kivilajien magneettisten ominaisuuksien saattaisi ajatella olevan yhtenä erottavana piirteenä. Tämän kysymyksen selvittämiseksi tehtiin tutkimus, jota varten koottiin 80 kiviä näytettä 11 eri kohteesta. Näytteistä 19 on suunnattuja ja ne edustavat viittä näytteenottokohdetta.

Menetelmät ja mittaukset

Näytteistä määrättiin seuraavat magneettiset ominaisuudet:

- susceptibiliteetti (κ)
- remanenssin voimakkuus (S)
- Koeningsbergin suhdeluku ($Q = S/\kappa$)
- Curie- tai Neel-lämpötila (lämpötila, jossa näytteen magneettisuus häviää)
- remanentin magneettisuuden stabilisuus
- suunnatuista näytteistä remanentin magneettisuuden suunta
- yhdestä kohteesta (Tšohkkoavi, N) määrättiin magneettisen anisotropian suuntaus

Yhteenvedo näytteiden magneettisista ominaisuuksista on esitetty taulukoissa 6 ja 7 sekä kuvissa 25 ja 26. Osasta näytteitä määrättiin lisäksi susceptibiliteetin, remanenssin ja Q-arvon muutokset lämpötilan muuttuessa.

Mittaustulokset ja niiden tulkinta

Kuten taulukosta 6 näkyy, vaihtelevat sekä remanenssin että susceptibiliteetin arvot varsin runsaasti sekä yhden näytteenottokohteen että eri massiivien kesken. Koska susceptibiliteetti on suoraan riippuvainen kivessä olevan magneettisten mineraalien (lähinnä magnetiitin) määrästä, siinä näkyvä vaihtelu kuvastaa lähinnä magnetiitin määrän runsasta vaihtelua. Remanenssin voimakkuus riippuu paitsi magnetiitin määrästä myös sen magnetoitumisasteesta. Koeningsbergin suhdeluku (Q) kuvastaa parhaiten juuri magnetoitumisen voimakkuutta. Sekin vaihtelee varsin suurissa rajoissa sekä yksityisissä massiiveissa että eri näytteenottopaikkojen välillä. Kuvassa 25 on esitetty Q-arvon ja susceptibiliteetin keskinäinen riippuvuus kaksoislogaritmisessa diagrammissa. Piirroksessa on esitetty eri kohteita vastaavat keskiarvot pisteinä, joten eri kohteiden sisäinen vaihtelu ei käy siitä ilmi. Vaikka tuo sisäinen vaihtelu on hyvin runsasta niin kuitenkin on mahdollista väittää, että eri kohteet tulevat kuvassa melkoisen selvästi erilleen toisistaan. Q/kappa-arvoa voitaneen näin ollen ajatella käytettäväksi eri näytteenottopaikkojen ja massiivien erottamiseksi toisistaan. Vertailukohteeksi valittu Puolangan (11) vulkaniittimetadiabaasi-kompleksi erottuu selvästi erilleen muista ja Tšohkkoavin pohjois- (7a) ja eteläosat (7b) erottuvat myös selvästi toisistaan.

Magneettisuus häviää kaikista tutkituista näytteistä lähellä 600 °C. Tämä osoittaa, että magneettisuutta kantaa varsin vähän titaniumia tai muita epäpuhtauksia sisältävä magnetiitti. Eräissä näytteissä magneettisuus säilyy selvästi 600 °C yläpuolelle (Muvratsohkka ja Taatsi). Tämä viittaa siihen, että näytteissä on hematitiittia magneettisuutta kantamassa. Muutamassa yksityisessä näytteessä mm. Peltotunturista ja Tšohkkoavilta magneettisuus laskee jyrkästi noltaan tai sen lähelle jo huomattavan alhaisessa lämpötilassa. Tämä merkinnee goethiitin tai magneetikiisun olevan magneettisuuden

Taulukko 6. Tutkittujen näytteiden magneettiset ominaisuudet.
Table 6. The magnetic properties of the investigated samples.

Näytteiden numerot	Näytteiden lukumäärä	Ottopaikat Kivilaji	Remanenssin voimakkuus (S) 10^{-5} egs/gr	Suskeptibiilitteetti (χ) 10^{-5} egs/gr	Koeningsbergin suhdeluku (Q)	Curie- (Neel) lämpötila	Stabilisuus % 300 C (K) 100 Oe (D)	Numero kuvissa 25 ja 26
94A, D ja H [*] TH-74	3	Muvratšohkka Harzburgiitti	14 [*]	47 [*]	0.3 [*]	615 [*]	62 + 9K	(1)
102B, 104D, 106E, 99A, 104A, 106B TH-74	6	Pahtajärvi Serpentiniitti, muuttuneita ultramafiitteja	159 +206 ^{**}	394 +230	0.5 +0.5	585 +16	58 + 7K	(2)
2A1, 2G, 2E2 26B ja 26E TH-74	5	Taatsi Serpentiniitti	382 +132	704 +250	0.6 +0.2	616 +26	72 +23K	(3)
10 [*] 4,31/I, 166/I HSP-74	4	Nirroselkä Pyrokseeniitti, muuttuneita ultramafiitteja	293	216	1.36	593 +16	78 +21K	(4)
96N,123S,131U, 198C,209B,126B HSP-74	6	Tarpomapäät Serpentiniityneitä duniitteja	71 +42	656 +537	0.2 +0.2	593 +15	97 + 7K	(5)
188D, 208B, 208H PP-74	3	Karhupalo Oliiviinihornblendiitti	365 +400	430 +172	0.7 +0.6	600 + 7	73 +13K	(6)
7570.11- 7573-16	23	Tšohkkoaivi Gabroperidotiitti	1580 +2060	1374 +1696	1.4 +1.1	605 +20	80+26K 67+12D	(7a)
7576.11- 7581.13	7	Gabro	40 +81	28 +58	2.8 +3.2	-	38 +25D	(7b)
550-559 HSP-75	7	Haaksalehto Gbaroja ja pyrokseeniittejä	5+9	54+36	0.14 +0.25	-	-	(8)
7413.11	1	Allivuotso Gabro	157	400	0.4	593	50K	(9)
7515.17	1	Akujärvi Pyrokseenigraniitti	36	140	0.3	-	-	(10)
19c,29b,33, 33a,33b,34 KL-75	6	Puolanka Metallaavoja ja metadiabaaseja	0.5 +0.3	16+8	0.03 +0.02	-	-	(11)

*) määrätty vain yhdestä näytteestä, **) keskihajonta

pääasiallisena kantajana. Kuumennuskäyrissä ilmenee usein mutkia, jotka osoittavat, että näytteessä esiintyy useampi kuin yksi magneettinen mineraali. Vaihtelut ovat kuitenkin satunnaisia, eikä mitään jollekin esiintymispaikalle karakteristista piirrettä kuumennuskäyrien tai Curie-Neel -lämpötilojen perusteella ole mahdollista todeta (taulukko 6 ja kuva 26).

Remanentin magneettisuuden stabiilisuutta tutkittiin kuumentamalla näytteitä 300 °C ja vertaamalla jäljellä olevan magneettisuuden intensiteettiä alkuperäiseen (taulukko 6 ja kuva 26). Tšohkkoaivin näytteiden stabiilisuutta selvitetiin lisäksi vaihtovirtakentän avulla. Eri näytteiden väliset arvot vaihtelevat melko runsaasti, mutta pieniä eroja eri kohteiden välillä voidaan havaita. Tarpomapään näytteiden remanenttinen magneettisuus on yleensä suhteellisen alhaista (71 ± 42 egs/gr), mutta se on varsin sit-

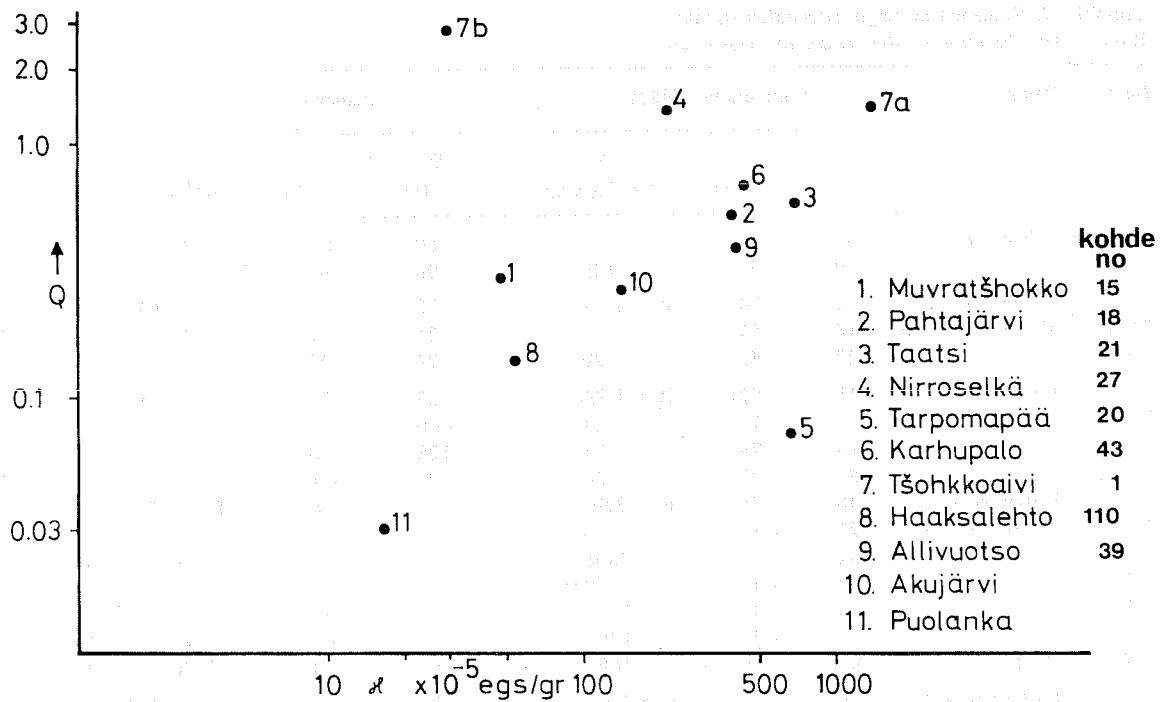
Taulukko 7. Remanentin magneettisuuden suunta.
Table 7. The direction of the remanent magnetism.

Näyte	Paikka	Alkuperäinen NRM			Demagn. jälkeen			
		D (°)	I (°)	S 10^{-5} egs/cm ³	D (°)	I (°)	S 10^{-5} egs/cm ³	Oe
7413.1	Allivuotso	37	78	92	50	64	19	300
.2	»	59	70	125	96	66	18	300
	Keskiarvo (2)	51	74	R = 1,993	72	67	R = 1,972	
7494.1	Menesjärvi, Inari	-14	52	25	-21	27	14	300
.2	»	-22	52	20	-24	27	13	300
	Keskiarvo (2)	-18	52	R = 1,998	-23	27	R = 1,999	
7415.1	Akujärvi, Ivalo	49	75	24	-40	41	2	300
7516.2	»	17	76	23	128	-10	3	300
.3	»	51	73	24	91	-21	2	
	Keskiarvo (3)	40	75	R = 2,992	92	6	R = 1,231	
7570.1	Tšohkkoavi, N	122	-72	0,4	-	-	-	
71.1	»	152	-6	2608	66	9	6	500
72.1	»	-42	-43	0,06	-	-	-	
73.1	»	34	33	3282	8	34	5	500
74.1	»	-80	-22	1260	33	46	58	200
75.1	»	-92	25	1688	-162	84	70	200
	Keskiarvo (6,4)	-74	-45	R = 1,628	39	48	R = 3,267	
76.1	Tšohkkoavi, S	156	76	73	-128	58	3	200
77.1	»	47	65	7	0	45	1	200
78.1	»	54	48	10	2	-3	2	200
79.1	»	71	20	5	2	63	1	200
80.1	»	-11	12	2	-11	11	1	200
81.1	»	3	22	71	-1	8	10	200
	Keskiarvo (6)	30	49	R = 4,675, $\alpha = 39^\circ$	-9	35	R = 4,699, $\alpha = 39,4^\circ$	
Kokonaisytteenveto (19,17)		10	59	R = 10,188, $\alpha = 33^\circ$	15,8	46,4	R = 11,407, $\alpha = 27^\circ$	

keää ja stabiilia, sillä 300 °C:ssa tapahtuva kuumennus pystyy hävittämään siitä vain 3 %. Tšohkkoavin eteläosan gabrosta häviää samalla käsittelyllä jo 62 % alkuperäisestä magneettisuudesta.

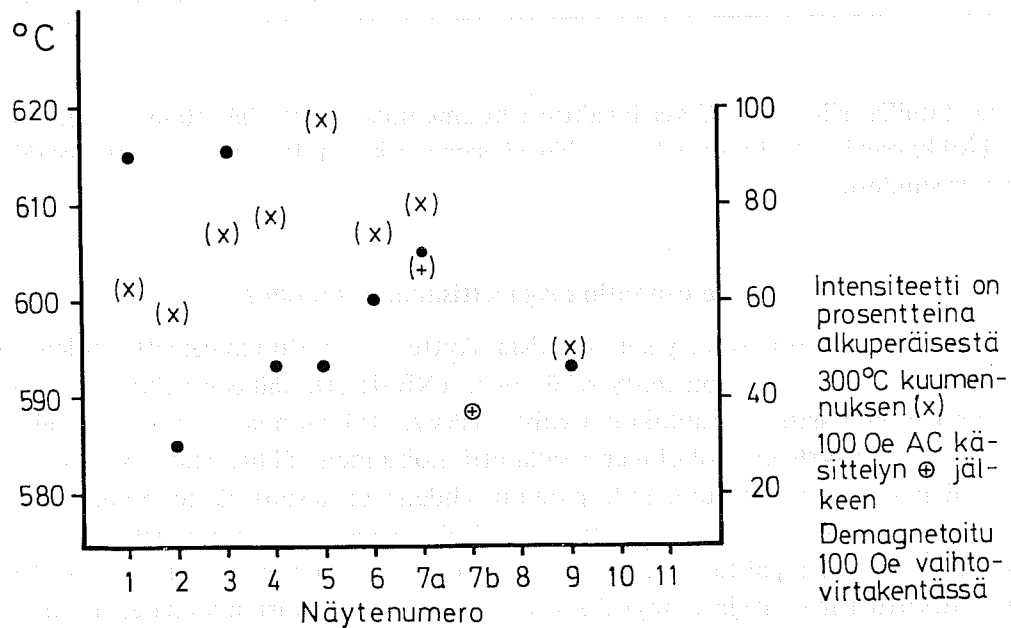
Remanentin magneettisuuden suuntaus

Taulukossa 7 on esitetty suunnatuista näytteistä mitatun magneettisuuden suunta ja voimakkuus. Mittaukset on tehty sekä ennen (NRM) että jälkeen vaihtovirtakentässä tapahtunutta puhdistusta. Taulukon arvoista näkyy, että suunnat vaihtelevat rajusti sekä yksityisen näytteenottokohteen sisällä että kohteiden välillä. Statistiset kontrollisuureet R ja α (sitä pienempi α mitä parempi yhdensuuntaisuus näytepopulaatiossa vallitsee) osoittavat, että oikeastaan mitään selvää magneettista suuntausta ei esiinny. Vaihtovirtakentässä tapahtuva näytteiden »puhdistus» ei paranna suuntausta (α ei pienene). Tutkittuja massiiveja ei myöskään ilmeisesti pystytä varmuudella erottamaan magneettisen suuntauksen perusteella. Tosin eräitä selviä eroja on mahdollista havaita. Niinpä Menesjärven molemmissa näytteissä on negatiivinen deklinaatiokulma ja huomattavasti pienempi inkliinaatio kuin saman kaltaisissa kivissä Allivuotsossa ja Akujärvellä. Kahden viime mainitun kohteen suuntaus on toisaalta varsin samanlaista keskenään. Tšohkkoavin kivissä ei näy mitään säännönmukaisuutta.



Kuva 25. Koenigsbergin suhteen (Q) ja magneettisen susceptibiliteetin (κ) välinen riippuvuus.

Fig. 25. Koenigsberger (Q) ratio vs magnetic susceptibility (κ).



Kuva 26. Curie-lämpötila (•) ja magneettinen stabilisuus (x tai +) eri näytteissä.

Fig. 26. Curie temperature (•) versus magnetic stability (x or +) in different samples.

Magneettinen anisotropia

Yhdestä suunnatusta kairasydännäytteestä (7573) Tsohkkoaivin massiivin pohjoisosan gabrosta tehtiin magneettinen anisotropiamittaus. Tarkoitus oli selvittää, voitaisiinko tätä ominaisuutta käyttää näytteenotto paikalle tunnusomaisena piirteenä. Tulokset on esitetty seuraavassa taulukossa (taulukko 8).

Taulukon arvoista näkyy, että magneettisen anisotropian suuntaus on täysin satunnaista.

Taulukko 8. Magneettisen anisotropian suuntaus näytteessä 7573.
Table 8. The direction of magnetic anisotropy in the sample 7573.
Tsohkkoaivi, Pajulasjärvi, Enontekiö.

Näytteen numero	Magneettinen foliatio	Magneettinen venymä
7573 .11	85°, 28°	40°, 20°
.12	43°, 64°	126°, 14°
.13	74°, 26°	49°, 24°
.14	-17°, 26°	14°, 23°
.15	-84°, 63°	209°, 38°
.16	-61°, 64°	263°, 59°
Keskiarvo	44°, 58°	a 39° 58°, 60° a 70°

Yhteenveto

Tutkimuksen tuloksena on todettava, että Lapin alueen ultraemäksiset ja emäksiset massiivit eivät magneettisten ominaisuuksiensa puolesta ainakaan näyttemateriaalin mukaan selvästi poikkea toisistaan. Mitatut Q-arvot saattavat kuitenkin tarjota erotuskelpoisen suureen ja samaan tarkoitukseen voitaisiin ajatella käytettäväksi myös remanentin magneettisuuden stabiiliutta. Remanenssin suuntaus saattaisi myös olla tähän tarkoitukseen soveltuva ominaisuus, mutta materiaali on tässä suhteessa riittämätön varman johtopäätöksen vetämiseen. Indusoituneen magneettisuuden anisotropia ei myöskään, ainakaan tutkitun näytteen valossa, ole erotteluun käyttökelpoinen suure.

MOREENIN GEOKEMIAALLISET TUTKIMUKSET (Erkki Ilvonen)

Nikkeliprojektin alkuperäisen tutkimussuunnitelman mukaisesti kohdistui eräs tutkimuksen osa ultramafiittien ja erityisesti niiden sisältämän nikkelin mahdolliseen kuvastumiseen ja malminetsinnälliseen käyttökelpoisuuteen moreenin geokemiassa.

Geokemialliset tutkimukset jakautuivat kolmeen eri vaiheeseen. Seuraavassa käsitellään kukin näistä lyhyesti. Yksityiskohtainen materiaali on esitetty dokumenttikokoelmassa (Papunen, 1977) kunkin tutkimuskohteen selostuksessa.

Näytteenotto raskaalla paineilmaporauskalustolla

Kivilajitietojen saamiseksi peitteisiltä alueilta sekä ultramafiittien ympäristön moreenin tutkimiseksi otettiin muutamien kesällä 1974 kartoitettujen kohteiden ympäristössä loka-marraskuussa 1974 näytteitä raskaalla paineilmaporauskalustolla. Työn suoritti Suomen Malmi Oy. Tutkimuskohteina olivat Nirrosekä (kohde n:o 27), Allivuotso (n:o 39), Fattijänkä (44) ja Ivalon Matti (n:o 40). Näitä kohteita tunnettiin kartoituksen perusteella tuossakin tutkimuksen vaiheessa jo varsin yksityiskohtaisesti.

Näytteenottolinjat suunnattiin jo tunnettujen muodostumien tai haettavien ultramafiittiesiintymien ympäristökivilajien liuskeisuuden suuntaa vastaan kohtisuoraan. Näytepisteiden väli kaikissa kohteissa oli 100 m. Kultakin pisteeltä pyrittiin ottamaan kalliomurskenäyte sekä vähintään yksi moreeninäyte maapeitteen paksuudesta riippuen. Paksuista moreenipatjoista otettiin useampia näytteitä.

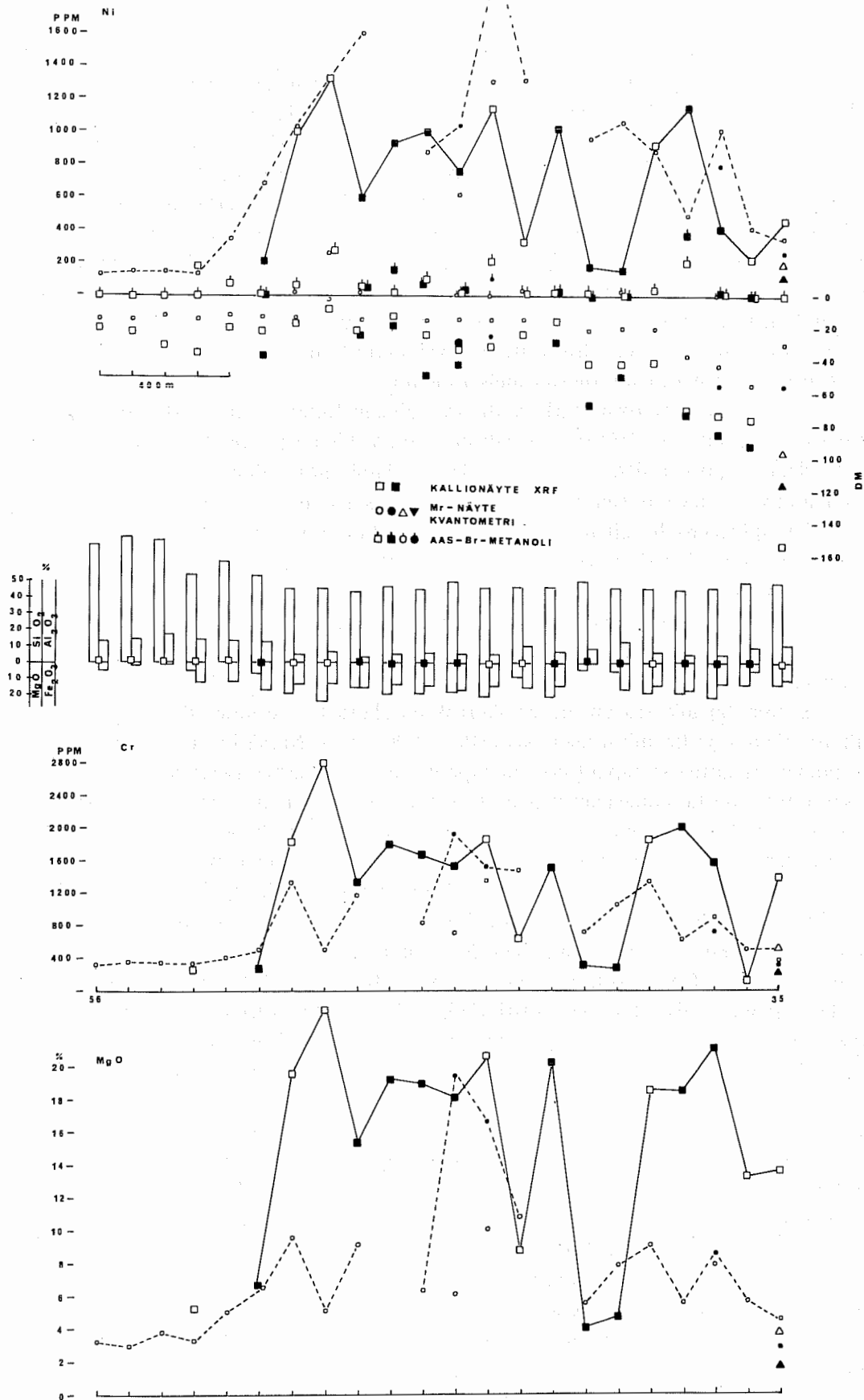
Kalliomurskenäytteet analysoitiin pääkomponenttien osalta XRF:llä ja vähiten piihappoa sisältävistä analysoitiin lisäksi hivenalkuaineita. Kaikki näytteet analysoitiin lisäksi AAS:llä samoin kuin normaalit kartoitusnäytteet.

Moreeninäytteet analysoitiin geologisen tutkimuslaitoksen kvantometrillä käyttäen geokemian osaston normaalisti käyttämiä moreenistandardeja. Näytteistä analysoitiin 0,064 mm seulan läpäissyt aines kuten geokemian rutiinikäytännössäkkin. Niistä moreeninäytteistä, joissa kvantometrianalyysin nikkeli-pitoisuus ylitti 1000 ppm, tehtiin lisäksi AAS-Br-metanolianalyysi Outokumpu Oy:n malminetsinnässä.

Ensimmäisenä merkittävänä tuloksena havaittiin jo näytteenottovaiheessa, että kaikissa tutkimuskohteissa on maaperän peittämän kallion pinta rapautunut keskimäärin 0,2-2,0 m syvyyteen saakka. Rapautuminen vaihtelee kivilajista, sen rikkonaisuudesta ja topografisesta asemasta riippuen varsin paljon. Terve kallionpinta tavattiin vain noin joka kymmenennellä tutkimuspisteellä. Tämä osoittaa, että hyvälaatuisten sulfidimalmien irtolohkareiden esiintymismahdollisuus tällä alueella on varsin pieni.

Tutkimuksen päätuloksena todettiin, että ultramafiitit kuvastuvat moreenissa hyvin selvästi. Parhaat indikaattorit moreenissa ovat kromi, nikkeli ja magnesium. Voimakkaimmin näyttää kromipitoisuus kuvastavan ultramafiittien esiintymistä. Kuvan 27 esimerkkitapauksissa on esitetty yksityiskohtaisesti iskuporauksen kivilaji- ja moreeninäytteiden analyysituloksia. Kuljetuksen suunta kuvissa on likimäärin vasemmalta oikealle. Ultramafisen kivilajiesiintymän ympäristössä nousevat glasiogeenisen kuljetuksen suunnassa sekä kromi-, nikkeli- että Mg-pitoisuudet moreenin hienossa fraktiossa varsin voimakkaasti.

Nikkelin käyttäytymisen suhteen varmin tulos saavutetaan analysoimalla moreenista kokonaisnikkeli. Analysoitaessa korkean kokonaisnikkelipitoisuuden omaavia näytteitä AAS-Br-metanolimenetelmällä, saadaan yleensä alhainen nikkeli-pitoisuus, sillä sulfidin säilyminen moreenin hienossa fraktiossa muuttumattomana on epätodennäköis-



Kuva 27. Paineilmaporauslinja no 3:lta Nirroselästä (kohde 27) otetut kalliomurske- ja moreeninäytteet sekä eri alkuaineiden pitoisuusvaihtelut. Linja ulottuu ultramafisen massiivin poikki.

Fig. 27. Chemical composition of till and the bedrock below it. Sampled with a pneumatic drill, mapping area 27, Nirroselkä. The sampling line runs across the ultramafic body.

tä. Kuitenkin eräs moreeninäyte Allivuotsosta sisältää kvantometrianalyysin perusteella nikkeliä 2225 ppm ja AAS-Br-metanolianalyysin perusteella 692 ppm. Tätä näytettä on pidettävä poikkeuksellisena, sillä se sisältää myös rikkiä 1,35 %. Syy saattaa olla näytteenottotekniikassa, jolloin sisäosistaan terve kivi on terän vaikutuksesta jauhautunut.

Iskuporauksen tuloksista todettiin, että sekä Nirroselän että Allivuotson ultramafiitit ovat huomattavasti laajempia kuin kallioperäkartoituksen perusteella oli päätelty. Sen sijaan Fattijängän ja Ivalon Matin kohteissa ei moreenin geokemian tuloksista voitu todeta indikaatioita ainakaan suurehkojen ultramafiittien esiintymisestä ympäristössä aikaisemmin tunnettujen lisäksi. Näin vähäisen tutkimuspistemäärän perusteella ei kuitenkaan voi tehdä varmoja johtopäätöksiä, varsinkin kun kartoituksessa on todettu keskimääräisten ultramafiittien olevan melko pieniä.

Työn jälkeen tuloksia tarkasteltaessa voidaan todeta, että etsittäessä ultramafiitteja tällä keinolla on 100 m pisteväli liian pitkä. Pienet ja epäyhtenäiset muodostumat voidaan helposti ohittaa, ja ellei riittävää määrää moreeninäytteitä oteta, voidaan tämänkaltaisten tutkimuksen perusteella tehdä täysin vääriä johtopäätöksiä.

Yleispiirteinä havaittiin, että ultramafiitit kuvastuvat moreenissa voimakkaimmin varsin lähellä itse kivilajiesiintymää. Normaalimatka on 0–300 m. Tämä tietysti vaihtelee eri alueilla suuressa määrin esiintymän koosta, topografisesta asemasta, rapautuneisuudesta sekä ylikulkeneiden jäätiköiden toimintamekanismeista riippuen. Päävaikuttajana geokemiallisen kuvastumisalueen pienuuteen lienee juuri esiintymien vähäinen koko muihin kivilajeihin nähden.

Eräissä tapauksissa on moreenikerroksen alaosista otetuissa näytteissä merkittävän korkeita nikkeli- ja kromipitoisuuksia (800–2500 ppm). Nämä johtuvat ilmeisesti kalliion pinnan rapautuessa tapahtuneesta supergeenisestä rikastumisesta ja rikastuneen aineksen joutumisesta ainoastaan vähän sekoittuneena ja laimentuneena moreenin alaosaan. Ultramafisten kivien rapautumista saatiin korkeita nikkeli- ja kromipitoisuuksia, kun taas sivukivien rapautumisissa pitoisuudet olivat selvästi pienemmät.

Yleensä sekä kromi että nikkeli ovat moreenissa varsin hyvin säilyviä. Kuitenkin nikkeli näyttää suhteellisesti katoavan helpommin kuin kromi ja kromi siis säilyy näistä kahdesta paremmin. Esimerkiksi Allivuotsossa kartoituksen kivilajinäytteiden kromin ja nikkelin suhde on 0,89 mutta moreenin hienossa fraktiossa 2,06. Absoluuttiset pitoisuudet alenevat moreenissa huomattavasti kiviin nähden. Allivuotsossa on kromipitoisuus kivissä keskimäärin 1483,3 ppm ja moreenissa 808,5 ppm. Vastaavasti nikkeliä on kivissä 1666,6 ppm ja moreenissa 392,2 ppm. Vastaavankaltainen on tilanne kaikissa kohteissa, joissa moreenitutkimusta on tehty: siis kromi on moreenissa rikastunut nikkeliin nähden.

Missä määrin moreenissa ultramafiittien läheisyydessä korkeina pitoisuuksina esiintyvä nikkeli on peräisin silikaattisesta ja/tai sulfidisesta nikkelistä, on toistaiseksi tuntematonta, koska moreenitutkimuksessa ei ollut yhtään kohdetta, joissa sulfidista nikkeliä olisi ollut runsaasti. Ilmeistä kuitenkin on, että pelkästään korkea nikkelpitoisuus moreenissa ei kerro alkuperäisen lähteen sulfidista tai silikaattista alkuperää. Kiven rapautuessa sekä silikaateista että sulfideista peräisin oleva nikkeli vapautuu ja sitoutuu uudelleen läheisyyteen, paikallisista fysiokemiallisista olosuhteista riippuen joko alkuperäisestä rikastuen tai köyhtyen.

Nikkelin ja kuparin suhde saattaisi olla käyttökelpoinen indikaattori ratkaistaessa ongelmaa, milloin moreenissa tavattu nikkelianomalia kannattaa tutkia tarkemmin, sillä nikkelimalmit sisältävät yleensä ainakin pieniä määriä kuparia. Eckstrandin (1975)

mukaan juuri nikkelin ja kuparin suhdetta käytetään hyväksi mm. tutkittaessa Australian ultramafiitteja geokemiallisesti. Ultramafisen kiven läheisyydessä moreenissa esiintyvät korkeat nikkelpitoisuudet ja samalla suhteellisen alhainen nikkeli-kuparisuhde osoittavat kohteen lähemmän tutkimisen arvoiseksi.

Geokemiallisen kartoituksen sovellus

Paineilmaporauksesta saatujen tulosten perusteella käynnistettiin Geologisen tutkimuslaitoksen geokemian osaston kanssa yhteistutkimus, jonka tarkoituksena oli selvittää lähemmin Allivuotson kivilajijaksoa. Päätaavoitteena oli saada selville, missä määrin pelkästään moreenin alueellisella geokemiallisella tutkimuksella voidaan peitteiseltä alueelta todeta ultramafiitteja. Tässä tarkoituksessa geokemian osasto otti talvella 1975 moreeninäytteitä osaston normaalikäytännön mukaisesti eli yhden kilometrin linja- ja 100 m pisteväleihin joka viidennen pisteen joka toisella linjalla ollessa ns. profiilipiste. Tällaisilta pisteiltä otettiin näytteitä noin metrin syvyysvälein (kuva 28).

Tutkimus oli siis geokemian osaston normaalia karttalehtitutkimusta ja tällä alueella työ tehtiin vain aikaisemmin kuin mitä sen vuoro Geologisen tutkimuslaitoksen toimintasuunnitelmissa muuten olisi ollut.

Tuloksista todettiin, että nikkelin ja kromin korkeat pitoisuudet kuvastavat paljastuneita ja paljastumattomia ultramafiitteja, jotka tässä Allivuotson kohdassa ovat karbonaattitortopyroksenikiviä, perkniittejä, peridotiitteja ja gabroja. Osa kallioperän piirteistä on saatu iskuporaustutkimuksen ja tämän työn perusteella. Mangaanin korkeita pitoisuuksia esiintyy melko runsaasti ultramafiittien yhteydessä, mutta suhteellisen paljon myös tutkimuskohteen itäpuolella. Kokonaisuutena näyttää siltä, että mangaanin esiintymistä säätelevät toisin kuin nikkeliä ja kromia myös monet muut tekijät, esim. pohjavesiolosuhteet. Mangaanilla ei näytä ainakaan systemaattisesti olevan hyvää indikaattiarvoa etsittäessä ultramafiitteja moreenin geokemian avulla. Koska mangaanisaostumilla on taipumus rikastaa raskaita metalleja pienistäkin pitoisuuksista, saattaa mangaanin välillinen käyttökelpoisuus myös nikkelimalmien etsimisessä olla kuitenkin merkittävä.

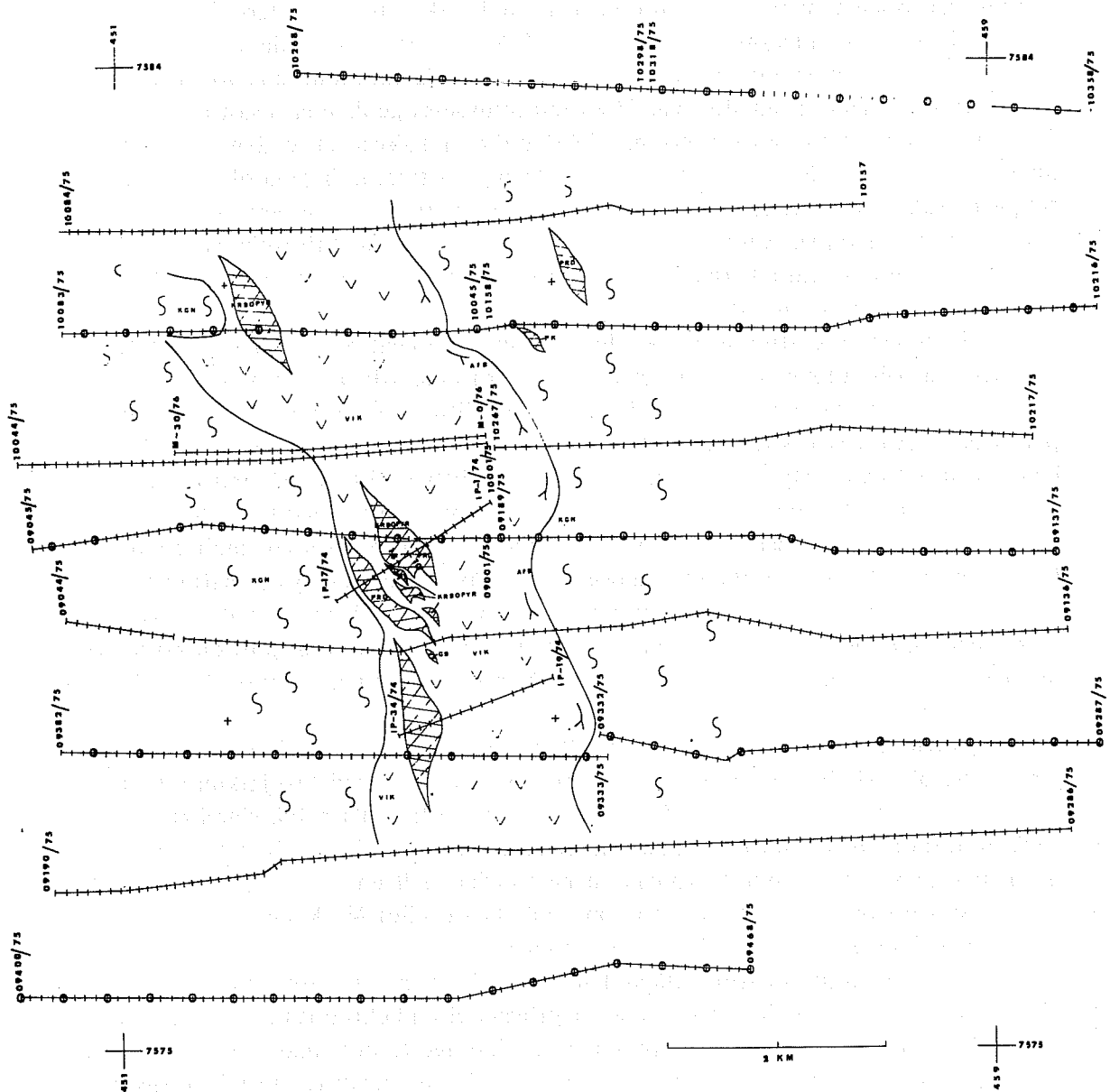
Allivuotson kohteella tehdyn alueellisen moreenin geokemiallisen tutkimuksen perusteella on pääteltävissä, että ultramafiitteja sisältävä kivilajijakso jatkuu sekä luoteeseen kohti Nirroselkää että myös kaakkoon siten, että siellä täällä vihreäkiven sisässä on ultramafiittipuhkeamia. Tätä suhteellisen kapeaa kivilajivyöhykettä olisi varsin helppo paikantaa ja seurata samalla menetelmällä edelleen.

Allivuotson moreenitutkimusta on myös tarkastellut M. Äyräs (1976) ja päätynyt samankaltaiseen tulokseen kuin tässä esitetty.

Allivuotson ultramafiitin itäpuolella on geokemian tuloksissa muutamia korkeita kuparipitoisuuksia. Vaikka vastaavissa näytteissä ei nikkelpitoisuus olekaan erityisen korkea, saattaisi anomalioiden pistemäisestä luonteesta huolimatta olla aiheellista tarkistaa niitä lähemmin. Perusteena voidaan pitää Cu-anomaalisten pisteiden sijaintia ultramafiittiin nähden sekä tässä käytettyä yksityiskohtaiseen tutkimukseen liian harvaa näytepisteväliä.

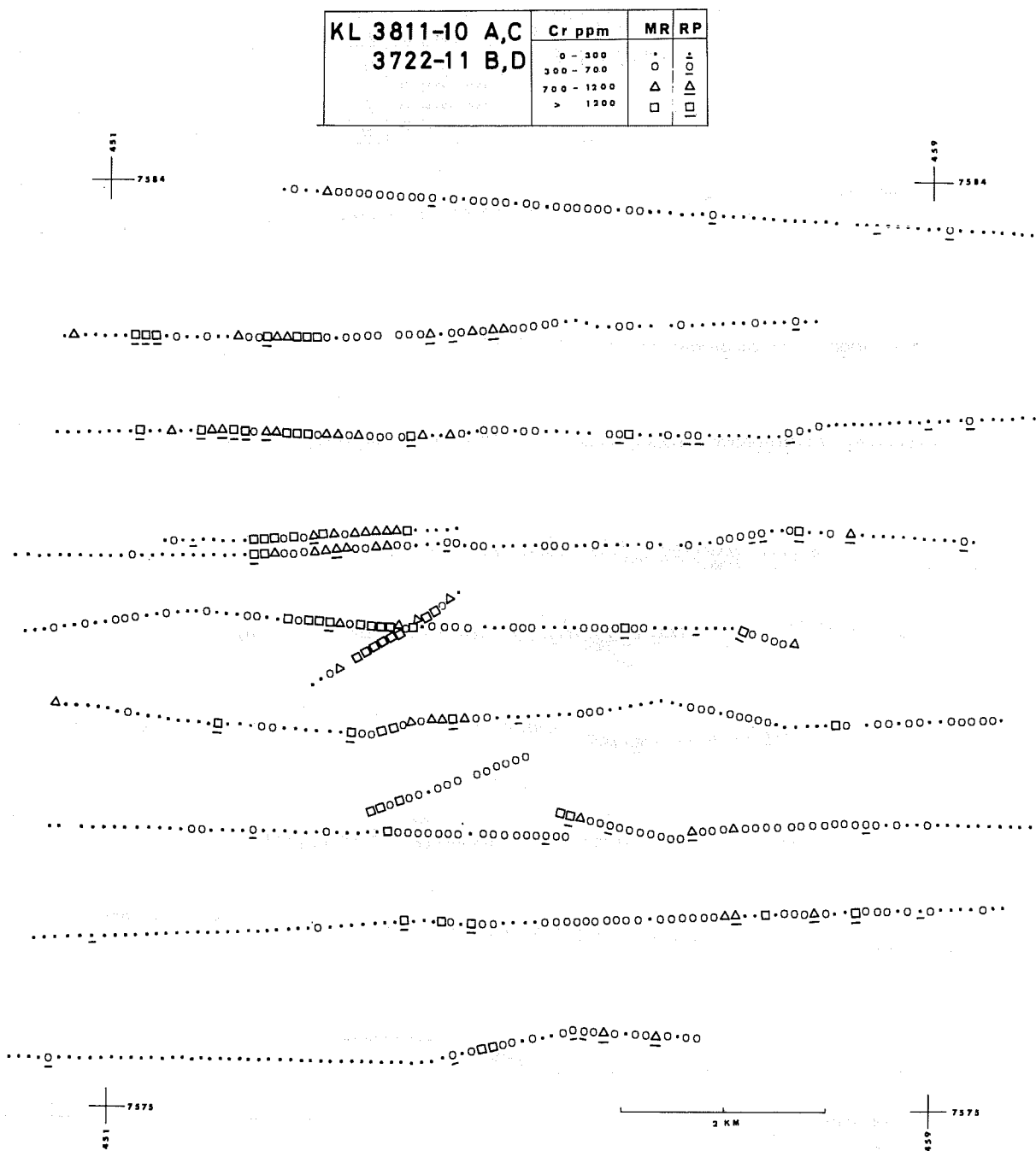
Osa korkean nikkeli- ja kromipitoisuuden omaavista näytteistä (kuva 28) on otettu rapautuneesta kalliosta (RP). Rapautumiin on ilmeisesti tapahtunut nikkelin ja kromin rikastumista.

KL 3811-10 A,C NÄYTEPISTEKARTTA
3722-12 B,D



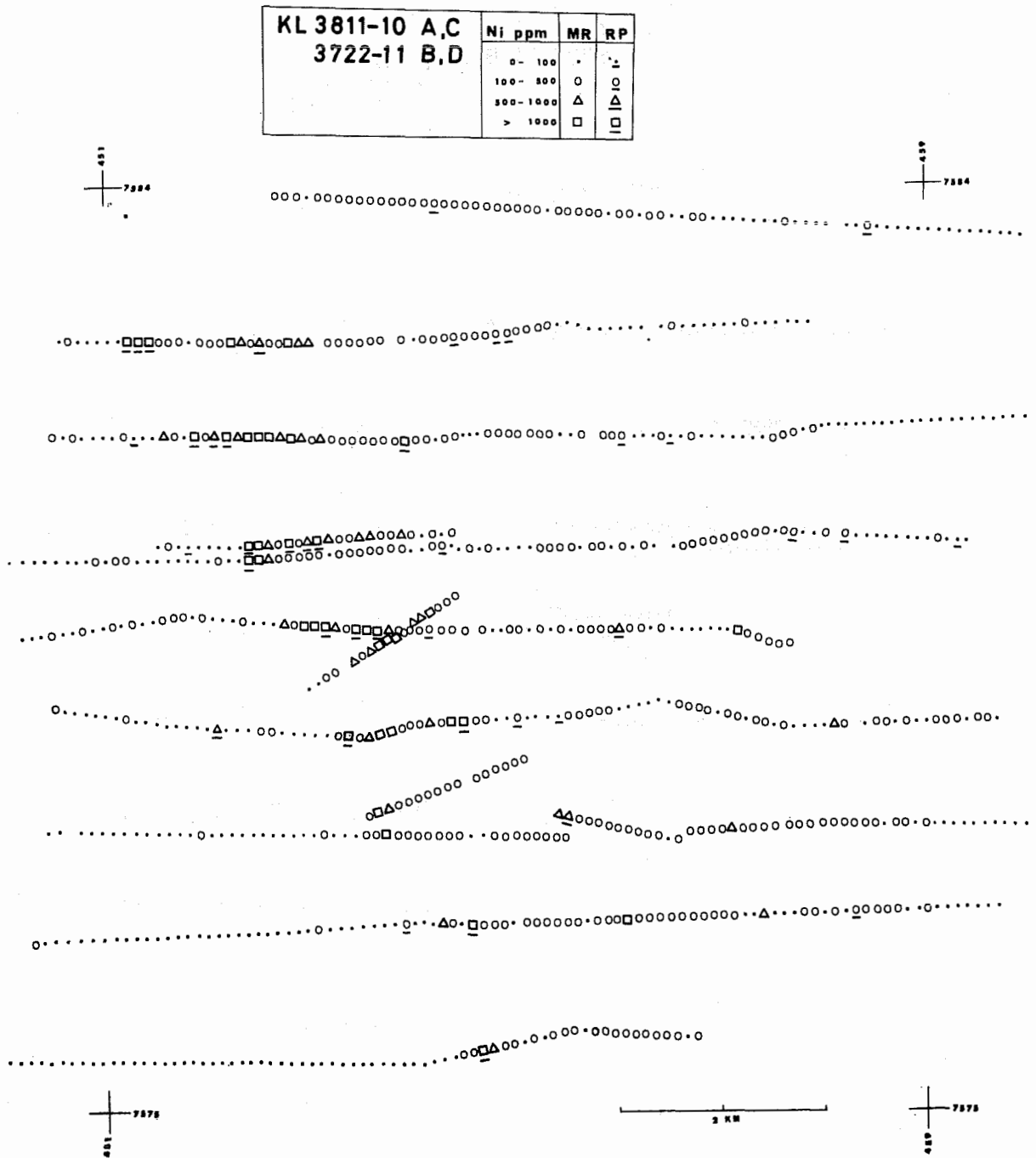
Kuva 28.a Allivuotson alueella suoritetun moreenitutkimuksen näytestepistekartta sekä kivilajit (vrt. kuva 8).

Fig. 28.a Till study in Allivuotso; sampling points



Kuva 28.b Kromin pitoisuudet moreenissa.

Fig. 28.b Cr in till



Kuva 28.c Nikkelin pitoisuudet moreenissa.

Fig. 28.c Ni in till.

Tarkasteltujen alkuaineiden anomalioissa on havaittavissa tiettyä glasiogeenista vaikutusta. Voimakkain siirtyminen on tapahtunut kivilajiesiintymien koillis- ja itäpuolella. Tämä ilmentää mainittuun suuntaan tapahtunutta jäätikön aiheuttamaa materiaalin siirtymistä. Voimakkain anomalia on ultramafiittien läheisyydessä, mutta jopa useiden kilometrien päässä havaitaan hajanaista, joskin selvää anomaalisuutta. Jäätikön aiheuttama materiaalin kuljetus näkyy parhaiten kun verrataan keskenään muodostumien koillis- ja toisaalta lounaispuolen kromi- ja nikkelpitoisuuksia. Esimerkiksi Allivuotson ultramafiittien koillispuolella on 100-500 ppm nikkelpitoisuuksia enemmän kuin lounaispuolella, jonne kulkeutumista on tapahtunut vähäisemmässä määrin.

Siellä täällä profiilinäytteissä havaitaan johdonmukaista kromi- ja nikkelpitoisuuden vaihtelua, joka kuvastanee moreenin patjarakennetta. Tätä kysymystä ei tarkastella tässä lähemmin, mutta edellä mainitut seikat osoittavat, että ultramafiittien koostumuksen erikoisluonnetta voitaisiin käyttää varsin tehokkaasti hyväksi moreenitutkimuksissa.

Moreenitutkimuksen huomattavin tulos on se, että menetelmää pystytään käyttämään menestyksellä etsittäessä kohtuullisin kustannuksin ultramafiitteja peitteisiltä alueilta. Todennäköisesti pystytään myös tarkennetulla näytteenotolla määrittelemään suuresta anomalamäärästä ne, joihin voi liittyä nikkelimälmejä.

Nikkeliprojektin kartoituskohteena oli myöskin Kuusi-Lomavaaran ultramafiitti (n:o 121). Lukuunottamatta moreenin mineraalikoostumustutkimusta ei siellä tehty muita moreenitutkimuksia. Geologisen tutkimuslaitoksen geokemian osasto on sen sijaan tehnyt alueelta normaalin karttalehtityön. Kuvassa 29 on yhdistetty geokemian karttojen Ni-, Cr- ja Mg -tietous nikkeliprojektin kallioperäkartoitustulokseen. Tulos osoittaa selvästi, että ultramafiitit tulevat geokemian keinoin varsin selkeästi esille. Allivuotso ei siis ole mikään erikoistapaus eikä liioin Nirroselkä.

Moreenin mineralogiset tutkimukset

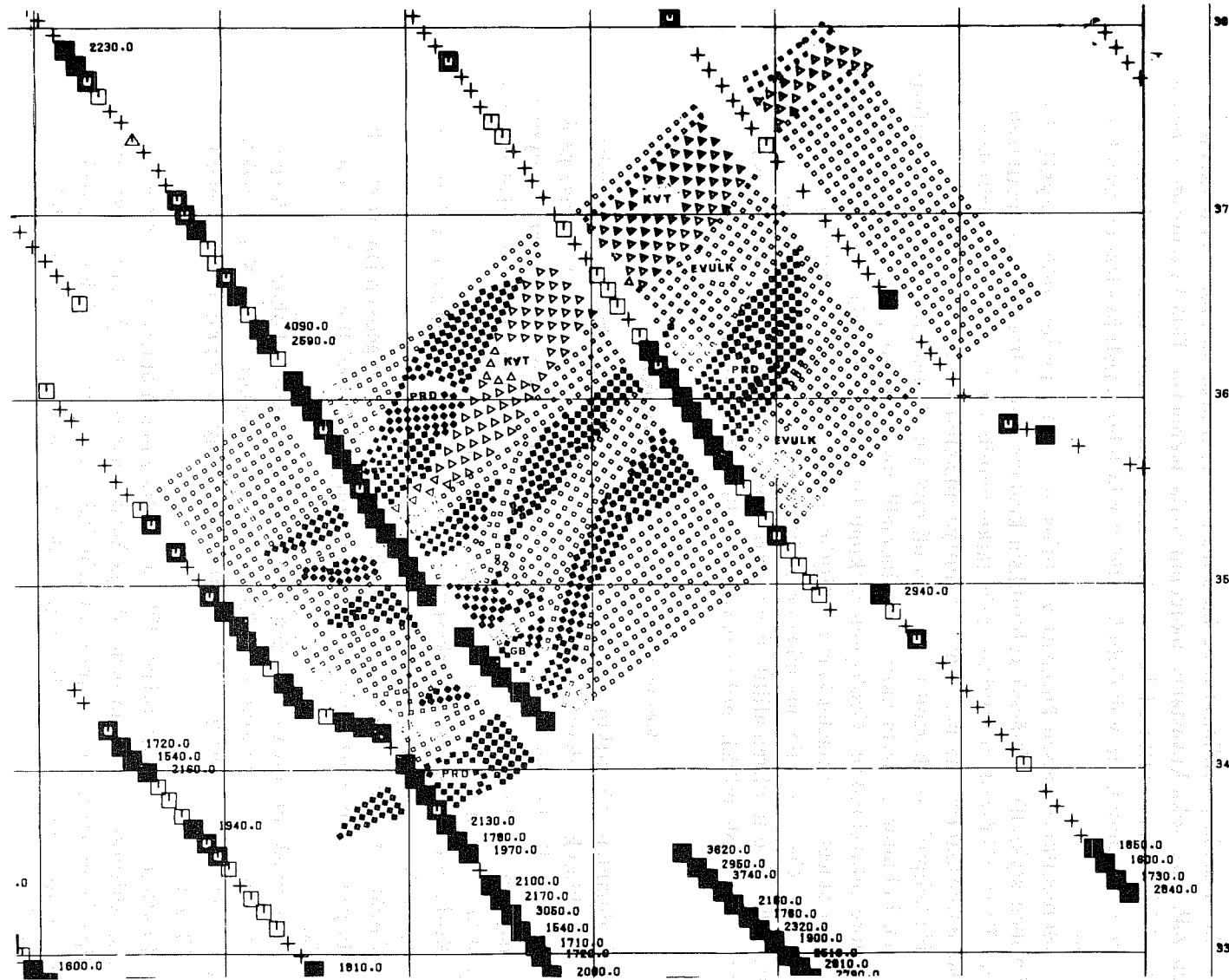
Kolmantena päätutkimusteemana oli moreenin mineralogisen koostumuksen tutkiminen pyrkimyksenä selvittää, kuinka ultramafiitin luonne ja siitä aiheutuva geokemiallinen anomalia ilmenee moreenin mineraalikoostumuksessa. Toisin sanoen pyrittiin selvittämään, mitä yhteistä on moreenin hienosta fraktiosta saadun geokemiallisen anomalian ja näytteen mineralogisen koostumuksen välillä.

Koska mikroskooppisen tarkastelun käytännöllinen alaraja on n. 0,1 mm rae-koko, suoritettiin tutkimus fraktiosta 0,125-0,250 mm.

Tämäkin tutkimus tehtiin yhteistutkimuksena GTL:n geokemian osaston kanssa siten, että geokemian osasto suoritti näytteenoton ja pohjafraktion analysoinnin kvantometrillä.

Tutkimuskohteiksi valittiin seuraavat neljä kartoitettua kohdetta: Allivuotso (39), Sattasvaara (102), Moskuvaara (73) ja Kuusi-Lomavaara (121). Näihin päädyttiin siitä syystä, että tarpeellista taustatietoa oli jo lyhyenä toiminta-aikana ehditty saada riittävästi.

Näytteitä otettiin kaikkiaan 205, siten että Kuusi-Lomavaarassa käytettiin 200 m pisteväliä, Allivuotsoissa 100 m pisteväliä ja Moskuvaarassa sekä Sattasvaarassa 50 m pistevälillä. Useimmista näytepisteistä otettiin kaksi näytettä, jotta jokaisesta paikasta olisi ollut varma moreeninäyte. Rapautumanäytteet eivät olisi olleet vertailukelpoisia moreeninäytteiden kanssa.



121.
 KUUSILOMAVAARA
 Kallioperä Ni-projektin
 mukaan
 Moreenin Cr GTL:n geokemial-
 lisen kartan mukaan

ALIMMAT NAYTTEET

	CR PPM
△	< 230.0
+	230.0 - 670.0
□	670.0 - 880.0
◻	880.0 - 1140.0
■	1140.0 - 1450.0
◆	1450.0 - 1695.0
◆	> 1450.0

Kuva 29. Kuusi-Lomavaaran ultramafisen kivilajin kuvastuminen moreenin Cr-pitoisuudessa GTL:n moreenitutkimuksen mukaisesti.
 Fig. 29. The Cr-tenor of till samples around the Kuusi-Lomavaara ultramafic body (121). Till study of Geological Survey.

Taulukko 9. Moreenin raskaan fraktion ohuthietutkimus.

Table 9. Thin section investigation of the heavy fraction in the till Kuusi-Lomavaara.

Näyte no	SV	AF	FY	EP	GRA	TI	RUT	KRB	OP	KLO	ZR	MUITA	RAP. ASTE	HUOMAUTUKSIA
	%													
75-19031-37K	42.8	37.4	-	6.4	1.2	4.4	0.4	-	8.2	-	+	-	3	
75-19031-47K	38.2	40.2	1.4	5.6	2.2	3.8	-	-	8.6	-	+	-	3	RAPAUTUMISASTEEN LUOKITUS
75-19032-90K	76.6	1.6	-	9.0	3.6	3.8	2.8	-	7.0	-	+	-	2	0. Rapautumatonta
75-19032-100K	74.4	3.6	0.8	8.0	4.2	2.4	+	-	6.6	+	+	-	2	1. Sarvivälke reunoiltaan pyöristynyttä, opaakki ehyttä
75-19033-30K	68.0	13.2	0.6	6.2	2.6	1.6	-	-	7.8	+	+	SPI +	3	
75-19033-40K	72.2	7.0	0.4	9.8	3.8	1.6	++	-	5.8	-	+	-	2	2. Sarvivälke reunoiltaan repaleista, opaakki reunoiltaan pyöristynyttä
75-19034-35K	64.0	12.6	0.4	8.0	3.2	1.0	1.0	0.2	9.6	+	-	-	2	
75-19034-53K	9.6	40.0	0.4	0.8	0.4	-	-	2.4	46.4	-	-	SP +	3	3. Sarvivälke repaleista ja rei'ittyntä, opaakki reunoiltaan repaleista
75-19035-50K	9.6	56.0	0.8	-	0.8	-	12.8	20.0	-	-	-	SP +	3	
75-19035-40K	68.0	11.6	2.0	7.6	2.4	1.6	-	-	6.8	+	+	-	2	4. Opaakki vahvasti repaleista ja rei'ittyntä
75-19036-72K	78.8	4.4	1.4	5.6	2.4	4.4	-	-	2.8	+	+	-	2	
75-19036-82K	81.6	3.2	2.0	7.2	2.0	3.2	-	-	0.8	+	+	-	2	Suotautumat on suljettu pois rapautumisasteen luokituksesta
75-19037-93K	75.6	3.6	1.2	9.2	4.0	4.4	-	-	2.0	+	+	-	2	
75-19037-102K	75.2	6.0	1.2	7.6	2.0	4.0	++	-	4.2	+	-	-	2	
75-19038-20K	68.8	8.4	0.8	12.0	2.8	1.2	-	-	6.0	-	+	SP +	2	
75-19038-30K	71.0	6.0	0.4	8.0	6.0	1.6	++	-	4.4	2.2	+	SP 0.6	2	+ Mineraalia on koko hieessä 1...3 kpl
75-19039-79K	55.2	18.0	1.0	4.8	1.8	1.8	-	-	15.6	1.8	+	-	3	++ " " " " 4...6 "
75-19039-81K	27.2	34.0	0.2	2.6	0.8	0.6	-	0.2	31.6	2.4	-	SP 0.4	3	+++ " " " " >7 "
75-19040-80K	63.6	13.0	0.2	9.0	2.8	1.4	-	-	8.8	1.0	+	SPI +	3	
75-19040-90K	69.6	13.2	-	6.4	2.4	1.2	+	-	6.0	1.2	-	-	2	Mikäli aksessorisesta mineraalista on ilmoitettu prosenttiluku on se tullut laskentalinjalle
75-19041-40K	59.6	15.2	0.4	8.4	3.6	1.2	-	-	10.0	1.6	+	-	2	
75-19041-50K	66.4	8.0	0.8	10.4	7.2	1.6	-	-	3.6	2.0	-	SP +, SILL +	2	
75-19042-90K	71.2	8.8	0.4	8.4	1.2	1.6	-	-	7.6	0.8	+	SP +	2	
75-19042-100K	61.2	16.4	1.6	5.6	2.0	1.6	-	-	10.0	0.8	+	SP 0.8	2	
75-19043-30K	61.2	17.2	-	8.0	2.4	1.6	-	-	8.0	1.6	-	SP +	3	
75-19043-40K	70.4	7.2	0.4	10.8	2.8	2.4	-	-	6.0	+	+	-	2	
75-19044-40K	74.8	4.4	0.8	12.8	0.8	+	-	-	6.4	+	+	SILL +	2	
75-19044-50K	73.2	3.6	1.6	7.6	3.2	1.2	-	-	8.0	1.6	+	-	2	
75-19045-40K	65.2	6.4	0.4	7.2	4.0	2.0	0.8	-	14.4	0.4	+	HE +	2	
75-19045-50K	67.6	6.0	-	7.6	2.0	2.0	-	-	14.0	0.8	+	HE +	2	
75-19046-50K	66.4	3.6	0.4	7.6	4.0	4.4	++	-	12.4	1.2	+	-	2	
75-19046-60K	68.4	2.8	1.2	9.6	5.6	1.6	++	-	10.0	0.8	+	SP +	2	
75-19047-30K	71.2	3.6	0.8	10.4	4.0	1.6	+	-	8.4	-	-	-	2	
75-19047-40K	68.8	4.8	0.8	8.8	5.6	1.6	+	-	8.8	0.8	+	-	2	

Laboratoriossa erotettiin tutkittava fraktio seulomalla ja separoitiin siitä tetrabrometaanin avulla raskas fraktio erilleen. Raskaasta fraktiosta valmistettiin ohuthie, joka tutkittiin mikroskooppisesti siten, että määritettiin eri mineraalien suhteellinen jakautuminen. Yleisimmät mineraalit erotettiin seuraaviksi ryhmiksi: sarvivälke, muut amfibolit, pyrokseenit, epidootti, opakki, granaatti, titaniitti ja zirkoni sekä satunnaisesti joitakin muita (taulukko 9). Tutkimuksen yksityiskohtaiset tulokset on esitetty dokumenttikokoelmassa (Papunen, 1977).

Yleisesti tuloksesta voidaan todeta seuraavaa:

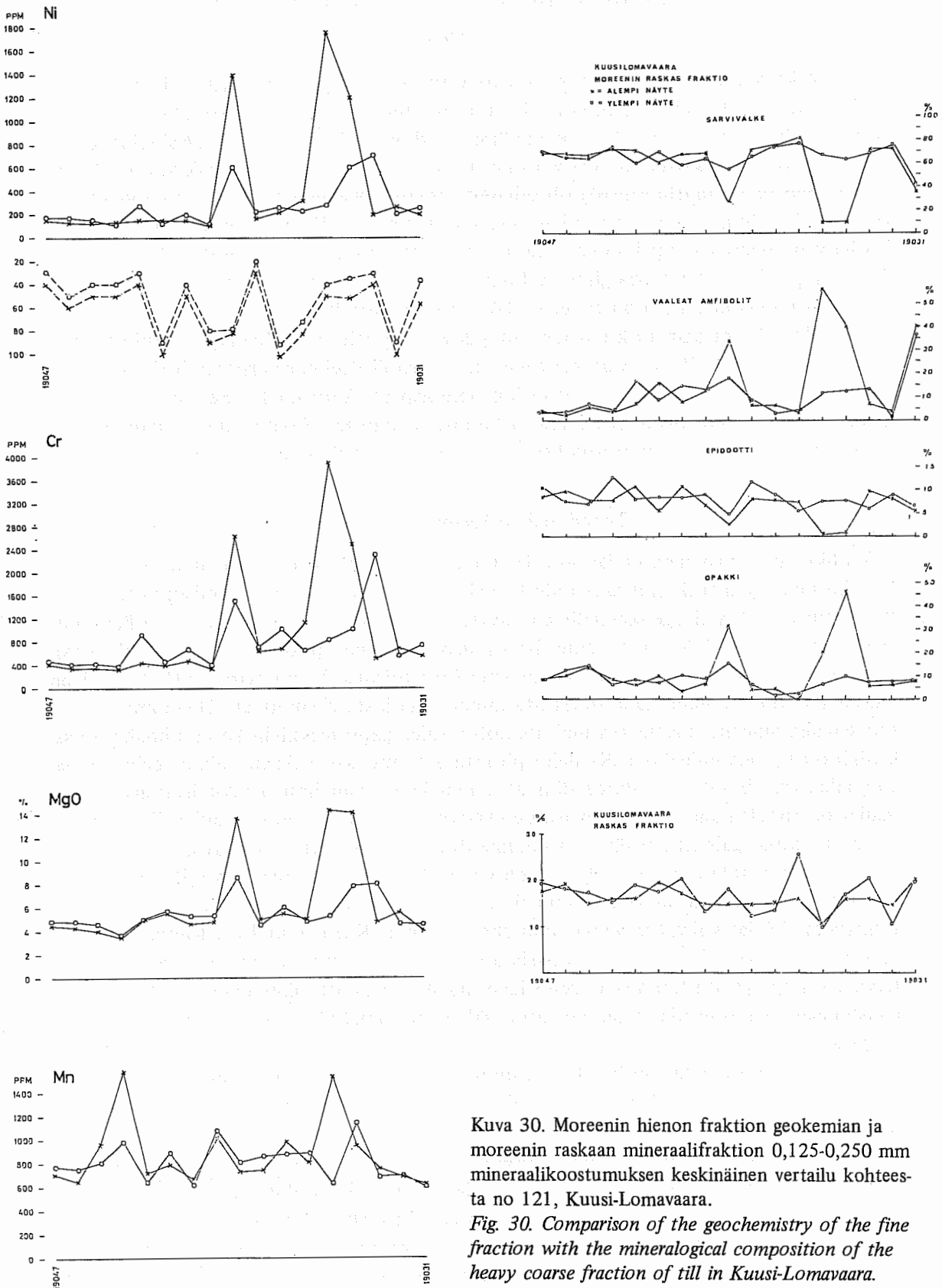
Verrattaessa Kuusi-Lomavaaran moreenin pohjafraktiosta saatua geokemiallista kuvaa ja toisaalta mineralogisen tutkimuksen tulosta keskenään (kuva 30), havaitaan niissä tutkimuspisteissä, joissa kromia, nikkeliä ja magnesiumoksidia on eniten sarvivälkeen määrän laskevan voimakkaasti. Samalla tapahtuu ryhmässä muut amfibolit 1. vaaleat amfibolit voimakas pitoisuuden nousu. Vaaleat amfibolit ovat lähinnä ultramafiittien amfiboleja ja niiden muuttumistuloksia, todennäköisesti pääasiassa aktinoliittisarjan Mg-rikkaita komponentteja. Täten vaaleat amfibolit (taulukossa 9 AF) kuvastavat juuri ultramafiittien amfiboleja. Pyrokseenien määrä on absoluuttisesti kaikissa tapauksissa varsin pieni, joskin keskinäiset vaihtelut ovat hyvinkin suuria. Kuusilomavaarassa epidootin määrä laskee, ja opakin osuus kasvaa nikkelin, kromin ja magnesiumoksidin korkeimpien pitoisuuksien kohdalla.

Saman kaltainen on tilanne Allivuotson näytesarjassa. Sarvivälkkeen määrä laskee nikkelin, kromin ja magnesiumoksidin korkeimpien pitoisuuksien kohdalla ja vastaavasti ultramafiiteista peräisin olevien vaaleiden amfibolien määrä nousee. Samankaltaisia muutoksia on eräiden muiden mineraaliryhmien kohdalla. Pyrokseeniä esiintyy ultramafiitin alueella sekä kuljetussuunnassa ja epidootin määrä on samalla alueella pienimmillään. Raskaan fraktion osuus koko fraktiosta on suurimmillaan ultramafiitin kohdalla.

Edellisten tapausten kaltainen, joskaan ei yhtä selväpiirteinen, on tilanne Sattasvaarassa ja Moskuvaarassa. Sattasvaaran kohde on laaja kloriitti-amfibolikiviesiintymä vihreäkiviympäristössä. Tästä syystä ultramafiittien tyypilliset geokemialliset kuvastajat ovat kautta koko tutkitun linjan korkealla tasolla. Ilmeisesti vasta laajemmalle ympäristöalueelle ulottunut tutkimus olisi tuonut voimakkaammat kontrastit esille. Moreenin geokemian ja mineraalikoostumuksen kokonaisindikaatio on kuitenkin varsin voimakas. Ultramafiitin vaikutus moreenin geokemiaan ja myös mineraalikoostumukseen nousee voimakkaimmaksi Sattasvaaran moreenitutkimuslinjan pohjoispäässä.

Verrattaessa Geologisen tutkimuslaitoksen geokemian osaston julkaisematonta tutkimusmateriaalia ja kallioperähavaintoja sekä toisaalta tässä tutkimuksessa saatuja tuloksia tulee selvästi esille kivilajien vaihtuminen muutamien kilometrien päässä Sattasvaarasta pohjoiseen. Ilmeisesti vihreäkivi muuttuu siellä muuksi kivilajiksi. Tämä osoittaa, että vihreäkivien sisällä olevat kloriitti-amfibolikivet antavat moreenin geokemiaan samankaltaisen indikaation kuin vihreäkivet. Sattasvaaran tyypilliset kloriitti-amfibolikivet, jotka vastannevat primaarikoostumukseltaan perkniittejä, muistuttavatkin geokemialliselta luonteeltaan enemmän vihreäkiviä kuin esim. Allivuotson tyypisiä peridotititeja.

Moreenin mineraalikoostumuksen tutkimuksesta ultramafiittien ympäristössä voidaan siis todeta, että ympäristöstä erottuvaa geokemiallista anomaliaa, joka saadaan moreenin hienosta fraktiosta, vastaa myös selvästi ympäristöstä erottuva moreenin mineraalikoostumus. Jo pelkästään moreenin geokemia antaa myös suuntaa-antavan kuvan itse ultramafiitin koostumuksesta.



Kuva 30. Moreenin hienon fraktion geokemian ja moreenin raskaan mineraalifraktion 0,125-0,250 mm mineraalikoostumuksen keskinäinen vertailu kohteesta no 121, Kuusi-Lomavaara.

Fig. 30. Comparison of the geochemistry of the fine fraction with the mineralogical composition of the heavy coarse fraction of till in Kuusi-Lomavaara.

MINERALISAATIOT JA NIIDEN TUTKIMUKSET

Yleistä

Aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu mafiisin ja ultramafiisiin kiviin liittyviä sulfidimineralisoitumia T^vsohkkoain intruusion eteläosassa, Kaamajoen alueella, josta on mm. tehty moreeni- ja litogeokemiallinen tutkimus (Wennervirta, 1968). Suomen Malmi Oy on 1960-luvulla useina vuosina tutkinut mm. Repokairan vyöhykettä asbestiesiintymien takia, mutta samalla oli selvitelty myös matalalentomittauksilla todettuja sähköisiä häiriöitä, jotka havaintojen mukaan liittyivät grafiittiliuskeisiin. Niin ikään Inarijärven eteläosassa on kohteen 126 (Lahessaari) kiisupitoinen noriitti ollut sekä Outokumpu Oy:n että Geologisen tutkimuslaitoksen tutkimusten kohteena. Samoin Vallenkarilta (kohde 127) on todettu Ni-pitoisia mafisia kiviä.

Nikkeliprojektin tutkimusten yhteydessä kairattiin em. Kaamajoen esiintymään 6 reikää ja Iso-Siettelöjoen varressa todettuun kiisupiroitteeseen serpentiniittiin 4 reikää. Lisäksi tutkittiin T^vsohkkoain intruusion pohjoispäätä kairaamalla. Seuraavassa kappaleessa esitellään yhteenvetona näiden tutkimusten tulokset. Alkuperäinen materiaali sydänraportteineen ja analyysituloksineen on dokumenttikokoelmassa (Papunen, 1977).

T^vsohkkoain Kaamajoen tutkimus

T^vsohkkoain massiivin eteläosassa Haukijärven itäpuolella Kaamajoen varressa oli Outokumpu Oy:n tutkimuksissa todettu paljastumissa heikkoa kuparikiisupiroetta. Paljastumista tehty litogeokemiallinen näytteenotto osoitti Cu-pitoisuuden parhaimmillaan olevan noin 0,5 %, mutta alueellisesti keskimääräinen pitoisuus jäi varsin alhaiseksi. Ni-pitoisuus oli aina selvästi alhaisempi kuin Cu-pitoisuus. Wennervirran (1968) mukaan moreenissa tulee Cu-anomalia todetusta mineralisaatiosta N-suuntaan. Ni-anomalia sattuu samalle alueelle, mutta sen maksimikohta tulee gabromassiivin keskikohdalle, jossa kivilaji on pyrokseenigabroa. Kivilajin pitoisuudet eivät kuitenkaan tällä alueella vastaa anomalian Cu/Ni -suhteita. Purosedimenttianomaliaissa vahvimmat nikkelivaltaiset anomaliat on todettu sijaitseviksi Kaamajoen varressa oletetun gabrokontaktin E-puolella, sen sijaan koko gabron alueella purosedimenttianomaliat ovat Cu-voittoisia.

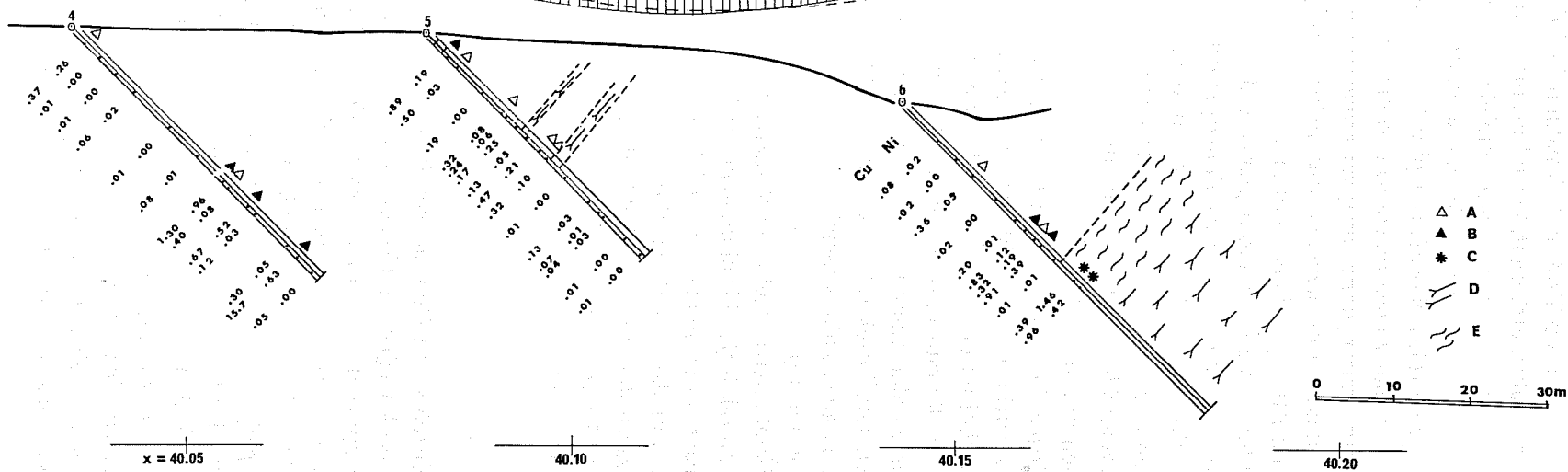
Cu-mineralisaation alueella on tehty pienalainen geofysikaalinen mittaus. Korkeajaksoisella slingramilla on saatu anomaliaita, jotka ilmeisesti osoittavat pirotteen esiintymisrajoja. Reiät kairattiin vahvimpiin anomalioihin (Kaamajoki 1-6). Kairausprofiilit on esitetty kuvassa 31. Analyysituloksia arvioitaessa on syytä huomata, että ainoastaan reikä 1 on analysoitu kokonaan, sen sijaan muista on otettu näytepalat (10-15 cm) edustamaan analyysiväliä. Tästä aiheutuu vähäinen ylimääräinen hajonta analyysituloksissa.

Kuparikiisuvaltainen heikko kiisupirote esiintyy noin 100 m leveällä vyöhykkeellä gabron kontaktin läheisyydessä. Keskimääräinen Cu-pitoisuus jää vain kymmenesosaprosentin luokkaan, vaikka gabrossa onkin muutamien metrien levyisiä vyöhykkeitä, joissa Cu -pitoisuus kohoaa lähelle prosenttia. Kiisut esiintyvät hienojakoisena pirotteena, mutta satunnaisesti, esim. reiän K-4 alapäässä on kuparikiisuvaltainen massiivinen juoni, jossa on noin puolet juonesta kuparikiisua. Kuparikiisupirotteesta poikkeava mineralisaatio on tavattu lähellä gabron kontaktia tai osittain kontaktikivenä olevassa kloriittiliuskeessa. Tässä esiintyy kompakteina, korkeintaan 0,5 m leveinä juonimaisina osina pentlandiittivaltaisia kiisuja, joissa sulfidifaasin Ni -pitoisuus on jopa 5-6 %.

KAAMAJOKI

leikkaus y = 14.00

Sähkö.prof.



Kuva 31. Töshkkoain Kaamajoen kairausprofiilien analyysitulokset. A = kuparikiusmineralisaatio, B = runsaampi kuparimineralisaatio, C = nikkelimineralisaatio, D = amfiboliitti, E = kloriittiliuske. Pääkivilajina kairauslävistyksissä on sarvivälkegabbro.
 Fig. 31. Analytical results of the diamond drill cores of Kaamajoki (mapping area no 1). A=chalcopyrite, B=abundantly chalcopyrite, C=pentlandite ore, D = amphibolite, E=chlorite schist, the main rock type in the section is hornblende gabbro.

Näitten juonien Ni- pitoisuus on aina selvästi suurempi kuin Cu -pitoisuus ja suhteet edustavat melko tyypillistä nikkelimäistä Cu/Ni määräsuhdetta. Tämä vaikuttaa anomaaliselta sen takia, että isäntäkiven kiisupirote on poikkeuksetta kuparivaltaista ja tunnetusti kuparikiisu on helpommin »mobilisoitavaa» kuin pentlandiitti ja magneettikiisu. Muista esiintymistä todettujen metallisuhteitten perusteella tämä Ni-valtainen juonimateriaali edellyttäisi Ni-valtaisen piroteen tai muun lähtömateriaalin esiintymistä, jota ei kuitenkaan paljastumista sen paremmin kuin kairauksistakaan tunneta. Nämä pentlandiittivaltaiset juonet liittyvät kuparikiisupirotetta tai -juonia kiinteämmin juuri gabron kontaktivyöhykkeeseen, jota petrologisesti luonnehtii kloriittiliuskeen esiintyminen. Kloriittiliuske lienee kontaktissa olleen emäksisen kivilajin muuttumistulosta, sillä sen yhteydessä on paikoin pieniä, säilyneitä perniittimäisiä osia. Gabron jalapuolella oleva amfiboliitti on epähomogeenista, raitaista ja paikoin agglomeraattirakenteista. Kompaktit Ni-malmijuonet ovat tässä esiintymässä potentiaalinen, ulottuvuusiltaan ja merkitykseltään selvittämätön malmivihje, joka jatkotutkimuksena vaatisi syvemmälle ulottuvan kairauksen ja sen puitteissa reiästä tehtävän geofysikaalisen mittauksen.

Koska Paijulasjärven länsirannalla olevassa gabrolohkareikossa todettiin hiukan kiisuja, kairattiin myös Tshokkoavin massiivin pohjoispäähän kolmen reiän profiili, jolla oli tarkoituksena lävistää peridotiitin ja gabron sekä gabron ja sivukiven kontaktivyöhykkeet. Kairaus ei onnistunut, sillä gabron kontakti oli Winkien tavoittamattomissa Paijulasjärven alla. Kairaus osoitti, että gabro ja ultramafiitti ovat täällä Paijulasjärven alueella erittäin kiisuköyhiä. Niin ikään silikaattien nikkelpitoisuudet gabroissa ovat tasaisesti alempia kuin Kaamajoella, jossa erityispiirteenä on vielä suuret vaihtelut Ni- ja Fe-pitoisuuksissa.

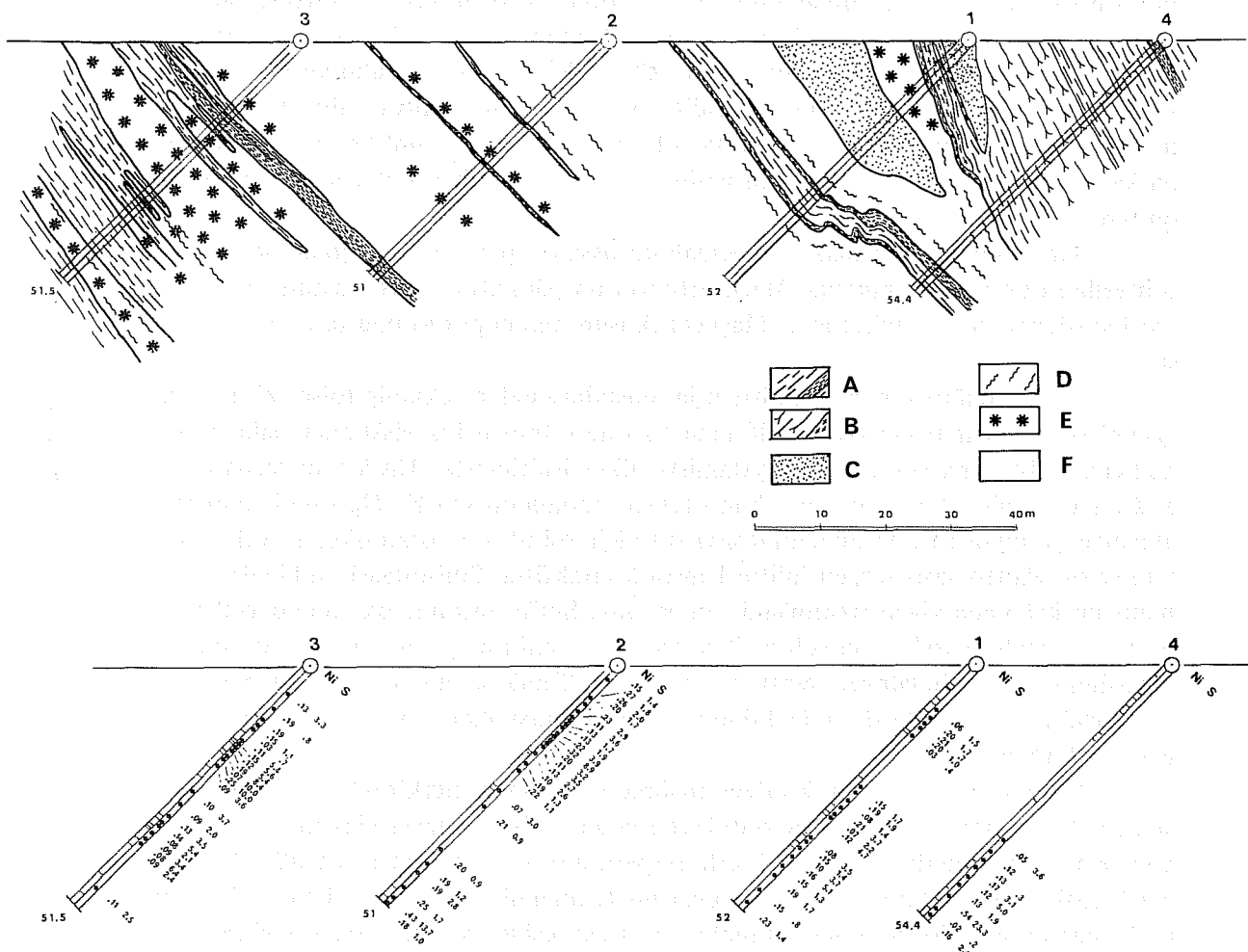
Tshokkoavin laelta on löydetty kiisurikas dioriittilohkare, jossa kiisut olivat puhtaita rautakiisuja. Tshokkoavin koillisrinteellä oleva noriitti (174-TH) sisältää kvantometrimääritysten mukaan n. 0,2 % Ni ja Cu, mutta sen rikkipitoisuus on lähes nolla, eikä tämän kivilajin malminetsinnällistä merkitystä voi arvioida. Moreenitutkimusten mukaan sarvivälkegabron keskellä oleva pyroksenigabron alue saattaisi olla nikkelin suhteen kriittisempi kuin varsinainen sarvivälkegabro, mutta selvät viitteet kiisujen esiintymisestä puuttuvat.

Iso-Siettelöjoki

Kittilässä on Ounasjoesta Puljutunturin alueelle ulottuvassa lounais-koillinen suuntaisessa kivilajivyöhykkeessä todettu muutamia serpentiniittejä (kohteet 6-9), joissa on kiisupirotetta. Runsain pirote todettiin Iso-Siettelöjoen varrella olevassa epähomogeenisessa serpentiniitissä, jossa paljastumista otetuissa näytteissä todettiin parhaimmillaan 0,29 % Ni ja 2,25 % S, mikä vastaa n. 4,8 % Ni sulfidifaasissa. Kun tähän serpentiniittiin paljastumishavaintojen perusteella liittyi kiisurikas mustaliuske, katsottiin kohde aiheelliseksi lävistää muutaman reiän kairausprofiililla täydellisemmän näytesarjan saamiseksi. Kairauskohteen ympäristössä tehtiin pienellä alueella magnetometraus, jonka perusteella määritettiin jakson suunta ja sopiva kairausuunta. Puljun jakson kivien kaadesuunnat olivat suhteellisen loivasti (40-50°) kaakkoon. Paljastumia tällä suon keskellä olevalla alueella on niukasti. Muutamia kilometrejä Iso-Siettelöjoesta koilliseen on samassa jaksossa karsikivien yhteydessä tavattu molybdenihohdetta, jota Rautaruukki Oy ja Outokumpu Oy ovat tutkineet.

Iso-Siettelöjoen serpentiniitti on kairausprofiilien perusteella suhteellisen epä-homogeenista (kuva 32). Kattopuolella ultramafiitti osin rajoittuu graniittijuoneen, mutta varsinaisina sivukivinä on amfiboliitti, joka vuorottelee ylempänä kiillegneissin kanssa. Amfiboliitissa on myös pieniä karsiosueita. Serpentiniitin keskellä on kiisurikkaita mustaliuskevyyshyökkkeitä joko paksumman kiillegneissipatjan yhteydessä tai aivan yksinään grafiittiliuskevyyshyökkkeenä serpentiniitin keskellä. Jalkapuolellaan serpentiniitti vaihettuu antofylliitti- tai antofylliitti-talkkikiveksi, joka vuorottelee intensiivisesti kiillegneissin kanssa. Serpentiniitissä on talkkiliuskevyyshyökkkeitä.

ISO - SIETTELÖJOKI



Kuva 32. Iso-Siettelöjoen kairausprofiili. Ylemmässä kuvassa kiviljait, alakuvassa Ni- ja S-pitoisuuksien vaihtelut. Cu oli kaikissa analyyseissä vain muutamia satoja ppm. A = kiillegneissi ja mustaliuskevälikerros, B = amfiboliitti ja karsikivi, C = graniitti, D = talkkiliuske tai talkkipitoisuutta, E = amfibolikiivi tai amfibolipitoisuutta, F = serpentiniitti.

Fig. 32. Rock types and the analytical results of diamond drill cores in a section of Iso Siettelöjoki (area no 9). A = mica gneiss with black schist, B = amphibolite with skarn, C = granite, D = talc schist, or talc-bearing rock type, E = amphibole-rock, F = serpentinite.

Kiisupiroetta serpentiniitissä on runsaimmin mustaliuskevyöhykkeitten läheisyydessä. Kiisupirote, joka on pentlandiittia ja magneettikiisua, esiintyy oliviinin serpentiinipseudomorfoosin välissä interstiaalisina rakeina. Paikoin serpentiinisuonet lävistävät piroetta. Näyttää siis ilmeiseltä, että kiisupirote on ollut paikallaan ennen isäntäkiven serpentiiniytymistä.

Mustaliuskeessa ja sen kontaktivyöhykkeissä on massiivisia kiisuosia. Serpentiiniittipatjan alaosassa näissä massiivisissa kiisuissa on kohtalaisesti nikkeliäkin mukana, joskin sulfidifaasin nikkeli-pitoisuus on alhaisempi kuin serpentiniitin pirotteissa. Silloin kun mustaliuske on gneissivyöhykkeen ympäröimä (reikä 3), ei mustaliuskeen kiisuissa ole sanottavasti nikkeliä. Vahvan serpentiniittimassan pohjaosassa olevassa mustaliuskeessa nikkelimäärä on korkeimmillaan, joten serpentiniitin koolla saattaa olla vaikutusta sulfidiaineksen nikkeli-pitoisuuteen. Parhaimmillaan todetut massiiviset kiisuosat ovat noin metrin paksuja, sulfidien määrä on 60-70 % kivistä ja sulfidifaasin nikkeli-pitoisuus noin 0,8-1,5 %. Mielenkiintoinen sulfidien koostumukseen liittyvä piirre on se, että koboltti on nikkelin suhteen selvästi rikastunutta mustaliuskeen kiisuissa. Kun Ni/Co -suhde serpentiniitissä on suuruusluokkaa 20-30, on se mustaliuskeessa n. 10, jopa sen allekin. Näyttää siis siltä, että sulfidifaasin Co-prosentti säilyy suhteellisen vakiona, mutta nikkeli-pitoisuus muuttuu kääntäen kiven rikkimäärän funktiona. Kuparipitoisuus on kauttaaltaan alhainen, ja keskimääräinen Ni/Ni+Cu -suhde koko massiivin puitteissa on 0,87.

Ainoa varsinainen nikkelimineraali kiisussa on pentlandiitti, joka yleensä on suhteellisen kookkaina rakeina. Magneettikiisu on pääsulfidi, mutta satunnaisesti on mustaliuskeissa myös rikkikiisua. Magneettikiisun nikkeli-pitoisuudesta ei ole määrittäisiä.

Iso-Siettelöjoen serpentiniittien ja mustaliuskeiden nikkeli-pitoiset kiisut ovat tyyppiesimerkki mustaliuskeen sulfidiaineksen ja ultramafiitin sisältämän silikaattisen nikkelin välisten reaktioiden synnyttämistä nikkelisulfideista. Tästä todisteena on se, että oliviinin nikkeli-pitoisuus on, kun otetaan huomioon sen Fe Mg -suhde anomalisen alhainen, ja myös se että nikkeli-pitoisia sulfideja esiintyy mustaliuskeessa vain silloin kun se on välittömästi serpentiniitin kanssa kontaktissa. Sulfidifaasin nikkeli-pitoisuus muuttuu kääntäen kiven rikkimäärän funktiona. Sulfurisatiota, joka on kokeellisesti todistettu mahdolliseksi, on suhteellisen vaatimattomin perustein ehdotettu mitä moninaisimpien nikkelimalmien syntymekanismiksi. Tämä tapaus on eräs selvimmistä esimerkeistä ja siinä mielessä myös kiinnostava tutkimuskohde. Aiheesta on tekeillä pro gradu-työ (Heino, 1977).

Mikä sitten on tämän kohteen malmietsinnällinen merkitys? Vastaus on syytä jakaa kahteen osaan: yleiseen merkitykseen ja alueelliseen merkitykseen. Yleinen malminetsinnällinen merkitys on siinä, että serpentiniittien ja niihin mahdollisesti liittyvien mustaliuskeiden kontaktivyöhykkeet ovat nikkelimalmien suhteen kriittisiä. Tässä mielessä negatiivisia tuloksia tulee kuitenkin runsaasti esille. Niinpä esimerkiksi Moskuvaaran kohteessa silikaattista nikkeliä runsaasti sisältävä ultramafiitti rajoittuu välittömästi sen alla olevaan sulfidipitoiseen gneissiin, mutta ultramafiitti on täysin steriili sulfidien suhteen. Eräänä mahdollisuutena tähän erilaiseen suhtautumiseen voi olla sivukiven sulfidimineraalispesies: jos sivukivessä on pyriittiä, se hajaantuu suhteellisen alhaisessa lämpötilassa magneettikiisuksi ja luovuttaa ylimääräisen rikkiatomin, kun taas sivukiven mahdollisesti primaarinen magneettikiisu hajaantuu vasta magmaattisissa lämpötiloissa luovuttaakseen rikkiatomin sulfidimuodostukseen.

Iso-Siettelöjoen malmi-indikaation alueellinen merkitys liittyy koko Puljun jaksoon, josta tässä on mukana kohteet 6-9. Kohteittein 6-8 ultramafiitit ovat sekä oliiviin koostumusvaihtelujen että myös sisältämänsä vähäisen kiisupirotteen laadun ja mineralogian perusteella rinnastettavissa Iso-Siettelöjoen ultramafiittiin. Iso-Siettelöjoen paljastumassa kiisupitoisuus oli kuitenkin näistä kaikista esiintymistä korkein ja juuri sen perusteella se valittiinkin kairauskohteeksi. Kairaustuloksen perusteella Iso-Siettelöjoen serpentiniitissä on myös kiisuköyhiä osia, jotka ovat identtisiä kohteitten 6-8 serpentiniittien kanssa. Kun otetaan huomioon laajempi geologinen kuva ja aeromagneettisen kartan anomaliasuunnat, on koko mainitulla jaksolla ilmeiset ja erittäin todennäköiset mahdollisuudet Iso-Siettelöjoelta tavattuun malminmuodostukseen. Kun lisäksi on epätodennäköistä, että jakson kaikki ultramafiitit olisivat paljastuneina kohteissa 6-9, voitaisiin esim. geofysikaalisilla ja geokemiallisilla menetelmillä varmasti paljastaa uusia nikkelpirotteisen kiisun isäntäkiviä.

Kun jakson tarkempaa tutkimusta pohditaan, on tärkeänä kysymyksenä, minkä laatuja malmeja tältä jaksolta voidaan odottaa. Tuntien nyt Siettelöjoen kiisuuntumatyypin, voi ennustaa massiivisia kiisuuntumia mustaliuskeiden vaikutuspiirissä ja serpentiniittien yhteydessä, joissa nikkelpitoisuus sulfidifaasissa on suhteellisen alhainen (2-4 %). Tektonisoitumisesta johtuva sulfidien kasautuminen saattaa olla mahdollista.

Ultramafiitit potentiaalisina malminetsintäkohteina

Teollisuusmineraalit

Nikkelpirotteiden kenttähavaintomateriaali sisältää myös tietoja asbestimineraalisäatioista, talkin esiintymisestä ja magnesiittia sisältävistä kohteista. Tätä tiedostoa ei toistaiseksi ole koottu, sillä merkittävistä kenttähavainnoista on työn kuluessa informoitu Geologisen tutkimuslaitoksen teollisuusmineraaliryhmää. Mg-rikasta oliiviinia on sängen puhtaana esiintymänä Tulppiossa ja Naltiojokilaaksossa. Sen sijaan Keski-Lapin duniitit ovat niin pitkälle serpentiniytyneitä, ettei niiden oliiviinia voitane käyttää hyväksi.

Malmimineralisaatiot

Tämänkin tutkimuksen jälkeen on todettava, että edelleen puuttuu selvät todisteet ja viitteet siitä, että Lapin ultramafiitteihin liittyy (em. Puljun jaksoa lukuunottamatta) pitoisuudeltaan malmiluokkaa olevia sulfidimineralisaatioita. Kohdekohtaisesta rikkipitoisuuden vaihtelusta voidaan kuitenkin todeta, että eräissä kohteissa on muita selvästi runsaammin rikkiä, mitä sinänsä voitaisiin pitää malminetsinnän kannalta suuntaa-antavana indikaationa mahdollisista runsaammista mineralisaatioista. On myös todettava, että Lapin ultramafiitit eivät ole täysin rikkivapaita, joskin rikkipitoisuus harvoin kohoaa edes 0,5 % yläpuolelle.

Kysymystä mineralisaatioiden esiintymisestä voidaan ja pitääkin lähestyä myös tietyn malmigeologisen malliajatuksen pohjalta. Ultramafiitteihin liittyvien nikkelimalmien suhteen tällöin tulee esille kaksi malmityyppiä: Dumontin tyyppiset pirotteet serpentiniiteissä ja toisaalta komatiittisiin ultramafisiin laavoihin liittyvät massiiviset sulfidimalmit.

Länsi-Australian arkeisiin komatiitteihin liittyy massiivisia nikkelimalmipesäkeitä, joiden koot keskimäärin ovat muutamia milj. tonneja, mutta pitoisuudet korkeita. Australiassa on vahvojen pintarapautumien takia parhaana prospektausmenetelmänä ollut geokemiallinen tutkimus (Eckstrand, 1975), sillä sähköiset menetelmät ovat paljastaneet komatiittisten ultramafiittien yhteydessä esiintyviä sulfidifasioksen rautamuodostumia ja grafiittiliuskeita. Niin ikään on todettu, että nikkeli sinänsä ei korkean silikaattisen nikkelin takia anna luotettavaa indikaatiota malmiesiintymästä, vaan kuparia ja PGE on menestyksekkäästi käytetty mineralisaatioiden paikantamisessa.

Erityisesti Koilliskairan ja myös Länsi-Inarin liuskevyöhykkeen vulkaniitteihin liittyvissä ultramafiiteissa on ilmeisiä komatiittien piirteitä. Vaikka Lapissa olosuhteet ovatkin erilaiset kuin Australiassa, on todettava, että sekä Koilliskairassa että myös Länsi-Inarin liuskevyöhykkeen alueella preglasiaalisen paikallisen rapautumispinnan, rapakallion, esiintyminen terveän kallion päällä on sangen runsasta. Jos siis tällä alueella olisi massiivisia kiisuesiintymiä, olisi rapakalliomuodostus todennäköisesti juuri niissä kohdissa edennyt erittäin voimakkaasti. Näin ollen sovellettuna suoraan Australian kokemusta, pitäisi moreenigeokemian ja nimenomaan nikkeli-kupari-anomalioiden antaa parhaat vihjeet malminetsinnän jatkotoimille edellä mainittujen ultramafiittivyöhykkeiden alueilla.

Geologisessa yhteenvedossa todettiin, että kokonaisgeologisen kuvan selvittäminen Keski-Lapin osalta auttaa meitä sijoittamaan myös ultramafiitit omaan asemaansa ja tässä mielessä yksityiskohtainen vulkaniittisarjojen tutkimus komatiittisen kivilajityypin esiintymisen kannalta antaisi malminetsinnälle vihjeitä kohteiden valinnassa.

Erityisesti granuliittialueen vaikutuspiirissä ultramafiittien ympäristö on voimakkaasti metamorfoitunut, ja myös ultramafiiteissa todetaan tiettyjä metamorfisia fasiaamuutoksia. Tämä monivaiheinen metamorfoosi on saattanut vaikuttaa myös sulfidiaineksen delokalisoitumiseen.

Nämä asiat ovat kuitenkin tyhjiä spekulatioita kunnes saadaan todellisia näyttöjä malmiluokkaa olevien mineralisaatioiden esiintymisestä. Näitten etsimisessä tulisi edetä kahdella rintamalla, ensinnäkin moreeniaineksen yksityiskohtaisella tutkimuksella todettujen ultramafiittivyöhykkeitten alueella ja toiseksi tutkimalla joku kriiittinen esimerkkitapaus tarkasti ottaen huomioon tällöin myös ympäristön vulkaniittisarjat. Tällainen voisi olla Kuttusvaara (kohde 84) Itä-Lapissa. Siellä on osoitettavissa selvää kiisupitoisuutta. Tutkimuskohde voisi olla myös Länsi-Inarin liuskevyöhykkeellä Allivuotso tai Nirroselkä, joista jo on mm. geokemiallista tietoa olemassa.

Dumont-tyyppisten nikkeli-rikkaisten sulfidipirotteiden esiintyminen kytkeytyy serpentiniitteihin. Tässä mielessä epäilyksenalaisia kohteita ovat sellaiset, joissa on osoitettavissa keskimääräistä runsaampaa sulfidipitoisuutta. Projektin keräämän aineiston perusteella voidaan serpentiniitit helposti asettaa rikkipitoisuutensa suhteen preferenssijärjestykseen, mutta koska näytepopulaation edustavuus saattaa antaa harhaanjohtavan kuvan, on saatavaan järjestykseen suhtauduttava tietyllä varauksella. Tätä tehtävää ei projektissa tehty, mutta se saattaa mahdollisten jatkotoimien suunnittelujen yhteydessä osoittautua mielekkääksi. Erityisesti tulisi tällöin kiinnittää huomiota rikkipitoisuuden alueelliseen jakautumiseen, pikemminkin kuin yksittäisten huippujen etsimiseen. Maasto- ja näytehavaintojen perusteella mm. Nuttion esiintymässä on nimenomaan sen S-päässä kohtalainen kiisupirote. Tässä suhteessa sitä voidaan pitää eräänä esimerkkitapauksena.

SUMMARY

The ultramafics of Lapland

The high tenor of silicate nickel in the ultrabasic rocks of central Lapland has been known since the studies of Outokumpu Oy in the 1960's (Häkli, 1971). Also, the possible, continuation in northern Finland of the Petsamo (Petchenga)-formation with its nickel deposits has remained an open question. In order to collect existing results and to re-investigate all of the ultrabasic bodies of Lapland, a research project was created in the Institute of Geology and Mineralogy, University of Turku, at the end of 1973. The project started March 1st, 1974 and lasted to the end of 1976. The exploration department of Outokumpu Oy participated in the laboratory work and the Geochemical Department of the Geological Survey did till sampling around some of the investigated bodies, and did a part of the data processing of the results.

Three geologists were permanently employed on the project from the beginning of June 1974. In addition, 3-7 students participated in the mapping during field seasons and in laboratory work in the winter months. The weight of the project lay in the field mapping, so of the 160 man-work months spent, roughly a half were in field work.

The field work was concentrated on and around the ultrabasic bodies and a total of 171 different areas were studied (see Fig. 1). Each area was mapped geologically, sampled, and, where possible, the geology of wall rocks was also investigated in detail. The field data were collected for automatic data processing by the GEOKU system and the analytical data were also stored and handled by EDP. In all, about 3500 samples were collected. Ni, Cu, Co, Zn and Pb were analyzed from 2500 samples with AAS, using the bromine-methanol dissolution method developed in the laboratory of Outokumpu Oy. Sulfur was determined with an automatic Leco BD-64 titrator. Twenty-one main and trace elements were determined with a tape in quantometer of the Geological Survey. Of these quantometer analyses, however, only the values of Ni, Mn, Cr, Ti, V, K, Na and Ca seemed to be realistic and they were used for the calculation of statistical data. The main components of 334 samples were analyzed by a combined XRF-AAS method developed at the Institute of Geology and Mineralogy, University of Turku. The PGE and Au were determined from 181 samples by a fire-assay method at the Central Laboratory of Outokumpu Oy. Specific gravity and magnetic susceptibility (with SATMAGAN) were determined for all 2500 analyzed samples. The tenors of iron and nickel in olivine, ortho- and clinopyroxenes and amphiboles were analyzed with an automated Geoscan microprobe of Outokumpu Oy. A total of 1831 thin polished sections were studied and microprobe analyses made of them.

The results of the analyses were printed out on lists and stored on magnetic tapes. The arithmetic and geometric means, the standard deviation of the mean and maximum and minimum values were calculated for every mapping area. The primary material is in Turku University. All of the listed basic field and geochemical data together with the geological and sampling maps in scale 1:20000 are collected in a data report (Papunen, 1977) stored in the Geological Survey, from where it can be ordered either in copy or microfiche form.

The main goal of the project was to collect comparable and comprehensive geological and geochemical data of ultrabasic rocks, to classify the occurrences on that basis and to estimate their value in exploration. The classification bases were areal, geological (environmental), petrological and geochemical. A paleomagnetic classification was tested.

The areal classification is presented in Fig. 2. Some remarks about the different areas may be given:

1. The Tsohkkoarvi area belongs to an Archean schist belt composed mainly of sedimentogenous schist interbedded with volcanogeneous amphibolites. Some minor serpentinite bodies and a large differentiated gabbro-peridotite body occur along the margin of the belt.
2. The schist belt of West-Inari is probably Archean in age and is characterized by long narrow belts of schists and metavolcanics. Ultrabasic bodies generally occur together with volcanogeneous amphibolites.
3. The Kittilä greenstone area: rocks are mainly metavolcanics.
4. The Kittilä-Sodankylä area: mainly sedimentogeneous schists.
5. The Sodankylä greenstone area: in the middle there is a large Koitilainen-gabbro body, which is surrounded by schist belts. Ultrabasic bodies are concentrated in two areas characterized by mafic metavolcanics. The age of areas 3 and 5 is doubtful; some consider them as Karelian (Proterozoic), others as Archean.
6. The area of eastern Lapland is characterized by gneissose granitoids with some remnants of schists, mainly amphibolites and migmatites. Minor ultrabasic bodies occur together with amphibolites. The gneisses have been regarded as Archean in age.
7. The granulite belt: ultrabasic bodies have been found along the outer contact arch of the belt. Some gabbroic bodies occur in the granulite area.
8. The area of northeastern Inari is characterized by an Archean granite gneiss complex with some minor amphibolitic belts. Several small ultrabasic bodies occur in the area.

On a geological basis the ultrabasic and basic bodies have been classified as follows (see Fig. 3):

1. Differentiated bodies which contain abundantly gabbroic rock type.
2. Ultrabasic bodies in
 - a) basic metavolcanics
 - b) amphibolites which might be volcanic in origin
- 3a. Ultrabasic rocks which are controlled by tectonic shearzones.
- 3b. Pyroxenitic veins.
4. Bodies composed of pure dunitic material.
5. Spinel-bearing cortlandites along a granulite-belt margin.

Some bodies of groups 1 and 2 were studied in greater detail (see Figs. 4-8). The lineaments of the Vätsäri-area in northeastern Inari were also studied, in order to explain the location of the numerous small ultrabasic bodies of the area. According to the dynamic model developed on the basis of the lineaments, the ultrabasic bodies occur in tensional joints.

The investigated bodies were also classified on the basis of the prevailing rock type; these are presented in Table 4. Fig. 13 presents the classification, and the areas and zones characterized by a certain rock type are also delineated.

Of the rock types studied, the carbonate-orthopyroxenites («sagvandites») need special attention. They occur mainly in two separate areas of the West-Inari schist belt. The present mineral composition as well as the hypidiomorphic texture of the rock has been regarded as metamorphic in origin. The metamorphic nature of the rock is well indicated by the wide and irregular variation in the chemical composition of olivines (area 27 in Fig. 17). Also, the mineralogy of the spinel-bearing cortlandites indicates the metamorphic conditions of granulite facies during their final crystalli-

zation. The plot of olivine-Ni versus the ratio olivine-Ni to forsterite-percentage (presented in Fig. 17) is, for some bodies, indicative of the possible Ni-depletion (sulfurization) of the silicates. The phenomenon is revealed well in bodies 6-9.

The main-element geochemistry was studied from 334 samples. The plot in Fig. 18 (according to Arndt et al., 1976) suggests that most of the ultramafics in areas 1, 2 and 6 belong to the komatiitic rock series, whereas the bodies in granite-gneiss areas, especially those of NE Inari, are mainly tholeiitic in composition. Also, the TiO_2 -content of the komatiitic rock types is very low compared with their MgO -content (Fig. 19), but the tenor of Ni and the ratio $\text{Ni}/(\text{Ni}+\text{Cu})$, correspondingly, are high. The relative contents of PGE also agree well with the komatiitic type described by Naldrett and Cabri (1976).

The sulfide and oxide minerals were studied from about 1800 polished sections and the abundances are graphically presented in Table 5. The plot in Fig. 24, which is indicative of the chemical composition of the sulfide phase, is in good accord with observations of the prevailing sulfide minerals in samples.

Paleomagnetic measurements were made on some of the ultrabasic bodies but the method does not seem to be suitable for classification of the bodies; not could any stable primary magnetic moment be found by thermal or A.C. demagnetization.

The till above and close to some of the ultrabasic bodies was sampled and analyzed chemically in order to compare the geochemical values of till with those of the original bedrock. The till method also seems well suited to the localization of hidden ultrabasic bodies in Lapland. Through calculation of mixing coefficients, the original metal ratios of the ultrabasic body can be estimated by till geochemistry.

Two areas were diamond-drilled by the project in order to study more closely the sulfide-bearing parts of the bodies. Further prospecting operations are required in both areas.

KIRJALLISUUTTA – REFERENCES

- Arndt, N.T., Naldrett, A.J. & Pyke, D.R., 1977. Komatiitic and iron-rich tholeiitic lavas of Munro Township, Northeast Ontario. *J. Petrol.* 18(2), 319...369.
- Eckstrand, O.R., 1975. The Dumont serpentinite: A model for control of nickeliferous opaque mineral assemblages by alteration reactions in ultramafic rocks. *Econ. Geol.* 70, 183-201.
- Eckstrand, O.R., 1975. Exploration and geology of Australian nickel sulphide deposits: Impressions and inferences, Report, Geol. Survey of Canada, Ottawa.
- Heino, Timo, 1977. Puljun jakson ja Peltotunturin alueen ultramafiiteista. Pro gradu-tutkielma (Manuscript), Turun yliopisto.
- Häkli, T.A., 1971. Silicate nickel and its application to the exploration of nickel ores. *Bull. Geol. Soc. Finland* 43, 247...263.
- Idman, Hannu, 1977. Lapin ultramafiittien oksidifaasista. Pro gradu-tutkielma (Manuscript), Turun yliopisto.
- Kuno, H., 1966. Lateral variations of basalt magma type across continental margins and island arcs. *Bull. Volcan.* 29, 195...222.
- Meriläinen, Kauko, 1976. The granulite complex and adjacent rocks in Lapland, northern Finland. *Geol. Surv. Finland, Bull.* 281. 129 s.
- Mikkola, E., 1941. Kivilajikartan selitys, B7-C7-D7, Muonio-Sodankylä-Tuntsajoki. English summary: Explanation to the map of rocks. General Geological Map of Finland, 1:400000. 286 s.
- Mikkola, E. & Sahama, Th.G., 1936. The region to the South-West of the »Granulite Series» in Lapland and its ultrabasics. *C.R. Soc. Geol. Finlande* 9, 357...371.
- Naldrett, A.J. & Cabri, L.J., 1976. Ultramafic and related rocks: their classification and genesis with special reference to the occurrence of nickel sulfides and platinum group elements. *Econ. Geol.* 71(7), 1131...1158.
- Nesbitt, R.W., Purvis, A.C. & Stolz, G.S., 1975. Geology and geochemistry of archaic metabasaltic sequences from three areas of the Yilgarn block, Western Australia. Correlation of the Precambrian, Abstracts of Papers, Moscow, September 1-6. 1975, IGCP.
- O'Hara, M.J., 1967. Mineral facies in ultrabasic rocks. S. 7-18 in *Ultramafic and Related Rocks*, ed. P.J. Wyllie. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Paakkola, Juhani, 1971. The volcanic complex and associated manganiferous iron formation of the Porkonen-Pahtavaara area in Finnish Lapland. *Bull. Comm. geol. Finlande*, 247, 83 s.
- Papunen, H. (toimittaja), 1977. Lapin ultramafiittien geologiset, petrologiset, geochemialliset ja mineralogiset tiedot. Lapin nikkeli-projektin dokumenttikokoelma, Geologisen tutkimuslaitoksen arkisto, PSMT-P11-76-2.
- Streckeisen, A., 1974. Classification and nomenclature of plutonic rocks. *Geol. Rundschau* 63, H. 2, 773...786.

Wennervirta, Heikki, 1968. Application of geochemical methods to regional prospecting in Finland. Bull. Comm. geol. Finlande, 234. 91 s.

Äyräs, M., 1976. Allivuotso: nickel, chromium and magnesium in till. J. Geochem. Explor. 5(3), 209...211.