ARKISTOKAPPALE

RAPORTTITIEDOSTO
N:O 3159

RAPORTTI
K/31.4/2122/92/1

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS
Kallioperäosasto
16. 07. 1992

Alustavia havaintoja HERTTUALAN KERROSJUONEN (Hämeenkyrö) petrologiasta ja malmiutumisesta

PETRI PELTONEN

Kallioperäosasto — Temaattiset tutkimukset
Geologian tutkimuskeskus
Betonimiehenkuja 4
02150 ESPOO

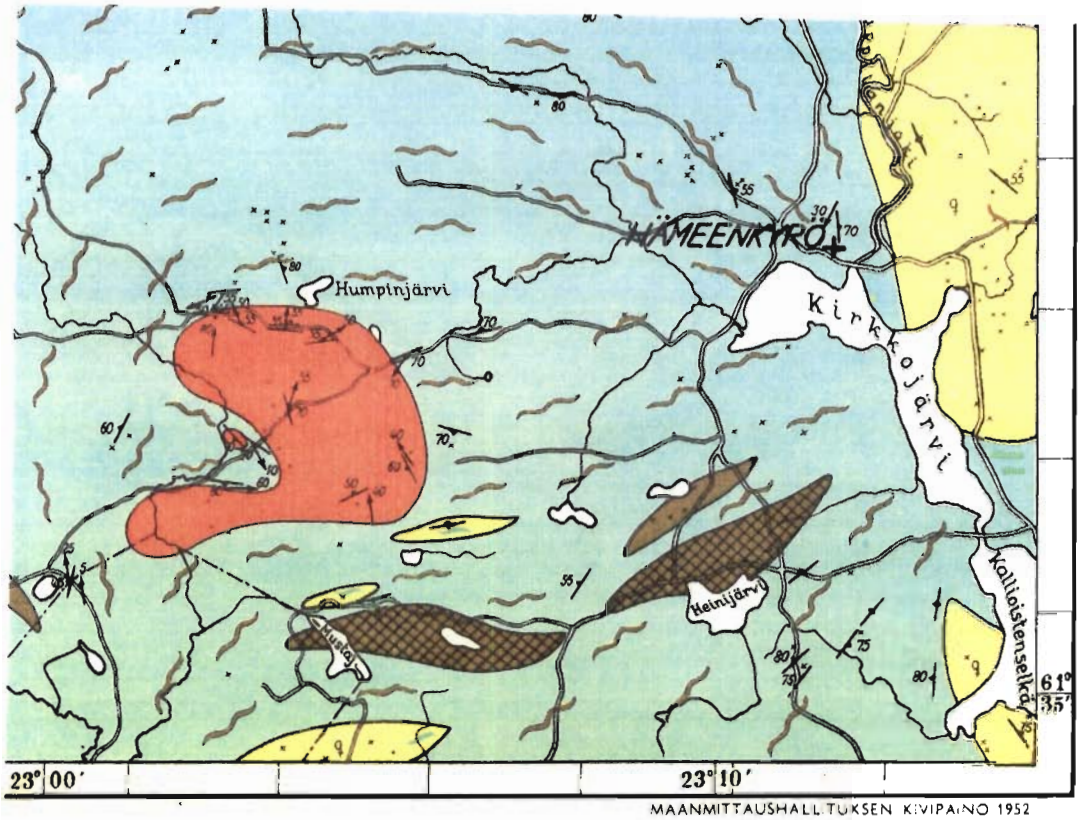
Taustaa

HERTTUALAN KERROSJUONI sijaitsee Ikaalisten karttalehden 2122 osalehdillä 10 A ja 10 C, noin 4 km Hämeenkyrön keskustasta lounaaseen (kuva 1). Se on epäjatkuva, magneettisten karttojen perusteella useasta kappaleesta koostuva, mafinen-ultramafinen kerrosrakenteinen intruusio[1]. Herttualan kerrosjuoni on fragmentoitunut useaksi kappaleeksi (Kuva 2) ja on alustavasti jaettu kolmeen lohkoon (MUSTAJÄRVEN, SANTAVUOREN ja HEINIJÄRVEN KAPPALEET). Näiden lisäksi alueella esiintynee lukuisina pienempinä "intruusioina" kappaleita Herttualan kerrossarjasta. Herttuala on huomattavan kookas Svekofenninen mafinen-ultramafinen intruusio — erilliset lohkot yhteenlaskemalla kerrosjuonen pituudeksi saadaan ainakin 6-7 km. Kerrossarjan kokonaispaksuus on 200-500 m.

Herttualan kerrosjuonen aluetta kartoitettiin (PTP) 9.6.-11.6. ja 22.-23. 6. 1992 välisinä ajanjaksoina osana GGT ("Global Geoscience Transsect") -hankkeen Tampereen-Vammalan alueen tutkimuksia. Paljastumahavaintoja kertyi 35 kpl, joista 30 kpl varsinaisen kerrosjuonen kivilajeista ja 5 kpl ympäröivistä liuskeista. Peridotiitti, pyrokseniitti- ja gabrovyöhykkeiltä kerättiin 20 näytettä. Näistä teetettiin 8 kiillotettua ohuthiettä, 10 mineraalianalyysiä sekä 3 kokokivianalyysiä, joihin tämä alustava raportti perustuu.

---

[1] KANSIKUVA Moroutunutta peridotiittia Kurjenpolvenmäen sorakuopalla. Terveen peridotiitin päällä on useiden metrien paksuinen rapautumakuori, joka koostuu peridotiittisorasta ja -lohkareista sekä supergeenisistä raudan oksideista (hematiista götiitistä ym.). Mustajärven lohko, Peridotiittivyöhyke (6-PTP-92), oliviini-augiitti-enstatiittikumulaatti (oaeC), X=6831.54 ja Y=451.98.



Kuva 1 Herttualan kerrosjuoni Ikaalisten karttalehden[2] kaakkoisnurkassa.

NÄYTE	X=	Y=	Ohuthie	Kem. anal.	Oliviini	Kromiitti
6A-PTP-92	6831.54	451.98	X	X	X	
6B-PTP-92	6831.54	451.98	X	X		
6C-PTP-92	6831.54	451.98		X		
7-PTP-92	6831.75	451.44	X			
8-PTP-92	6831.15	453.17	X		X	X
16-PTP-92	6831.34	453.04	X			
24-PTP-92	6832.04	451.06	X			
27A-PTP-92	6831.84	451.16	X			
28-PTP-92	6831.56	451.18	X			

Taulukko 1 Herttualan juonen jatkokäsitelty näytemateriaali

[2] Ote Geologian tutkimuskeskuksen kallioperäkartasta 2122, Ikaalinen (Huhma, Salli & Matisto, 1952)

Herttualan kerrosjuonen yleispiirteet

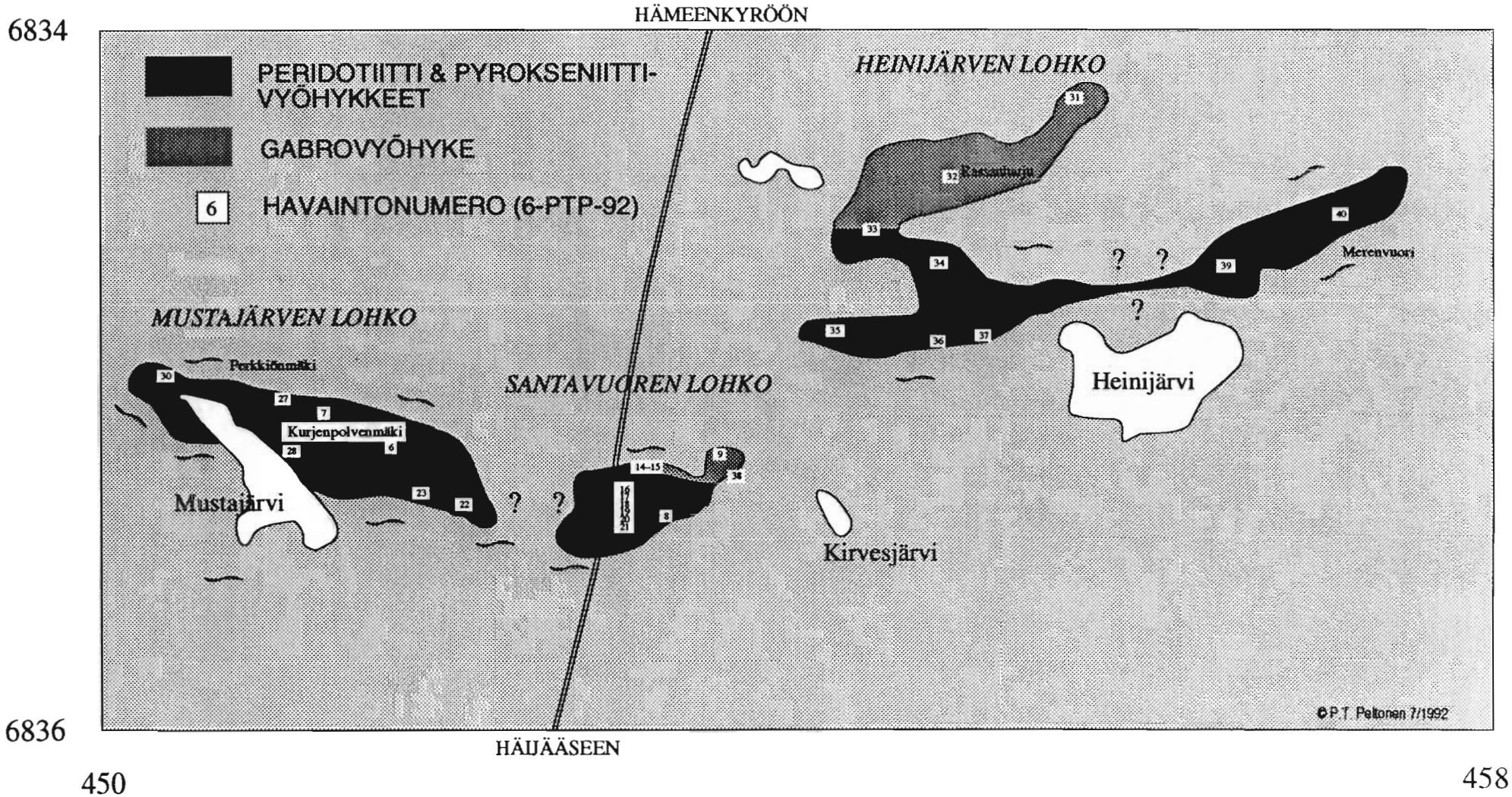
Läntisin, MUSTAJÄRVEN KAPPALE on noin 2 km pitkä WNW—ESE -suuntainen pohjoiskoilliseen kaatuva laattamainen intruusio. Kerrossarjan[3] paksuus vaihtelee ja on vähintään n. 200 m, mutta saattaa laatan keskiosissa olla jopa 400 m. Mustajärvi on Herttualan kappaleista primitiivisin (mafisin) ja siitä todettu fraktioitumissarja on varsin lyhyt. Kappaleen kokonaiskoostumus on pyrokseniittinen. Primitiivisimmät, oliviinipitoisimmat kumulaatit (peridotiittivyöhyke) ovat paljastuneina Kurjenpolvenmäen alueella magneettisen häiriön pohjoiskontaktin lähellä. Koska Kurjenpolvenmäen SW-puolelta on tavattu näitä fraktioituneempia pyrokseniittisiä kiviä (pyrokseniittivyöhyke), vaikuttaa kuin kerrossarjan katto olisi lohkon SSW-reunalla. Toisaalta, välittömästi Mustajärven kappaleen N-puolella, Perkkiönmäen alueella tavataan fragmenttirakenteista gabroa, jonka muiden kappaleiden alueella (kts alla) on tulkittu liittyvän intruusion kattokontaktiin. Tässä tapauksessa peridotiittivyöhykkeen eteläpuoliset pyrokseniitit saattaisivat edustaa kerrosintruusioille tyypillistä reunasarjaa säiliön pohja- tai sivukontaktissa.

Keskimmäinen SANTAVUOREN KAPPALE on Mustajärven paksuinen, mutta vain n. 1 km:n pituinen WSW—ENE -suuntainen laatta. Primitiivisimmät tavatut kumulaatit ovat paljastuneina aivan kappaleen (ja siihen liittyvän magneettisen anomalian) eteläreunalla. Täällä oliviinipitoiset kumulaatit (oaeC=oliviini-augiitti-enstatiittikumulaatit) esiintyvät epäjatkuvina osueina pyrokseniittisten kivien joukossa. Tämän pohjoispuolella on noin 200 m:n paksuudelta homogeenisia ja massiivisia, mutta paikoin selvasti kerrosrakenteisia kiviä, joissa edelleen tavataan oliviinia — kuitenkin jo mahdollisesti epätasapainoisena kumulusmineraalina. Kerrossarjan katto olisi siten Santavuoren alueella pohjoisessa. Kappaleeseen liittyvän magneettisen anomalian pohjoispuolella tavataan hyvin

---

[3] Terminologia Irvine TN (1982) *J. Petrol 23:127-162* ja Lambergin (1990) *Erikoistyö, Oulun yliopisto* mukaisesti, kuitenkin siten modifioiden, että jako pyrokseniitti- ja -gabrovyöhykkeisiin perustuu hieaineiston vähäisyyden vuoksi silmämääräiseen tulkintaan kentällä ("oliviiniköyhät pyrokseniitit" vs. "runsaasti plagioklaasia sisältävät kumulaatit"), eikä rinnastu siihen faasirajapintaan, jossa plagioklaasi alkaa kiteytyä itsenäisinä kumulusrakeina.

HERTTUALAN KERROSJUONI (2122 10 A &C)



Kuva 2 Herttualan kerrosjuonen alustava geologinen kartta paljastumahavaintojen ja magneettisten matalalentokarttojen mukaan.

säilyneitä kattovyöhykkeen kiviä. Tätä, ns. fragmenttista yksikköä luonnehtivat a) syväkivifragmentteja ja -juonia sisältävät voimakkaasti tektonisoituneet kiillegneissit, b) hybridikivet sekä c) magmaattiset konglomeraatit ja fragmenttiset gabrot (autobreksiat), joissa fragmentteina syväkivien lisäksi esiintyy musta(grafiitti)liusketta (kuva 3).

Itäinen HEINIJÄRVEN KAPPALE on Herttualan kerrosjuonen kappaleista suurin, rakenteellisesti monimutkaisin ja myös fraktioitunein. Herttualan kylän kohdalla kerrosjuoni näyttää haaroittuvan pohjoiseen ja etelään. Eteläistä haaraa, joka koostuu pääasiassa pyrokseniittivyöhykkeen kivistä (Kuva 4), voidaan paljastumilla seurata Merenvuorelle saakka. Pohjoinen, pääasiassa gabrovyöhykkeen kivistä koostuva kerrosjuonen haara ulottuu ainakin Varitunjärvelle asti. Molemmat kerrosjuonen haarautumat yhtyvät voimakkaisiin grafiittikiilleliuskeita aiheutuviin magneettisiin häiriöjaksoihin eikä niiden mahdollista jatkumista itäkoilliseen voida varmistaa. Eteläisen haaran pohjakontakti kiillegneissejä vastaan on paljastunut Herttualan kylän kohdalla (Ala-Keskinen) ja pohjoisen haaran ja kiillegneissin kontakti on paljastuneena Rassanharjun eteläreunalla. Alimmat kumulaatit ovat eteläisessä haarassa pyrokseniittivyöhykkeen kiviä ja pohjoisessa gabroja. Heinijärven kappaleen alueelta ei tunneta varsinaisia peridotiittivyöhykkeen kiviä.

Petrografiaa

PERIDOTIITTIVYÖHYKKEEN kivet ovat usein voimakkaasti moroutuneet ja ovatkin paljastuneet tavallisesti vain silloin, kun rapautuma-ainesta on kaivettu tienparannusmateriaaliksi. Terveen peridotiitin päällä voi olla useiden metrien paksuinen "gossan" (kansikuva), joka koostuu peridotiittisorasta, rapautumattomista pyöreämuotoisista peridotiittilohkareista sekä supergeenisistä raudan oksideista (hematiitista, götiitistä jne). Pyrokseniittivyöhykkeen kiviin verrattuna niiden rapautumispinta ja -kuori ovat ruskehtavia. Tuoreella murrospinnalla erottuu suuria (Ø jopa 5 cm) poikiliittisia interkumulusrakeita ja niiden sulkeumana olevia kumuluskiteitä

Kuva 3 Fragmenttinen yksikkö Santavuoren kappaleen pohjoisreunalla (15-PTP-92)

Kuva 4 Pyrokseniittyvyöhyke. Primäärirakoilua mahdollisesti magmaattisen kerroksellisuuden suunnassa ja sitä vastaan kohtisuorassa. Heinijärven kappale, Merenvuori (40-PTP-92).

(oliviinia ja pyrokseeneja) sekä heikkoa sulfidipirotetta. Mikroskooppisesti peridotiittivyöhykkeen kivet ovat ortokumulusrakenteisia. Kumulusmineraaleina esiintyy (laskevassa runsausjärjestyksessä): [a)] *Oliviinia* pyöreämuotoisina (Ø=0,2-2 mm), paikoin syöpyneinä — mahdollisesti jo epätasapainoisina — kumuluskiteinä. Oliviinikiteet ovat vaihtelevasti hydrautuneet lizarliitiksi + magnetiitiksi ja niiden sulkeumina on pieniä kromispinellikiteitä; [b)] *Augiittia* tavallisesti oliviinikiteitä pienempinä rakeina (Ø<0,8 mm), jotka usein ovat täysin korvautuneet retrogradisilla Ca-amfiboleilla sekä [c)] *Enstatiittia*, jolla on sekä kumulus, että intercumulusluonnetta: poikiliittiset enstatiittikiteet (Ø≈2 mm) sulkevat sisäänsä oliviini- ja augiittirakeita, mutta toisaalta enstatiittia tavataan itsenäisinä kumuluskiteinä muissa interkumusmineraaleissa. Korvautumista Fe-Mg amfiboleilla. *Interkumulusmineraaleina* esiintyy pyrokseenien lisäksi amfibolia ja flogopiittiä sekä plagioklaasia. Kumulusterminologian mukaisesti peridotiittivyöhykkeen kivet voidaan nimetä oliviini-augiitti-enstatiittikumulaateiksi (oaeC).

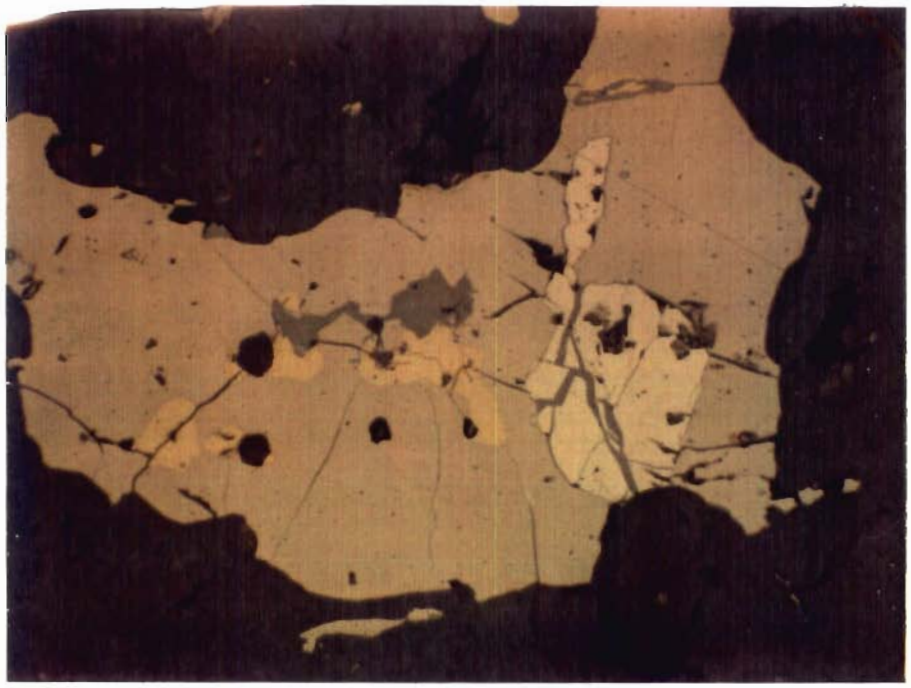
PYROKSENIITTIVYÖHYKKEEN kivet ovat rapautumispinnaltraan tumman vihreitä tai ruskehtavia. Ne ovat tavallisesti sitkeitä massamaisia kiviä, mutta jo hiukan oliviinia sisältävät muunnokset ovat moroutuvia. Mikroskoopisesti pyrokseenivaltaiset kivet ovat peridotiitteja voimakkaammin uudelleenkiteytyneitä ja hydrotermisesti muuttuneita. Niiden kumulusrakenteet ovat usein huonosti säilyneitä (tai mahdollisesti jo alunperin heikosti kehittyneitä). Pyrokseniittivyöhykkeen kivet ovat peridotiittivyöhykkeen kivien tavoin ortokumulusrakenteisia. Augiitti ja enstatiitti ovat vallitsevat kumulusmineraalit ja tavallisesti pyrokseniittivyöhykkeen kivet ovatkin luokiteltavissa augiitti-enstatiittikumulaateiksi (aeC). Interkumulustilan täyttävät amfiboli, flogopiitti, sulfidit sekä plagioklaasi. Hydrotermisiä faaseja ovat rutiili ja titaniitti.

GABROVYÖHYKKEEN kivet erottuvat paljastumilla vaaleina ja selvästi plagioklaasipitoisina. Valtaosaltaan plagioklaasi täyttää pyrokseenikiteiden (ja niiden pseudomorfien) välisiä interkumulustiloja, eikä muodosta omamuotoisia liistakkeita. Vain yksi gabrovyöhykkeen näyte on tutkittu mikroskooppisesti. Mustajärven kappaleen pohjoispuolella, Perkkiönmäellä, gabro on vaaleata plagioklaasivaltaista sarvivälkegabroa. Selvää kumulusrakennetta ei ole kehittynyt. Gabro on hydrotermisesti muuttunut ja

vaikuttaakin siltä, että hydrotermisten (deuteristen) reaktioiden ja muutosten määrä lisääntyy Herttualan kerrossarjassa ylöspäin.

Heikkoa sulfidipirotetta on yleisesti peridotiitti- ja pyrokseniittivyöhykkeen kumulaateissa. Sulfidimineraaleja esiintyy: 1) pieninä (Ø=0.001-0.1 mm) pisaroina kumulusoliviinin sulkeumina, 2) hiukan suurempina (Ø=0.05-0.1 mm), vaihtelevan muotoisina rakeina interkumulusmateriaalin sulkeumana sekä 3)selvästi kumuluskiteiden välitiloja täyttävänä interkumulussulfidina. Sulfidiparagenesis vaihtelee jonkin verran näytteestä toiseen. Kurjenpolvenmäen kaakkoispuolella peridotiittivyöhykkeen kivien (näyte 6A) sulfidifaasi koostuu lähes yksinomaa magneettikiisusta ja on hyvin Ni- ja Cu-köyhä. Perkiönmäen eteläpuolella on peridotiittivyöhykkeen näytteessä (näyte 27A) kohtalainen sulfidipirote, jossa pentlandiitin ja kuparikiisun osuus on huomattava. Magneettikiisu on edelleen yleisin ja kuparikiisu ja pentlandiitti esiintyvät sen yhteydessä — pentlandiiti juoni- ja aaltomaisina sulkeumina, mutta myös kookkaampina aggregaatteina (kuva 5), ja kuparikiisu itsenäisempinä rakeina. Nikkelirikkaita sulfidimineraaleja (milleriitti, gersdorfiitti jne.) ei esiinny. Pyrokseenivaltaisissa hydrotermisesti muuttuneissa tyypeissä esiintyy lisäksi rikkikiisua pieninä euhedrisinä kiteinä. Koska näytteet ovat palanäytteitä ovat sulfidimineraalit yleisesti reunoiltaan hapettuneita tai muuttuneita supergeenisiksi, tarkemmin määrittämättömiksi faaseiksi.

Yleisin oksidimineraali Herttualan kerrosjuonessa on magnetiitti, jota tavataan sekä itsenäisinä omamuotoisina kiteinä että oliviinin serpentinisaatiossa syntyneenä vierasmuotoisena, oliviinin rakoja myötäilevänä, aineksena. Pieniä kromispinellikiteitä on oliviinin sulkeumana primitiivisimmissä kumulaateissa. Supergeenisiä oksideja ovat hematiitti sekä iddingsiitti ja hydrotermisiä rutiili. Grafiittia on yleisesti suomukimppuina kumulusoliviinin ja interkumulusmineraalien sulkeumana.



Kuva 5. Magneettikiisu-pentlandiitti-kuparikiisu paragenesis oliviini-augiitti-enstatiittikumulaatissa. Kurjenpolvenmäki, 27A-PTP-92.

Mineraalikemia

Kahdesta peridotiittivyöhykkeen näytteestä (taulukko 1 ja 2) analysoitiin Geologian tutkimuskeskuksen elektronimikroanalysaattorilla (JEOL 733 SUPERPROBE) oliviinin ja kromispinellin koostumuksia. Standardeina käytettiin luonnon oliviinia ja kromiittia. Ajoaikainen jännite oli 15 kV, suihkuvirta 25 nA ja säteen läpimitta 20 µm.

MUSTAJÄRVEN KAPPALEEN näytteestä (6-PTP-92; oaeC) analysoitiin vain oliviineja (3 kpl). Oliviinin forsteriittipitoisuus [Mg/(Mg+Fe)] vaihtelee kolmessa rakeessa Fo=70.05—71.10 mol.%. Oliviinin nikkelipitoisuus on hyvin alhainen, vain noin 0.02-0.04 wt.% NiO ja on lähellä elektronimikroanalysaattorin erotuskykyä.

SANTAVUOREN KAPPALEEN näytteestä (8-PTP-92; oaeC) analysoitiin sekä oliviineja (2 kpl), että kromispinellejä (5 kpl). Oliviinin Fo- ja Ni-pitoisuudet ovat

samantasoisia kuin Mustajärven kappaleessa. Analysoidut kromispinellit ovat muuttumattomia, euhedrisiä ja läpikuultamattomia rakeita. Kaikki ovat kumulusoliviinirakeiden sulkeumia. Kromispinellien koostumusvaihtelu on tutkitun yhdenkin hieen puitteissa huomattavaa (Cr_2O_3=17.28—33.92; Al_2O_3=22.89—37.18; ZnO=1.50-2.95).

Taulukko 2 Herttualan kerrosjuonen mineraalianalyysit. Annetut pitoisuudet ovat 2-3:n analyysin keskiarvoja, paitsi kromispinelli 8c (1 piste).

Näyte nro	6-PTP-92 (oaeC)	6	6	8-PTP-92 (oaeC)	8	8	8	8	8	8
Mineraali	OL	OL	OL	OL	OL	SP	SP	SP	SP	SP
Anal.piste	xa	xb	xc	xa	xb	a1	a2	b1	b2	c
Cr2O3	•	•	•	•	•	33.92	33.01	17.28	20.24	24.14
Al2O3	•	•	•	•	•	22.89	22.90	37.18	33.71	31.50
Fe2O3	•	•	•	•	•	10.207	10.566	8.414	9.196	7.956
SiO2	37.99	37.71	37.19	38.51	37.23	•	•	•	•	•
FeO	25.50	26.57	26.31	24.37	28.37	24.53	25.08	32.47	30.96	30.48
MgO	35.20	34.85	35.54	37.49	33.87	5.46	4.95	2.44	2.78	2.81
MnO	0.36	0.42	0.41	0.38	0.46	•	•	•	•	•
NiO	**0.02**	**0.04**	**0.02**	**0.00**	**0.05**	•	•	•	•	•
ZnO	•	•	•	•	•	2.82	2.95	1.50	1.75	1.93
Summa	99.06	99.60	99.48	100.75	99.99	99.83	99.45	99.29	98.64	98.81
Happi at.	4	4	4	4	4	32	32	32	32	32
Si	1.012	1.006	0.994	1.003	0.999	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.021	7.076	10.987	10.147	9.550
Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.999	2.084	1.588	1.767	1.540
Fe2	0.568	0.593	0.588	0.531	0.636	5.339	5.497	6.810	6.612	6.556
Mg	1.398	1.386	1.415	1.456	1.355	2.120	1.932	0.913	1.058	1.076
Mn	0.008	0.010	0.009	0.008	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.980	6.840	3.425	4.086	4.910
Ni	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.541	0.571	0.278	0.330	0.367
Fo mol.%	**71.10**	**70.05**	**70.65**	**73.28**	**68.03**					
Mg#						28.422	26.010	11.820	13.789	14.103
Cr#						0.499	0.492	0.238	0.287	0.340
Kationit	2.988	2.994	3.006	2.997	3.001	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000
Hapet	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000

Vammalan alueen (30 km Herttualasta etelään) Ni-Cu mineralisoituneiden ultramafisten intruusioiden [oliviini(kromiitti)kumulaatteja; o(s)C] oliviineihin verrattuna ovat Herttualasta analysoidut oliviinit huomattavasti fayaliittisempia ja niiden Ni-

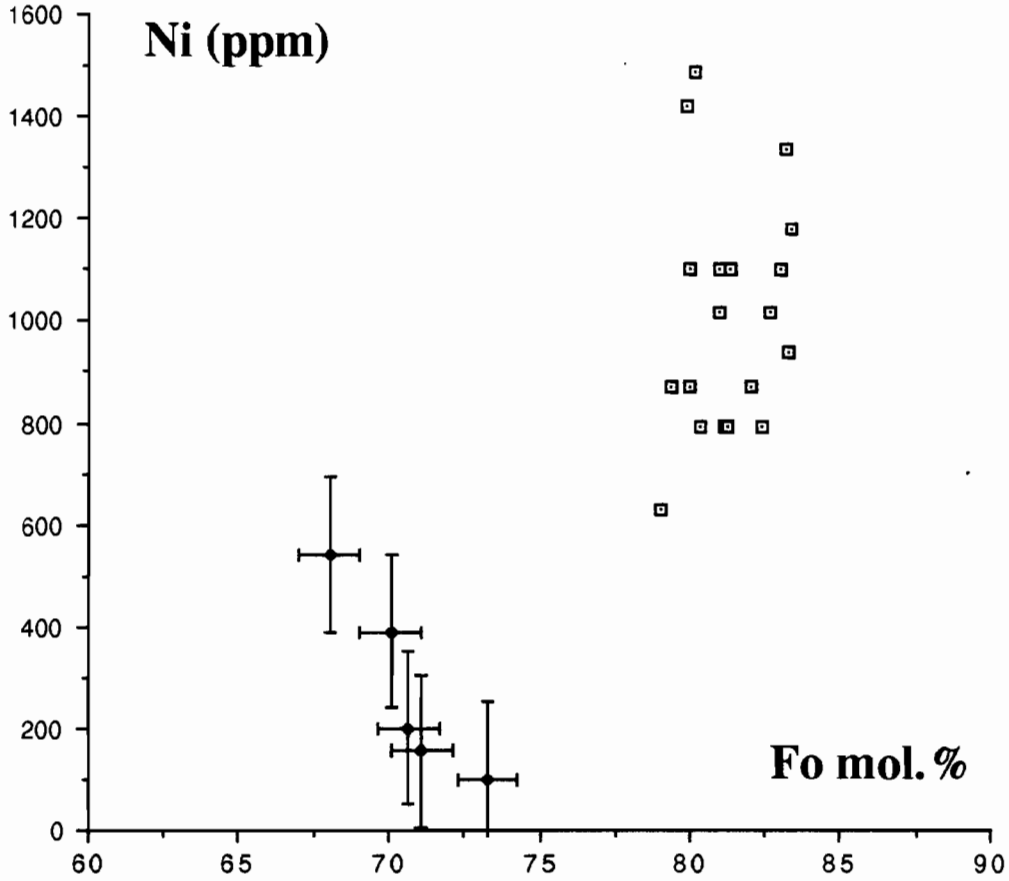
pitoisuudet ovat alhaisemmat (Kuva 6). Herttualan alhainen Fo-pitoisuus havainnollistaa sitä petrografisestikin todettua piirrettä, että primitiivisimmätkin Herttualasta tavatut kumulaatit ovat huomattavasti pidemmälle fraktioituneita kuin Ni-Cu -mineralisoituneet Vammalan alueen intruusiot.

Aikaisemmissa tutkimuksissa[4] on todettiin kromispinellin olevan Zn-rikkaampaa Vammalan ja Mouhijärven alueiden mineralisoituneissa kuin tyhjissä intruusioissa. Detritaalisen kromispinellin esiintymistä ja koostumusta sekä malminetsinnällisiäkin sovellutuksia on testattu[5]. Malmiutuneissa Vammalan alueen ultramafisissa intruusioissa kromispinellin ZnO-pitoisuus vaihteli n. välillä 1.0—1.7 p.%. Herttualan kromispinellien ZnO-pitoisuudet ovat huomattavan korkeita ja vaihtelevat välillä 1.50-2.95 p.% . Pitoisuuksien suora vertaaminen on tosin hankalaa intruusioiden erilaisen differentioitumisasteen vuoksi, sillä sinkin käyttäytymistä basalttisen magman kiteytymisen aikana eikä sen jakautumista eri faasien kesken tunneta hyvin.

---

[4] Peltonen P ja Lamberg P. (1991). *Geol. Surv. Finland Spec. Pap. 12: 23-31*, Lamberg P ja Peltonen P (1990) *Terra Abstracts 3(1): 111*, Lamberg P ja Peltonen P, *valmisteilla*

[5] Peltonen ja muut (1992) *Geologian Tutkimuskeskus — Geological Survey of Finland, Tutkimusraportti 111 — Report of Investigation 111, 25 ss, 25 pp.*



Kuva 6 Herttualan kerrosjuonesta analysoitujen oliviinien Ni (ppm)- ja Fo (mol.%)-pitoisuudet. Vertailun vuoksi diagrammilla on esitetty Vammalan alueen mineralisoituneiden intruusioiden oliviinien koostumuksia (neliöt). Vammalan alueen aineisto[6]: STORMI (ekonominen mineralisaatio) ja EKOJOKI (subekonominen mineralisaatio).

Geokemia

Herttualan kerrosjuonen Mustajärven kappaleen alueelta teetettiin kolme kemiallista kokokivianalyysiä. Kaikki analysoidut näytteet ovat samalta peridotiitti—pyrokseniittivyöhykkeen paljastumalta (6-PTP-92). Analysoitavat näytteet valittiin ennen

[6] (Peltonen, *julkaisematon*)

petrografista tarkastelua. Hietutkimusten perusteella 6A on oliviini-augiitti-enstatiittikumulaatti (oaeC), jonka sulfidifaasi on hyvin Ni-köyhä ja koostuu lähes yksinomaa magneettikiisusta. Koska myös silikaatit ovat hyvin nikkeliköyhiä on kokokivenkin Ni-pitoisuus peridotiittiselle kivelle erittäin alhainen — vain 88 ppm. Näyte 6B on augiitti-enstatiittikumulaatti (aeC), jonka sulfidiparagenesis on magneettikiisu + kuparikiisu. Kokokiven Cu-taso on hiukan kohonnut ollen 245 ppm. Näyte 6C on rikkikiisuvaltainen serpentiini-karbonaattikivi.

Mustajärven ja Santavuoren alueilta tutkittuja peridotiittivyöhykkeen näytteitä 8-PTP-92 ja 27A-PTP-92, joiden sulfidiparagenesis hietutkimusten perusteella on selvästi Ni-ja Cu-pitoisempi (erit. 27A) kuin em. näytteiden ja koostui paragenesiksesta magneettikiisu + pentlandiitti + kuparikiisu, ei ole analysoitu.

Taulukko 2. Herttualan kerrosjuonen kumulaattien ja metasomaattisen serpentiini-karbonaattikiven kemiallisia koostumuksia (6A-C) sekä edustavia Ni-Cu -mineralisaatioiden isäntäkivien koostumuksia Vammalan alueelta (Stormi: TY-179/180.0; Ekojoki: VM/EJ-17/66.0. Analyysit: Geologian tutkimuskeskuksen kemian laboratorio; hiili Leko-titraimella ja muut alkuaineet röntgenfluoresenssilla sulatteesta. Alhaiset kokonaissummat aiheutuvat analysoimattomista vedestä (6A, 6B, Str, Ej) tai vedestä+hiilidioksidista (6C). ¤) o=oliviini; a=augiitti; e=enstatiitti; s=spinelli; C= -kumulaatti; se=serpentiini; cc=carbonaatti

Näyte nro Kivilaji ¤	1 6A oaeC	2 6B aeC	3 6C se-cc kivi	4 STORMI o(s)C	5 EKOJOKI o(s)C
SiO2	41.08	46.18	11.45	38.66	38.49
TiO2	0.38	0.49	0.00	0.21	0.12
Al2O3	3.32	4.57	0.03	2.44	1.80
Fe2O3	15.89	10.81	3.60	14.50	13.36
MnO	0.20	0.16	0.46	0.19	0.18
MgO	22.13	15.19	9.82	28.75	30.87
CaO	7.19	14.82	38.56	3.11	4.92
Na2O	0.38	0.44	0.00	0.13	0.02
K2O	0.23	0.30	0.00	0.13	0.04
P2O5	0.04	0.06	0.00	0.02	0.02
S	0.35	0.95	0.30	0.26	0.12
C_{tot}	0.25	0.16	8.48	0.11	0.10
Summa	91.44	94.13	72.73	88.51	90.04
V	440	870	10	118	122
Cr	906	1700	11	1306	1910
Ni	88	143	18	903	897
Cu	46	245	0	191	167
Zn	125	62	8	102	74

Vammalan Ni-vyöhykkeellä, mutta myös Mouhijärven alueella (2121 09 MURTO) esiintyy oliviini(-kromiitti)kumulaatteja pienehköinä itsenäisinä linsseinä ja osana lyhyen differentiaatiosarjan omaavia ultramafisia intruusioita. Nämä ovat primitiivisimpiä tunnettuja kumulaatteja Vammalan Ni-vyöhykkeeltä ja sen lähiympäristöstä ja kokemuksen perusteella ovat myös potentiaalisin Ni-Cu mineralisaatioiden isäntäkivi. Taulukossa on vertailun vuoksi annettu kahden tälläisen oliviini(kromiitti)kumulaatin koostumukset[7]. Herttualan peridotiittivyöhykkeen kivet (6A ja 6B) ovat selvästi pidemmälle fraktioituneita kuin oheiset vertailunäytteet. Erot nikkelipitoisuuksissa eivät ehkä niinkää heijasta eroja vähäisen sulfidifaasin koostumuksessa kuin suurta eroa silikaattien nikkelipitoisuuksissa.

Herttualan kerrosjuonen Ni-Cu-PGE malmipotentiaali

Rikin suhteen alikylläisen magman kanssa tasapainossa olevat Fo_{70} - koostumuksiset oliviinit sisältävät tavallisesti 900-1200 ppm nikkeliä[8]. Herttualan oliviinien Ni-pitoisuus on kuitenkin huomattavasti alhaisempi, vain 100-500 ppm. Tämä osoittaa[9], että rikin liukoisuus on ylittynyt Herttualan kantamagmassa ja Ni, Cu ja platinaryhmän alkuaineet (PGE) ovat jakaantuneet valtaosin magmasta erkaantuneeseen sulfidisulaan. Herttualan oliviinit ovat varsin Ni-köyhiä, mikä viittaa äkilliseen ja nopeaan sulfidifaasin muodostukseen sekä toisaalta pieneen magma/sulfidi suhteeseen (suureen sulfidimäärään).

Äkilliset muutokset esim. SiO_2:n aktiivisuudessa, hapen tai rikin osapaineessa saattavat johtaa äkilliseen sulfidifaasin erkaantumiseen. Tässä yhteydessä ei ole yksityiskohtaisesti tutkittu Herttualan kerrosjuonessa sulfidifaasin muodostumiseen johtaneita tekijöitä, mutta joitakin arvioita voidaan esittää. Herttualan kattokontaktista

---

7 (Peltonen, *julkaisematon*)

8 Simkin T ja Smith JV (1971) *J Geol 78: 304-325*

9 esim. Thompson JFH ja Naldrett AJ (1984) *In: Sulfide deposits in mafic and ultramfic rocks. IMM Spec. Publ:.pp. 103- 113*

tunnetaan, mahdollisesti useiden kymmenien metrien paksuinen fragmenttinen yksikkö, jossa hybridikivet ovat yleisiä. Intruusion sivukiviin liittyy sulfidipitoisia musta(grafiitti)liuskevälikerroksia, jota tavataan kappaleina myös fragmenttisessa yksikössä. Kerrossarjan kivissä yleisesti esiintyvä aksessorinen grafiitti viittaa, ettei kyse ole vain fragmenttiseen yksikköön rajoittuvasta paikallisesta sivukiven assimilaatiosta. Assimiloitujen grafiittikiilleliuskeiden (max. 2000 ppm Zn) ja Herttualan kromispinellien (1.5-3 wt.% ZnO) korkeiden sinkkipitoisuuksien välillä saattaa myös olla kausaalinen yhteys[10]. Em. havainnot ja magman tasapainottuminen varsin suuren sulfidimäärän kanssa viittaavat, että viime kädessä mahdollisesti *sulfurisaatio* johti rikin liukoisuuden ylittymiseen Herttualan kerrosjuonessa.

Sulfidisulan määrää tai sen Ni-pitoisuutta ei ole tässä yhteydessä kvantifioitu, mutta intruusion koko huomioiden voidaan sen todeta olevan merkittävä. Malminetsintäfilosofian kannalta on ensiarvoisen tärkeää määrittää se ajankohta jolloin edellä tunnistettu sulfidien erkaantuminen tapahtui. Oliviinin nikkelipitoisuus on alhainen, mutta siinä on jo muutamienkin analyysien perusteella suurehkoa vaihtelua. Tämä saattaa viitata, ettei sulfidifaasi erkaantunut kerralla (batch equilibration) magman evoluution varhaisessa vaiheessa, vaan että myös jatkuvalla prosessilla (fractional segregation). Mikäli sulfurisaatio, jonka merkkejä ovat mustaliuskesulkeumat intruusion katon granofyyrivyöhykkeessä, oli se prosessi, joka aiheutti ensimmäisen merkittävän sulfidifaasin erkaantumisen Herttualan magmasta, tapahtui myös sulfidien erottuminen *in situ*. Tällöin sulfidimineralisaatio saattaa olla löydettävissä Herttualan intruusion primitiivisimmistä kumulaateista.

Oliviinin alhainen forsteriittipitoisuus, peridotiittien kumulusmineraaliseurueet sekä kokokivien kemialliset koostumukset osoittavat, että yhtä primitiivisiä kumulaatteja kuin mitä Ni-Cu mineralisaatiot Vammalan alueella suosivat, ei Herttualan kerrosjuonesta tunneta. Herttualan primitiivisimpien tunnettujen kumulaattien esiintyminen intruusioon liittyvät magneettisen anomalian reunoilla osoittaa, ettei merkittäviä ultramafisia

---

[10] (Peltonen, *valmisteilla*)

kumulaattikerroksia ole puhjenneina myöskään maapeitteiden alla. Svekofennisissä kerrosrakenteisissa intruusioissa sulfidien määrän on raportoitu kasvavan kerrossarjassa alaspäin ja esiintyvän myös reunasarjan kivissä[11]. Malmipotentiaalisimmat kumulaatit ovat Herttualassakin mahdollisesti löydettävissä intruusion pohjaosista tai syöttökanavasta. Vammalan alueen Ni-Cu potentiaalisissa oliviini(-kromiitti)kumulaateissa MgO≈30 p.% ja oliviinin Fo≈78-82 mol.%. Oliviinin forsteriittipitoisuuden kasvu 70→80 mol.%:iin ja kokokiven MgO 20→30 wt.%:iin saattaa vastata vain kymmeniä tai paria sataa metriä Herttualan kerrossarjassa alaspäin, mutta asiaa on vaikea luotettavasti arvioida.

Platinaryhmän alkuaineita ei ole toistaiseksi analysoitu Herttualan kerrosjuonesta. Platinametallien pitoisuudet Svekofennisissä Ni-Cu malmeissa ja niiden isäntäkivissä ovat tavallisesti hyvin alhaisia[12], mutta Vammalan alueen intruusioista on todettu selvästi anomaalisiakin (Pt+Pd+Au=1.5 ppm) pitoisuuksia[13]. Herttualan kerrosjuoni on tilavuudeltaan merkittävä, kokonaiskoostumukseltaan basalttinen ja siitä on erkaantunut sulfidisula. Nämä piirteet antanevat aihetta myös juonen platinametallipitoisuuksien tarkistamiseen[14].

Epilogi

Edellä esitetty alustava tulkinta Herttualan malmipotentiaaalista ei ole yksiselitteinen. Keskeinen ongelma on sulfidisulan muodostumisen ajankohdan määrittäminen. Vaikka eräs *in situ* sulfurisaatioprosessi onkin Herttualassa varsin selvästi tunnistettavissa, on mahdollista, että juuri tämä tapahtuma ei johtanut sulfidisulan muodostumiseen. Oliviinit saattoivat tasapainottua jo paljon varhaisemman sulfidisulan kanssa. Tämä saattoi tapahtua

---

11 Lamberg P (1990) *Erikoistutkielma, Oulun yliopisto*

12 Papunen H (1986) *Econ. Geol. 81:1236-41* ja Papunen, H. (1989) *In: Prendergast & Jones (eds.) Magmatic Sulfides – The Zimbabwe volume.*

13 (Peltonen, *julkaisematon*)

14 (Peltonen, *valmisteilla*)

Herttulan magman kohoamisen aikana tai välisäiliössä. Tällöin ei ole toiveita mineralisaation löytymisestä Herttualan alueelta. Koska Herttualan kerrosjuonen yksityiskohtainen rakenne primitiivisimmän ja ehkä malmipotentiaalisimman Mustajärvenkin kappaleen osalta on toistaiseksi epäselvä, on puhkeamattomien kumulaattien sijaintia mahdoton ilman geofysikaalisia mittauksia ennustaa. Niitä saattaa esiintyä myös pienempinä linsseinä varsinaisen kerrosjuonen rajojen ulkopuolella. Mikäli geofysiikan avulla saataisiin viitteitä puhkeamattomien ultramafisten kumulaattien sijainnista Mustajärven lohkon alueella tai sen lähiympäristössä, ja mikäli niihin vielä liittyisi johteita, saattaisivat ne hyvinkin olla jatkotutkimusten arvoisia.

PETRI PELTONEN

Espoo 3.7. 1992