uomen Geologisen Seuran syysekskursio Kainuun geologisille kohteille

23.-24.9.2022

Foinen päivä: Kuhmon vihreäkivivyöhyk

lapio Halkoaho

SISÄLLYSLUETTELO

KUHMON VIHREÄKIVIVYÖHYKE	2
Ontojärven länsipuolinen alue	6
Kohde 1. Felsinen-intermediäärinen agglomeraatti	6
Pahakangas-Siivikkovaara-Kellojärven alue	7
Kohteet 2–7: geologinen leikkaus Pahakankaan tholeiittisesta basalttiyksiköstä alimmille komatiittisille laavapatjoille	9
Kohde 2. Tholeiittisia tyynylaavoja ja raitainen rautamuodostuma	9
Kohde 3. Raitainen rautamuodostuma	9
Kohde 4. Glomeroporfyyrinen tholeiittinen laavakivi	10
Kohde 5. Tholeiittinen mantelirakenteinen laavakivi	10
Kohde 6. Stratigrafisesti ylin raitainen rautamuodostuma	11
Kohde 7. Profiili tholeiittisen basaltin yläosasta komatiittiyksikön alaosaan	12
Kohde 8. Komatiitin ja granitoidisen "pohjan" välinen kontakti	15
Kohde 9. Serpentiniittilinssi, arkeeinen komatiittilaavajoki	15
Kohteet 10–13: komatiittiyksikön ja komatiittisen basalttiyksikön välinen rajapinta Siivikkovaaran alueella	19
Kohde 10. Komatiittikerroksia ja komatiittisia basalttilaavakerroksia	19
Kohde 11. Varioliittista komatiittista basalttityynylaavaa	22
Kohde 12. Komatiittinen hyaloklastinen breksia	22
Kohde 13. Karkea breksia	24
Kohde 14. Korkean Cr-pitoisuuden basaltti Mäkisensuon alueella	25
Kohde 15. Serpentiniitti (oliviinimesokumulaatti)	28
Kohde 16. Juurikkaniemen vuolukivilouhos	30
KIITOKSET	30
LÄHDELUETTELO	31

KUHMON VIHREÄKIVIVYÖHYKE

Itä-Suomessa sijaitseva Kuhmon vihreäkivivyöhyke muodostaa keskiosan 220 km pitkästä ja jopa 10 km leveästä, pohjois-eteläsuuntaisesta Tipasjärvi-Kuhmo-Suomussalmen vihreäkivikompleksista (kuva 1). Vihreäkivikompleksi on muodostunut arkeeisella eonilla eli maapallon varhaisvaiheessa yli 2,5 miljardia vuotta sitten. Tipasjärven vihreäkivivyöhyke muodostaa kompleksin eteläosan ja Suomussalmen vihreäkivivyöhyke pohjoisosan. Vaikka nämä kolme vyöhykettä sijaitsevat toisistaan hieman erillään, niiden kivilajit ja kivilajiseuranto eli stratigrafia, on hyvin samankaltainen. Onkin oletettavaa, että ne ovat jäänteitä alun perin laajemmasta yhtenäisestä vulkaanisesta kompleksista, jota ovat myöhemmät eroosio- ja tektoniset prosessit muokanneet. Vihreäkivivyöhykkeillä runsaimmin esiintyvä kivilajityyppi on mafiset, eli runsaasti rautaa ja magnesiumia sisältävät, vulkaaniset kivet. Niitä on Kuhmon vihreäkivivyöhykkeen itä- ja länsireunoilla. Tämän lisäksi vihreäkivivyöhyke muodostaa symmetrisen ja leveän synkliinin, jossa vanhimmat yksiköt ovat reunoilla ja nuorimmat keskiosissa (Papunen ym. 2009 ja siinä olevat viitteet).

Arkeeinen Kuhmon vihreäkivivyöhyke on ollut Geologian tutkimuskeskuksen alueellisen geologisen kartoituksen (Wilkman 1921, Matisto 1958, Hyppönen 1973, 1976, 1978, 1983, Luukkonen 1988, 1992, 2001, Luukkonen ym. 2002, Käpyaho ym. 2006) ja malmietsinnän (Vanne 1984, Vihreäpuu 1998, Halkoaho & Niskanen 2004, 2012, Halkoaho ym. 2015, 2016) kohteena jo yli 100 vuotta. Vyöhykettä ovat tutkineet myös Oulun (Piirainen 1985, 1988), Rennesin (Martin ym. 1984) ja Turun (Papunen ym. 1998, 2009) yliopistojen tutkijat. Deformaatio on monilla alueilla tuhonnut pintasyntyisten kivien alkuperäiset rakenteet ja tekstuurit. Vihreäkivivyöhykkeen niissä osissa, joissa deformaatio on ollut vähäistä, rakenteet ja tekstuurit ovat hyvin säilyneet. Yksi näistä ns. avainalueista on ekskursiokohteena oleva Pahakangas-Siivikkovaara-Kellojärven alue (kuvat 2, 3, 5 ja 6). Kyseistä aluetta ovat kartoittaneet ja kuvanneet mm. Papunen (1960), Hanski (1980), Hyppönen (1983), Gruau ym. (1992), Halkoaho ym. (1996, 2000), Nieminen (1998), Tulenheimo (1999) ja Lehtonen ym. (2016).

Kuhmon vihreäkivivyöhykkeen stratigrafiaa ovat käsitelleet Piirainen (1985, 1988), Papunen ym. (2009), Huhma ym. (2012) ja Lehtonen ym. (2016). Tässä yhteydessä esitetään Pahakankaan-Siivikkovaaran-Kellojärven alueen stratigrafia lyhyen tekstiosuuden ja kuvien 3A ja 3B avulla. Kuhmon vihreäkivivyöhykkeen alimman osan muodostaa kalkkialkalisista felsisistä-mafisista vulkaanisista ja sedimenttisistä kivistä koostuva Nuolikankaan muodostuma, jonka Lehtonen ym. (2016) ovat määrittäneet 2846 ± 3 miljoonan vuoden ikäiseksi (näyte A2207). Samantyyppisen iän ovat Huhma ym. (2012) saaneet Hetteilästä Vuosangan alueelta, n. 12 km Kellojärveltä pohjoiseen, intermediäärisestä vulkaanisesta kivestä (A1773, 2836 ± 6 milj. v). Nuolikankaan muodostuman päälle on kerrostunut jälleen felsisistä-mafisista vulkaanisista ja sedimenttisistä kivistä koostuva Mäkisensuon muodostuma, jonka iäksi Lehtonen ym. (2016) ovat saaneet 2796 ± 5 miljoonaa vuotta (näyte A2230). Tämän muodostuman kiveä näemme Katermassa kohteella 1 (kuvat 2 ja 4). Seuraava Pahakankaan muodostuma koostuu tholeiittisista laavapatjoista, jotka sisältävät välikerroksina rautamuodostumia. Pahakankaan muodostumaa ei ole Pahakankaan alueelta toistaiseksi iätetty. Sen iäksi on aikaisemmin ehdotettu Moisiovaaran alueelta gabrosta saatua 2823 ± 6 miljoonan vuoden ikää (A976, Huhma ym. 2012). Moisiovaaran gabrosta saatu ikä sopii kuitenkin paremmin Suomussalmen vihreäkivivyöhykkeeltä löydettyyn n. 2820 miljoonan vuoden ikäryhmään, johon mm. Hietaharjun ja Peura-ahon Ni-Cu-esiintymien isäntäkivet kuuluvat (ks. Lehtonen ym. 2017 ja Huhma ym. 2012).



Kuva 1. Ekskursioalueen sijainti Tipasjärvi-Kuhmo-Suomussalmen vihreäkivivyöhykekompleksin alueella (muokattu Korsman ym. 1997).



Kuva 2. Kuhmon vihreäkivivyöhykkeen ekskursiokohteet kallioperägeologisella kartalla (muokattu GTK:n kallioperä 1:200 000 aineistoa, GTK Avoin lisenssi Nimeä CC 4.0).



Kuva 3. Kuhmon vihreäkivivyöhykkeen Pahakangas-Siivikkovaara-Kellojärvialueen yleisluontoinen stratigrafiapylväs (A, muokattu Halkoaho ym. 2000) ja Pahakangas-Siivikkovaara-Mäkisensuon alueen kaavamainen poikkileikkaus (B).

Nuorin vulkaanisia kiviä sisältävä muodostuma Kuhmon vihreäkivivyöhykkeellä on komatiiteista, komatiittisista basalteista ja Cr-basalteista koostuva Siivikon muodostuma, johon myös Kellojärven ultramafinen kompleksi kuuluu. Siivikon muodostuman ikä, 2793 ± 3 miljoonaa vuotta (A2213, Lehtonen ym. 2016), on saatu Kellojärven ultramafisen kompleksin välikerroksena esiintyvästä intermediäärisestä vulkaniittikerroksesta. Kaikkiaan nuorinta muodostumaa Kuhmon vihreäkivivyöhykkeellä edustaa Ronkaperän muodostuma, joka koostuu erilaisista vulkaanisista ja sedimenttisistä kivistä. Näiden kivien aines on kerrostunut noin 2700–2750 miljoonaa vuotta sitten (Hietaperän kvartsiitti A2206, ≤ 2700 milj. v, Lehtonen ym. 2016 ja Ronkaperän Rakennuslahden grauvakka A2102/83-PGN-90 n. 2750 milj. v, Huhma ym. 2012). Hietaperän kvartsiitista on löydetty muutamia poikkeuksellisen vanhoja, \geq 2950 miljoonaa vuotta, zirkonirakeita (Lehtonen ym. 2016). Esimerkiksi yksittäisestä rakeesta saadut kaksi ikää olivat 3345 ± 11 ja 3359 ± 8 miljoonaa vuotta.

Ontojärven länsipuolinen alue

Kohde 1. Felsinen-intermediäärinen agglomeraatti

X = 7117045 ja Y = 603270

Kohde 1 sijaitsee n. 30 km Kuhmon kaupungista länteen Ontojärven länsipuolella Hietaperän ja Heinälahden välisellä alueella (katso kuvia 1 ja 2). Kohteena on felsisiä-intermediäärisiä vulkaanisia kivilajiyksiköitä edustava agglomeraattinen kallioalue (kuva 4). Ns. Katerman ryoliitin iäksi on saatu 2799 ± 5 miljoonaa vuotta (A511, Huhma ym. 2012). Ikänsä perusteella Ontojärven alueen felsiset-intermediääriset vulkaaniitit voidaan rinnastaa Siivikkovaaran alueella esiintyvään Mäkisensuon muodostumaan (Papunen ym. 2009).



Kuva 4. Kohde 1: felsinen-intermediäärinen agglomeraattipaljastuma Kuhmon Ontojärven länsipuolisella alueella. Kompassin pituus 12,5 cm. Kuva T. Halkoaho (2021).

Pahakangas-Siivikkovaara-Kellojärven alue

Kohteet 2–16 sijaitsevat n. 30 km Kuhmon kaupungista lounaaseen (kuva 1) Kellojärven itäpuolisella alueella (kuvat 2, 5 ja 6). Näillä kohteilla nähdään Pahakangas-Siivikkovaara-Kellojärven alueen tholeiittisia basaltteja, rautamuodostumia, komatiitteja, komatiittien kumulaatteja ja komatiittisia basaltteja sekä niissä esiintyviä erilaisia rakenteita ja tekstuureja.



Kuva 5. Pahakangas-Siivikkovaara-Kellojärvialueen ekskursiokohteet topografisella kartalla. Pohjakartta © MML 2022.



Kuva 6. Siivikkovaaran alueen geologinen kartta (muokattu Halkoaho ym. 1996) ja ekskursiokohdealueet.

Kohteet 2–7: geologinen leikkaus Pahakankaan tholeiittisesta basalttiyksiköstä alimmille komatiittisille laavapatjoille

Kohde 2. Tholeiittisia tyynylaavoja ja raitainen rautamuodostuma

X = 7124535 ja Y = 601105

Kohteen paljastumalla nähdään tyynylaavarakenteita sisältävän laavakiven ja sen päälle kerrostuneen raitaisen rautamuodostuman välinen kontakti (Pahakankaan muodostuma). Huomaa, että rautamuodostuman päälle tulevan seuraavan tholeiittisen laavapatjan alaosa muistuttaa keskirakeista gabroa. Tämä johtuu siitä, että patjan alaosa on jäähtynyt hitaasti ja mineraalikiteillä on ollut enemmän aikaa kasvaa kookkaammiksi. Paljastuman kaakkoisreunan läheisyydessä on Outokumpu Mining Oy:n vuonna 1993 kairaaman kairareiän (KH/SII-7, syvyys 96,30 m) suojaputki.

Kohde 3. Raitainen rautamuodostuma

X = 7124515 ja Y = 601180

Tällä kohteella nähdään paremmin edellisellä kohteella tavatun raitaisen rautamuodostumakerroksen rakenteita (kuva 7). Poimutusta muistuttavat kuviot lienevät syntyneet, kun rautamuodostuma on vielä pehmeähkönä muotoutunut uuden tholeiittisen laavavirran painon alla. Kalliopaljastuman erikoinen yksityiskohta on rakenne, joka näyttää siltä, että alapuolella oleva tholeiittinen laava olisi pullistanut rautamuodostumaa ylöspäin (katso kansikuvaa).



Kuva 7. Kohde 3: raitaisen rautamuodostuman välikerros Pahakankaan tholeiittisessa basaltissa. Kompassin pituus 12,5 cm. Kuva T. Halkoaho (2021).

Kohde 4. Glomeroporfyyrinen tholeiittinen laavakivi

X = 7124600 ja Y = 601117

Tällä kohteella siirrytään kohti Pahakankaan muodostuman tholeiittisen vulkaniittiyksikön ylintä osaa. Paljastumalla nähdään muodostuman yläosalle tyypillistä tholeiittista laavakiveä (kuva 8), jossa plagioklaasihajarakeet muodostavat kasaumia (= glomeroporfyyrinen tekstuuri).



Kuva 8. Kohde 4: Pahakankaan muodostuman yläosan glomeroporfyyristä tholeiittista laavakiveä. Kompassin pituus 12,5 cm. Kuva T. Halkoaho (2015).

Kohde 5. Tholeiittinen mantelirakenteinen laavakivi

X = 7124605 ja Y = 601190

Kuten edellisen kohteen tholeiittista basalttilaavaa, mutta plagioklaasikiteiden lisäksi kivessä nähdään manteleita eli kaasurakkuloiden jäänteitä. Näiden kohteiden väliin sijoittuu Outokumpu Mining Oy:n vuonna 1993 kairaaman kairareiän (KH/SII-9, syvyys 98,20 m) suojaputki (kuva 9).

Kohde 6. Stratigrafisesti ylin raitainen rautamuodostuma

X = 7124606 ja Y = 601302

Kohteella 6 nähdään Pahakankaan muodostuman ylin raitainen rautamuodostumakerros (kuvat 9 ja 10). Tämä sijoittuu stratigrafisesti tholeiittisen ja komatiittisen magmatismin väliin, ja näin ollen edustaa lyhyttä ajallista taukoa erilaisten purkausvaiheiden välissä. Rautamuodostuma koostuu pääosin rautaoksidimineraaleista (edustaen oksidifasiesta), mutta kerroksen itäosassa siinä tavataan myös rautasulfideja ns. "kiisumontulla", jolloin siinä on myös sulfidifasieksen piirteitä. Kiisumontun lounaispuolella on Outokumpu Mining Oy:n vuonna 1993 kairaaman kairareiän suojaputki (kuvat 9 ja 11, KH/SII-8, syvyys 303,80 m).



Kuva 9. Pahakangas- ja Siivikkomuodostuman välisen raja-alueen yksityiskohtainen geologinen paljastumakartta (muokattu Halkoaho ym. 1996, Papunen ym. 1998).



Kuva 10. Pahakankaan muodostuman stratigrafisesti ylin raitainen rautamuodostuma (kohde 6), joka on kerrostunut tholeiittisen ja komatiittisen vulkanismivaiheiden välisenä aikana. Kolikon halkaisija on 2,5 cm. Kuva T. Halkoaho (1993).

Kohde 7. Profiili tholeiittisen basaltin yläosasta komatiittiyksikön alaosaan

X = 7124625 ja Y = 601350

Profiili alkaa kohteesta 7a, jossa on plagioklaasirakeita ja manteleita sisältävä tholeiittinen basalttipaljastuma. Outokumpu Mining Oy kaivatti alueelle vuonna 1993 yli 200 metriä pitkän karkeasti pohjois-eteläsuuntaisen (kuva 9) tutkimusojan, jonka alkupiste oli tältä paljastumalta. Tutkimusoja on nyt suurelta osin peitetty, mutta sen ääriviivat ovat yhä hyvin havaittavissa maastossa. Samana vuonna kyseiseltä paljastumalta noin 100 metriä eteläkaakkoon Outokumpu Mining Oy teki kairareiän KH/SII-8, joka lävistää Pahakankaan muodostuman ja Siivikon muodostuman välisen rajapinnan (kuva 11).

Kohteella 7b ensimmäisen komatiittisen laavapatjan yläosassa esiintyy laattamaista oliviinispinifextekstuuria, joka on muodostunut kohtalaisen ylijäähtyneisyysasteen alla laavavirtauksen pysähdyttyä. Paikoin komatiittisen laavan päälle virrannut nuorempi laava on erodoinut vanhemman laavan pintaan muodostunutta breksiaa ja satunnaista spinifex-tekstuuria (random spinifex) sisältävää kerrosta, jolloin ne puuttuvat paikoin kokonaan (kuva 12). Tämä nuorempi laavakerros on paksuudeltaan 2–3 metriä, ja siinä esiintyy parhaimmillaan jopa kuusikymmentä 2– 10 senttimetrin paksuista spinifex-tekstuuria sisältävää raitaa (kuva 13). Arndt ym. (1977) ovat kuvanneet samanlaisia tekstuureja arkeeiselta Abititin vihreäkivivyöhykkeeltä koillis-Ontarion Munro Townshipin alueelta, Kanadasta. Heidän mukaansa Abititin laavapatjoista löytyy kerroksia, joissa spinifex-tekstuuria esiintyy puolikuun muotoisissa ja jopa muutaman metrin pituisissa raidoissa. Nämä raidat (engl. schlieren) ovat alaspäin kuperia ja noudattavat alueen yleistä kerroksellisuutta. Näistä kerroksista puuttuu myös nk. laattamainen (platy) spinifex. Pahakankaan spinifex-raitojen synnystä on olemassa kaksi teoriaa. Ensimmäisen mukaan ne ovat syntyneet komatiittisen sulan tunkeutuessa ortokumulaattikerrokseen muodostuneisiin rakoihin, joissa se on nopeasti jäähtynyt spinifex-tekstuurin omaaviksi raontäytteiksi. Tätä näkemystä tukee se, että spinifex-raitojen reunat muodostuvat satunnaisesti suuntautuneista mineraalirakeista ja raitojen keskustat laattamaisesta spinifexistä. Tämän perusteella lämpögradientti spinifex-vyöhykkeestä on ollut kumpaankin suuntaan yhtäläinen. Komatiittisula olisi siis tunkeutunut jo verrattain jäähtyneeseen ortokumulaattikerrokseen. Toisen olettamuksen mukaan raidat ovat muodostuneet, kun kapeat laavapatjat ovat toistuvasti levinneet päälaavavirrasta sivuille päin (engl. levée bank).

Profiililla nähdään myös laavakerroksessa monikulmaista rakoilua (kohde 7c) sekä pinta-/pohjabreksioita ja tyynylaavamaisia rakennepiirteitä (kohteet 7c ja 7d) (kuva 14).



Kuva 11. Pahakankaan muodostuman ja Siivikon muodostuman välisen kontaktin poikkiprofiili kairareiän KH/SII-8 perusteella.



Kuva 12. Stratigrafisesti alimman komatiittisen laavapatjan yläosan laattamainen spinifex-kerros (kohde 7b). Yläpuolella virrannut laava on erodoinut pois alapuolella olevan laavapatjan pintabreksian ja satunnaisesti suuntautuneen (engl. random) spinifex-kerroksen. Kompassin pituus 12,5 cm. Kuva T. Halkoaho (2015).



Kuva 13. Edellisen kuvan (kuva 12) alimman komatiittipatjan päällä oleva 2–3 m paksu komatiittinen laavapatja, jossa esiintyy parhaimmillaan jopa kuusikymmentä 2–10 senttimetriä paksua spinifex-tekstuuria sisältävää raitaa (kuvassa pystysuuntaiset tummemmat alueet). Kolikon halkaisija on 2,5 cm. Kuva T. Halkoaho (1994).



Kuva 14. Breksioitunut komatiittisen laavapatjan pintaosa (kohde 7d). Kompassin pituus 12,5 cm. Kuva T. Halkoaho (2015).

Kohde 8. Komatiitin ja granitoidisen "pohjan" välinen kontakti

X = 7124898 ja Y = 601172

Noin 300 metriä kohteesta 7 luoteeseen nähdään vihreäkivivyöhykkeen länsireunalla komatiitin ja vaalean granodioriittisen "pohjan" välinen kontakti. Kontakti on terävä, mutta siinä nähdään reaktiosauma (kuva 15). Granodioriittisen "pohjan" kiven iäksi on saatu 2802 ± 5 miljoonaa vuotta (A2210, Lehtonen ym. 2016).

Kohde 9. Serpentiniittilinssi, arkeeinen komatiittilaavajoki

X = 7125071 ja Y = 601168

Pahakankaan geologisesta leikkauksesta noin 400 m luoteeseen on linssimäinen serpentiniitti, jonka tulkittu edustavan muinaisen komatiittilaavajoen pohjalle kasautunutta ainesta. on Serpentiniittilinssi on noin 600 m pitkä ja 100–150 m leveä. Maanpintamagneettisten mittausten, kairausten ja kalliopaljastumien perusteella siinä on erotettavissa kaksi erillistä osaa, joiden välissä on vähemmän magnetoitunut tremoliittikivi. Tässä tremoliittikivessä on pyöristyneitä, halkaisijaltaan 0,2–3 metrisiä granodioriittisia sulkeumia (kuvat 16 ja 17), joiden ympärillä on kapea, 0,1–0,2 m, kloriittiliuskekehä. Sulkeumien iäksi on saatu 2797 ± 4 miljoonaa vuotta (kuva 16, A1377, Huhma ym. 2012) ja 2793 ± 3 miljoonaa vuotta (kuva 18, A2228, Lehtonen ym. 2016). Vertaa näitä ikiä kuvassa 5 merkittyyn Mäkisensuon muodostuman ikään 2796 ± 5 milj. v (A2230, Lehtonen ym. 2016).



Kuva 15. Kohde 8: vihreäkivivyöhykkeen länsireunan komatiitin ja vaalean granodioriittisen "pohjan" välinen terävä kontakti. Kuvaussuunta on kohti pohjoista. Kompassin pituus 12,5 cm. Kuva T. Halkoaho (1993).



Kuva 16. Komatiittisen serpentiniittilinssin kaakkoisosan yksityiskohtainen geologinen kartta (muokattu Halkoaho ym. 1996 ja Papunen ym. 1998). Tummempi värisävy kuvastaa paljastuma-aluetta.

Serpentiniittilinssin eteläpuolella olevan granodioriittisen syväkiven (A2227) iäksi ovat Lehtonen ym. 2016 saaneet 2796 ± 2 miljoonaa vuotta (kuva 18). Tremoliittikivikerroksen on tulkittu edustavan kahden turbulenttisesti virranneen komatiittisen laavapurkauksen välistä vaihetta, jossa pysähtyneen (tai hitaasti virtaavan) laavavirran pinnalle putosi ympäröivistä granodioriittisista seinämistä lohkareita. Seuraava laminaarinen laavavirta peitti ja sulatti nämä lohkareet. Paljastumaalueen länsiosassa (kuva 16) on 0,5 m paksu kloriittijuoni, jolla on metrin paksuinen muuttumiskehä. Juonen mineraaleina esiintyy kloriittia (klinokloori) ja magnetiittia sekä vähäisemmässä määrin klinozoisiittia. Noin 200 m luoteeseen, stratigrafisesti 70 m serpentiniittilinssin yläpuolella, on pyroklastisen ulkoasun omaava komatiitti-komatiittinen basalttipaljastuma, jota leikkaa nuorempi 1–20 m paksu gabrojuoni. Siivikkovaaran alueen komatiittiseurannon ainoa sedimenttinen välikerros löydettiin tutkimusojasta muutama metri edellisen paljastuman eteläpuolelta. Tämä kohta on stratigrafisesti hyvin lähellä komatiittien ja komatiittisten basalttien välistä rajapintaa, joka nähdään kohteilla 10 ja 11 (kuva 19).



Kuva 17. Granodioriittinen sulkeuma serpentiniitissä (katso kohteen sijainti edellisestä kuvasta). Kompassin pituus 12,5 cm. Kuva T. Halkoaho (1993).



Kuva 18. Serpentiniittilinssin luoteisosan kairausprofiili. Katso kuvaa 6, jossa reikien KH/SII-5 ja -6 muodostama profiili on merkitty sinisellä janalla.

Kohteet 10–13: komatiittiyksikön ja komatiittisen basalttiyksikön välinen rajapinta Siivikkovaaran alueella

Kohteet 10–13 sijaitsevat n. 1 km edelliseltä kohteelta itään Näätäniemen tien etelä- ja pohjoispuolella (kuvat 2, 5, 6 ja 19). Tällä kohteella nähdään Siivikon muodostuman stratigrafiassa siirtymävaihe, jossa komatiittinen vulkanismi alkaa hiipua ja komatiittinen basalttivulkanismi alkaa voimistua.



Kuva 19. Siivikkovaaran alueen yksityiskohtainen geologinen paljastumakartta (muokattu Halkoaho ym. 1996).

Kohde 10. Komatiittikerroksia ja komatiittisia basalttilaavakerroksia

X = 7125035 ja Y = 602050

Siivikkovaaran alueella 25 m Näätäniementiestä etelään on paljastuma (kuva 19, kohde 10), jossa samassa vulkaanisessa vaiheessa purkautuneet komatiittiset laavat ja komatiittiset basalttilaavat muodostavat vuorottelevia kerroksia. Nähtävä paljastuma (kuvat 20, 21 ja 22) koostuu viidestä yksittäisestä laavapatjasta: kaksi komatiittia ja kolme komatiittista basalttia (ks. analyysit taulukossa 1). Eri kerroksissa on havaittavissa erilaisia vulkaanisia tekstuureja (ks. kuva 20).



Kuva 20. Yksityiskohtainen geologinen piirros paljastumasta, jossa näkyy komatiittien ja komatiittisten basalttien vuorottelevaa kerrostumista sekä vulkaanisten tekstuurien esiintymistä (muokattu Halkoaho ym. 1996, Papunen ym. 1998). Vanhin kerros sijaitsee paljastuman itäreunassa ja kerrokset nuorenevat länteen päin. Selitykset: "hopper" = oliviinirakeet ovat onttoja, "platy" = oliviinirakeet ovat laattamaisia ja "stringy beef" = pyrokseenirakeet esiintyvät lihassäiemäisesti.

Taulukko 1. Siivikkovaaran komatiittien ja komatiittisten basalttien (kohde 10) kokokivianalyysit (oksidit on normalisoitu volatiilittomiksi). n.d. = ei määritetty. Näytepisteet merkitty kuvaan 20.

	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂ %	50,9	46,8	43,6	51,6	50,6	47,6	47,4	45,8
TiO ₂	0,33	0,42	0,54	0,57	0,57	0,53	0,47	0,72
AI_2O_3	7,63	9,7	12,2	11,7	11,7	9,52	9,61	13,0
FeO	10,5	11,5	14,0	11,0	10,8	11,3	11,1	14,7
MnO	0,13	0,19	0,23	0,19	0,19	0,22	0,22	0,23
MgO	27,4	23,1	22,0	14,4	15,7	21,7	21,7	14,6
CaO	2,46	7,8	6,99	7,31	7,51	8,51	8,78	9,41
Na ₂ O	0,01	0,09	0,15	2,96	2,65	0,28	0,31	1,2
K ₂ O	<0,01	0,02	0,02	0,07	0,05	0,03	0,04	0,1
P_2O_5	0,04	0,05	0,07	0,05	0,04	0,03	0,06	0,05
Cr ppm	3517	1936	1574	903	1389	2381	1888	1067
Ni	1320	790	600	320	460	860	780	350
S	n.d.	100	400	<300	<300	n.d.	n.d.	760
V	141	177	224	233	211	177	184	265
Al/Ti	20,1	20,6	19,9	18,2	18,1	15,7	18,0	15,9
mg#	83,9	79 <i>,</i> 9	75,7	72,1	74,1	79,2	79,4	66,3

mg# = 100*(MgO/40,3)/((MgO/40,3)+0,9*(FeO/71,85))



Kuva 21. Paljastumavalokuva kuvan 20 piirroksen alueelta. Kuvaussuunta on kohti pohjoista. 50 m rullamitan pituus (kuvan yläosassa oleva oranssi esine) on noin 30 cm. Kuva T. Halkoaho (1995).



Kuva 22. Komatiittisen laavapatjan pohja-/pintabreksiaa (katso kuvassa 21 rajattu neliö). Kompassin pituus 12,5 cm. Kuva T. Halkoaho (1994).

Kohde 11. Varioliittista komatiittista basalttityynylaavaa

X = 7125162 ja Y = 602015

Edelliseltä kohteelta 75 m ja Näätäniementieltä noin 50 m pohjoiseen nähdään komatiittisissa basalttipaljastumissa hienoja varioliittisia tyynylaavarakenteita (kohde 11, kuvat 19 ja 23). Variolit ovat muodoltaan pöyreähköjä ja koostuvat tähdenomaisesti esiintyvistä plagioklaasiliistakkeista. Tämä noin 300 m paksu tyynylaavavyöhyke asettuu stratigrafisesti komatiittiyksikön yläpuolelle, edustaen komatiittisen basalttiyksikön alaosaa.

Kohde 12. Komatiittinen hyaloklastinen breksia

X = 7125158 ja Y = 602237

Näätäniementien pohjoispuolella (kohde 12 kuvassa 19) esiintyy 5–10 metriä paksu pyroklastisen ulkoasun omaava komatiittinen kerros, jonka Hanski (1980) on nimennyt autoklastiseksi vulkaaniseksi breksiaksi (kuva 24). Tämä mahdollisesti komatiittinen hyaloklastinen breksia koostuu halkaisijaltaan 2–5 cm:n kokoisista kulmikkaista ja pyöristyneistä murskaleista, joissa on reaktiokehät. Hyaloklastiitti on vulkanoklastinen kasautuma tai breksia, joka koostuu lasisista kappaleista, jotka ovat syntyneet veden alle purkautuvien laavavirtojen pintaosaan nopean jäähtymisen aikaansaamassa pirstoutumisessa. Tämän hyaloklastisen komatiittiyksikön molemmilla puolilla on komatiittinen oliviiniortokumulaattipatja.

Kuva 23. Varioliittista komatiittista basalttityynylaavaa. Kompassin pituus 12,5 cm. Kuva T. Halkoaho (2021).

Kuva 24. Kohde 12: komatiittinen hyaloklastinen breksia. Kompassin pituus 12,5 cm. Kuva T. Halkoaho (2021).

Kohde 13. Karkea breksia

X = 7125295 ja Y = 602196

Kohteella 13, edellisestä paljastumasta noin 190 m pohjoiseen, nähdään omanlaistansa karkeaa breksiaa paljastumaselänteen eteläreunalla (kuvat 19 ja 25). Breksian matriksi eli hienoaines, on nykyasussaan liuskeista komatiittista basalttia ja murskaleet massamaista komatiittia. Molempien kokokivianalyysit on esitetty taulukossa 2.

Kuva 25. Kohde 13: karkea breksia. Murskaleet ovat koostumukseltaan komatiittia ja matriksi on komatiittista basalttia (taulukko 2). Kompassin pituus 12,5 cm. Kuva T. Halkoaho (2021).

Taulukko 2. Kokokivianalyysit (oksidit on normalisoitu volatiilittomiksi) Siivikkovaaran kohteen 13 komatiittisesta murskaleesta (166-TOH-94) ja komatiittista basalttia olevasta matriksista (165-TOH-94). Näytepisteet merkitty kuvaan 19.

	165-TOH-94	166-TOH-94
SiO ₂ %	51,6	50 <i>,</i> 3
TiO ₂	0,41	0,32
Al ₂ O ₃	10,5	7,33
FeO	11,8	11,6
MnO	0,26	0,28
MgO	14,3	19,7
CaO	9,08	9,74
Na ₂ O	1,37	0,24
K ₂ O	0,07	0,02
P_2O_5	0,03	0,02
Cr ppm	3031	2792
Ni	960	1067
S	1340	410
V	197	156
Al/Ti	22,3	20,2
mg#	70,6	77,1

mg# = 100*(MgO/40,3)/((MgO/40,3)+0,9*(FeO/71,85))

Kohde 14. Korkean Cr-pitoisuuden basaltti Mäkisensuon alueella

X = 7126325 ja Y = 600467

Ekskursiokohteen 14 paljastumat edustavat maapallolla kemiallisesti poikkeuksellista basalttityyppiä: niin kutsuttua korkean kromipitoisuuden basalttia (ks. taulukko 3), joka sisältää myös ohuita komatiittivälikerroksia (kuvat 3, 6, 26 ja 27). Näiden basalttien Cr-pitoisuus vaihtelee välillä 1300–4500 ppm (Halkoaho ym. 2000). Samanlaisia Cr-pitoisuuksia basalteissa on kuvattu Kuun basalteista (Huebner ym. 1976, Roeder & Reynolds 1991, Basaltic Volcanism Study Project 1981) ja basalttisista meteoriiteista (Huebner ym. 1976, Basaltic Volcanism Study Project 1981). Vuonna 2017 saman koostumuksen ja iän omaavia mafisia kiviä löydettiin myös keskisestä Québecistä Moria-projektin alueelta Kanadasta (henkilökohtainen sähköpostiviesti Sylvain Trépanier 22.5.2018). Kuhmon vihreäkivivyöhykkeen stratigrafiassa korkean Cr-pitoisuuden basaltit sijoittuvat komatiittisten basalttien yläpuolelle. Paljastuma on melko heterogeeninen ja sisältää breksioitunutta tyynylaavaa ja mantelirakenteista korkean Cr-pitoisuuden massiivista, basalttilaavaa, jossa esiintyy kappaleina komatiittista basalttia. Noin 5 m pohjoiseen korkean Crpitoisuuden basalttipaljastumasta on nähtävissä komatiittinen välikerros. Huomaa, että korkean Crpitoisuuden basaltit sisältävät enemmän kromia (taulukko 3) kuin niissä sulkeumina esiintyvät komatiittiset basaltit. Kohteesta 14 noin 130 m itään on laaja paljastuma-alue korkean Crpitoisuuden basalttia, joka sisältää hyvin säilyneitä tyynylaavarakenteita. Komatiittinen välikerros on löydettävissä myös kyseisen paljastuman pohjoispuolelta (kuva 26).

Kuva 26. Mäkisensuon alueen yksityiskohtainen geologinen paljastumakartta (muokattu Halkoaho ym. 1996).

Kuva 27. Mäkisensuon alueelta yksityiskohtainen geologinen piirros paljastumalta, jossa näkyy poikkeuksellisen runsaasti kromia (Cr) sisältävää basalttia. Korkean Cr-pitoisuuden basaltti sisältää sulkeumana komatiittisia basalttimurskaleita ja komatiittisia välikerroksia (muokattu Halkoaho ym. 1996, Papunen ym. 1998).

Noin 150 m pohjoiseen sijoittuvan hiekkadyyniharjanteen pohjoispuolella on muutamia pieniä kalliopaljastumia tyynylaavarakenteista Cr-basalttia. Cr-basalttipaljastumasta noin 100 m koilliseen nähdään Kellojärven ultramafisen kompleksin paljastumia (kuva 26, kohde 15).

Taulukko 3. Mäkisensuon kohteen 14 korkean Cr-pitoisuuden basaltin (1 ja 2), komatiittisen basalttimurskaleen (3) ja komatiitin (4) kokokivianalyysit (oksidit on normalisoitu volatiilittomiksi). Näytepisteet merkitty kuvaan 27.

	1	2	3	4
SiO ₂ %	52,2	53,6	50 <i>,</i> 0	48,4
TiO ₂	0,61	0,71	0,45	0,34
AI_2O_3	12,9	13,5	10,2	8,09
FeO	12,5	10,8	11,0	10,4
MnO	0,26	0,24	0,25	0,18
MgO	6,68	7,19	14,8	23,4
CaO	11,9	10,6	11,6	8 <i>,</i> 82
Na ₂ O	2,33	2,69	1,16	<0,01
K ₂ O	0,25	0,19	0,25	0,01
P_2O_5	0,05	0,05	0,04	0,03
Cr ppm	2162	2443	1567	3038
Ni	310	260	540	810
S	<300	<300	<300	970
V	258	279	197	143
Al/Ti	18,7	16,9	20,0	21,2
mg#	51,4	56 <i>,</i> 9	72,8	81,7

mg# = 100*(MgO/40,3)/((MgO/40,3)+0,9*(FeO/71,85))

Kohde 15. Serpentiniitti (oliviinimesokumulaatti)

X = 7126630 ja Y = 600635

Kohteen 15 serpentiniittipaljastuma kuuluu laajaan Kellojärven ultramafiseen kompleksiin (kuvat 6, 26 ja 28). Se on serpentiniittiytynyttä oliviinimesokumulaattia. Muutaman sadan metrin päässä pohjoisessa ultramafiset paljastumat sisältävät myös pyrokseniittisia kumulaatteja. Näiden kivien on tulkittu syntyneen ajoittain turbulenttisesti virranneessa laavajärvessä. (Halkoaho ym. 1996, Halkoaho & Niskanen 2012). Paljastuman päällä on Outokumpu Mining Oy:n vuonna 1994 tekemän kairareiän KH/SII-16 (kuva 28) suojaputki.

Kuva 28. Kairareiän KH/SII-16 kivilajipylväs ja alkuaineiden koostumusvaihteluja (Halkoaho ym. 1996).

Kohde 16. Juurikkaniemen vuolukivilouhos

X = 7126925 ja Y = 600048

Juurikkaniemen vuolukiviesiintymä on kooltaan noin 300 m x 150 m (kuvat 5, 6 ja 29). Se on harmaata ja hienorakeista, ja sen keskimääräinen mineraalikoostumus on 43 % talkkia, 38 % magnesiittia, 11 % kloriittia ja 8 % magnetiittia. Kivi on tekstuuriltaan massiivinen tai heikosti suuntautunut ja toisinaan raitainen. Sillä on hyvät lujuuden- ja lämmönkestävyysominaisuudet, ja sen työstöpinnalla on hillitty tai paikoitellen voimakaskin kuviointi. Materiaali reagoi hyvin kiillotukseen ja sen pinnanlaatu on erinomainen (Leinonen 2002).

Kuva 29. Juurikkaniemen vuolukiviesiintymäalueen geologinen kartta (Leinonen 2002).

KIITOKSET

Ekskursio-oppaan kirjoittaja esittää mitä lämpimimmät kiitoksensa Elina Lehtoselle ja Sari Romppaselle, heidän ekskursio-oppaan tekstin laatua merkittävästi parantaneista kommenteistaan. Sari on myös tehnyt oppaan kuvan 2, josta vielä erillinen kiitos.

LÄHDELUETTELO:

- Arndt, N. T., Naldrett, A. J. & Pyke, D. R., 1977. Komatiitic and iron-rich tholeiitic lavas of Munro Township, northeast Ontario. Journal of Petrology 18, 319–369.
- Basaltic Volcanism Study Project, 1981. Basaltic volcanism on the terrestrial planets. Pergamon Press, New York, 1286 s.
- Gruau, G., Tourpin, S., Fourcade, S. & Blais, S., 1992. Loss of isotopic (Nd,O) and chemical (REE) memory during metamorphism of komatiites: new evidence from eastern Finland. Contributions to Mineralogy and Petrology 112, 66–82.
- GTK Avoin lisenssi Nimeä CC 4.0, sisältää GTK:n kallioperä 1:200 000 aineistoa, irrotettu 15.5.2022 Hakkupalvelu. Aineisto muokattu. © Geologian tutkimuskeskus. Lisenssin osoite: http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi
- Halkoaho, T., Hokka, J. & Niskanen, M., 2015. Tutkimustyöselostus Kuhmon kaupungissa Kellojärven ja Kuivajärven alueilla suoritetuista malmitutkimuksista vuonna 2013. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti 36/2015, 43 s.
- Halkoaho, T., Hokka, J. & Niskanen, M., 2016. Tutkimustyöselostus Kuhmon kaupungissa malminetsintälupaalueella Mertaperä 1 (lupatunnus ML2013:0053) vuonna 2015 suoritetuista malminetsintätutkimuksista. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti 86/2016, 19 s.
- Halkoaho, T., Liimatainen, J., Papunen, H. & Välimaa, J., 1996. Komatiittiprojektin julkaisematon loppuraportti 1a. Geologian laitos, Turun yliopisto, Turku, 99 s.
- Halkoaho, T., Liimatainen, J., Papunen, H. & Välimaa, J., 2000. Exceptionally Cr-rich basalts in the komatiitic volcanic association of the Archaean Kuhmo greenstone belt, eastern Finland. Mineralogy & Petrology 70, 105–120. <u>https://doi.org/10.1007/s007100070016</u>
- Halkoaho, T. & Niskanen, M., 2004. Tutkimustyöselostus Kuhmon kaupungissa valtausalueilla Haverisensuo 1 ja 2 (kaivosrekisterinumerot 7426/1 ja 7628/1) suoritetuista nikkelimalmitutkimuksista vuosina 2002-2004. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M06/4411/2004/1/10, 16 s.
- Halkoaho, T. & Niskanen, M. 2012. Tutkimustyöselostus Kuhmon kaupungin Kellojärven Pärsämänsuo 1 valtausalueella (kaivosrekisterinumero 8344/1) suoritetuista nikkelimalmitutkimuksista vuosina 2007-2011. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti 64/2012, 18 s.
- Hanski, E. J., 1980. Komatiitic and tholeiitic meta-volcanics of the Kellojärvi group in the Siivikkovaara area of the Archaean Kuhmo greenstone belt, eastern Finland. Bulletin of the Geological Society of Finland 52, 67–100.
- Huebner, J.S., Lipin, B.R. & Wiggins, L.B., 1976. Partitioning of chromium between silicate crystals and melts. Lunar and Planetary Science Conference Proceedings 7, 1195–1220
- Huhma, H., Mänttäri, I., Peltonen, P., Kontinen, A., Halkoaho, T., Hanski, E., Hokkanen, T., Hölttä, P., Juopperi, H., Konnunaho, J., Layahe, Y., Luukkonen, E., Pietikäinen, K., Pulkkinen, A., Sorjonen-Ward, P., Vaasjoki, M. & Whitehouse, M., 2012. The age of the Archaean greenstone belts in Finland. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, Special Paper 54, 74–175.
- Hyppönen, V., 1973. Hiisijärvi. Suomen geologinen kartta 1:100 000, Geological Map of Finland. Kallioperäkartta - Pre-quaternary rocks, lehti – sheet 4412. Geologian tutkimuskeskus – Geological Survey of Finland.
- Hyppönen, V., 1976. Ontojoki. Suomen geologinen kartta 1:100 000, Geological Map of Finland. Kallioperäkartta - Pre-quaternary rocks, lehti – sheet 4411. Geologian tutkimuskeskus – Geological Survey of Finland.
- Hyppönen, V., 1978. Kuhmo. Suomen geologinen kartta 1:100 000, Geological Map of Finland. Kallioperäkartta - Pre-quaternary rocks, lehti – sheet 4413. Geologian tutkimuskeskus – Geological Survey of Finland.
- Hyppönen, V., 1983. Ontojoen, Hiisijärven ja Kuhmon kartta-alueiden kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Ontojoki, Hiisijärvi, and Kuhmo map-sheet areas. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkartan selitykset, lehdet 4411, 4412 ja 4413. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 60 s.

- Korsman, K., Koistinen, T., Kohonen, J., Wennerström, M., Ekdahl, E., Honkamo, M., Idman, H. & Pekkala, Y. (toim.), 1997. Suomen kallioperäkartta 1:1 000 000. Geologian tutkimuskeskus.
- Käpyaho, A., Mänttäri, I. & Huhma, H., 2006. Growth of Archaean crust in the Kuhmo district, eastern Finland: U-Pb and Sm-Nd isotope constraints on plutonic rocks. Precambrian Research 146 (3–4), 95–119.
- Lehtonen, E., Heilimo, E., Halkoaho, T., Käpyaho, A. & Hölttä, P., 2016. U-Pb geochronology of Archaean volcanic-sedimentary sequences in the Kuhmo greenstone belt, Karelia Province – Multiphase volcanism from Meso- to Neoarchaean and a Neoarchaean depositional basin? Precambrian Research 275, 48–69.
- Lehtonen, E., Heilimo, E., Halkoaho, T., Hölttä, P. & Huhma, H., 2017. The temporal variation of Mesoarchean volcanism in the Suomussalmi greenstone belt, Karelia Province, Eastern Finland. International Journal of Earth Sciences 106, 763–781.
- Leinonen, S., 2002. The Juurikkaniemi soapstone deposit. Teoksessa: Niemelä, M. (toim.), Talc-magnesite deposits in Finland, September 10-15, 2002, Finland: third field correlation, 32–33.
- Luukkonen, E. J., 1988. Moisiovaaran ja Ala-Vuokin kartta-alueen kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Moisiovaara and Ala-Vuokki map-sheet areas. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkartan selitykset, lehdet 4421, 4423+4441. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 90 s.
- Luukkonen, E. J., 1992. Late Archaean and early Proterozoic structural evolution in the Kuhmo-Suomussalmi terrain, eastern Finland. Turun Yliopiston julkaisuja. Annales Universitatis Turkuensis, Sarja-Ser. A. II. Biologica-Geographica-Geologica 78, 37 s.
- Luukkonen, E. J., 2001. Lentiiran kartta-alueen kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Lentiira map-sheet area. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkartan selitykset, lehti 4414+4432. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 51 s.
- Luukkonen, E., Halkoaho, T., Hartikainen, A., Heino, T., Niskanen, M., Pietikäinen, K. & Tenhola, M., 2002. Itä-Suomen Arkeeiset alueet –hankkeen (12201 ja 2015000) toiminta vuosina 1992 – 2001 Suomussalmen, Hyrynsalmen, Kuhmon, Nurmeksen, Rautavaaran, Valtimon, Lieksan, Ilomantsin, Kiihtelysvaaran, Enon, Kontiolahden, Tohmajärven ja Tuupovaaran alueella. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M19/4513/2002/1, 265 s.
- Martin, H., Auvray, B., Blais, S., Capdevila, R., Hameurt, J., Jahn, B. M., Piquet, D., Quérré, G. & Vidal, P., 1984. Origin and geodynamic evolution of the Archaean crust of eastern Finland. Bulletin of the Geological Society of Finland 56, 135–160.
- Matisto, A., 1958. Suomussalmi. Suomen geologinen yleiskartta, General Geological Map of Finland 1:400 000, kivilajikartan selitys with an English summary, lehti sheet D5. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 115 s.
- Nieminen, J., 1998. Kuhmon Kellojärven polymiktinen vulkaaninen konglomeraatti. Pro gradu -tutkielma. Turun yliopisto, 106 s.
- Papunen, H., 1960. Havaintoja Siivikkovaaran alueen kallioperästä Kuhmon pitäjän Vieksin kylässä. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, 56 s.
- Papunen, H., Halkoaho, T. & Luukkonen, E., 2009. Archaean evolution of the Tipasjärvi-Kuhmo-Suomussalmi Greenstone Complex, Finland. Geologian tutkimuskeskus, Bulletin 403, Espoo, 68 s. + CD-ROM.
- Papunen, H., Halkoaho, T., Tulenheimo, T. & Liimatainen, J., 1998. Excursion to the Kuhmo greenstone belt. Teoksessa: Hanski, E. & Vuollo, J. (toim.), International Ophiolite Symposium and Field Excursion Generation and Emplacement of Ophiolites Through Time, August 10–15, 1998, University of Oulu, Oulu, Finland: Abstracts: Excursion Guide. Special Paper 26. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 91–106.
- Piirainen, T. (toim.), 1985. Arkeeisten alueiden malmiprojektin loppuraportti. Arkeeisten alueiden malmiprojekti rap. 28. Oulun yliopisto, Oulu, 183 s.
- Piirainen, T., 1988. The geology of the Archaean greenstone–granitoid terrain in Kuhmo, eastern Finland. Teoksessa: Mattila, E. (toim.), Archaean geology of the Fennoscandian Shield. Special Paper 4. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 39–51.
- Roeder, P. L. & Reynolds, I., 1991. Crystallization of chromite and chromium solubility in basaltic melts. Journal of Petrology 32, 909–934.
- Tulenheimo, T., 1999. Kuhmon Kellojärven kerroksellinen ultramafinen muodostuma. Pro gradu -tutkielma. Turun yliopisto, 199 s.

- Vanne, J., 1984. Tutkimustyöselostus Kuhmon kunnassa valtausalueella Siivikkovaara 1–5, kaiv.rek. n:o 2853/1–5 suoritetuista malmitutkimuksista. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M06/4411/-84/1/10, 13 s. http://tupa.gtk.fi/raportti/valtaus/m06_4411_84_1_10.pdf
- Vihreäpuu, U., 1998. Kaivoslain 19 §:n mukainen tutkimustyöselostus Kuhmo / Mäkisenkangas, Mäkisenkangas 2, ja Matonevansuo Kaiv. rek n:ot 6063/2, 6397/1 ja 6063/1. 3 s., 3 liitettä.
- Wilkman, W. W., 1921. Nurmes. Suomen geologinen kartta 1:400 000, kallioperäkartan selitys, lehti D4. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 126 s.