

# ARKANGELIN TIMANTTIKENTÄT

MARJA LEHTONEN, PETRI PELTONEN,  
HUGH O'BRIEN JA PEKKA NURMI

## Johdanto

Kimberliitit kuuluvat maailman harvinaisimpien kivilajien joukkoon ja ovat tärkeimpiä timanttimalmien lähteitä. Noin 600 maailman 7000 tunnetusta kimberliitistä sisältää huomattavia määriä timantteja, ja näistä reilusti alle 100:ssa on ollut tai on parhaillaan timanttikaivos.

Kimberliitit ovat volatiili- ja kalium-rikkaita ultraemäksisiä kiviä, jotka ovat rikastuneet useiden sopeutumattomien alkuaineiden suhteen (esim. Mitchell 1986). Kimberliitit ovat syntyneet manttelin osittain sulaessa erittäin korkeassa paineessa, vähintään n. 150 km syvyydellä. Maanpinnalla kimberliitit esiintyvät piippumaisina muodostumina, jotka voidaan jaotella kolmeen fasiaukseen: kraatter- ja epiklastiseen, magmaattiseen (eli puolipinnalliseen) sekä diatreemifasiaukseen. Yksittäisten kimberliittipiippujen poikkipinta-ala on yleensä vain muutamia hehtaareja, ja ne esiintyvät useimmiten ryppäinä, jotka voivat käsittää satoja piippuja.

Timantit esiintyvät kimberliiteissä ksenokiteinä, jotka ovat kulkeutuneet n. 150–200 km syvyydel-

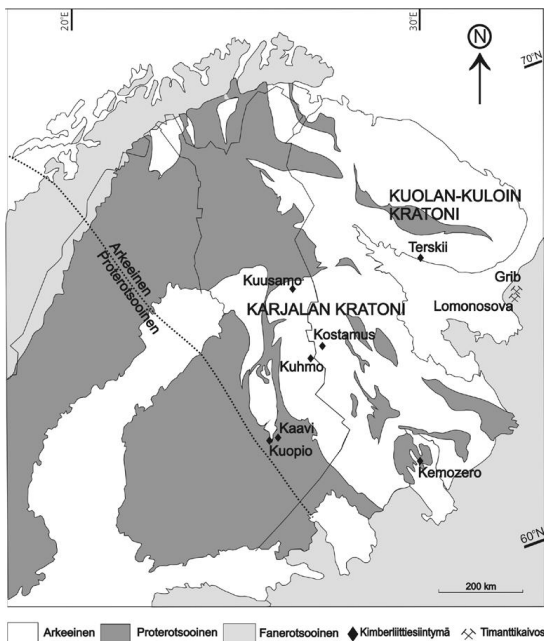
tä kimberliittimagman mukana maanpinnalle. Timanttipitoiset kimberliitit ovat maanilmanlaajuisesti rajoittuneet arkeisille kratoneille, joiden alapuolinen mantteli on timantin esiintymiselle suotuisin (esim. Helmstaedt ja Gurney 1995).

Kimberliitit jaotellaan isotooppikoostumuksensa ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  vs.  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ) perusteella kahteen ryhmään, I ja II (Smith 1983). Ryhmien välillä on myös huomattavia mineralogisia ja geokemiallisia eroavaisuuksia. Ryhmän I kimberliitit sisältävät mm. ns. megakiteitä, Mg-ilmeniittiä, Ti-pyrooppia, Cr-diopsidia, flogopiittia, enstatiittia, zirkonia ja oliviinia, kun taas ryhmän II kimberliiteissä niitä ei juurikaan tavata oliviinia ja flogopiittia lukuun ottamatta. Ryhmän II kimberliitit ovat hyvin kiillerikkaita, ja saattavat koostua jopa 70–80 % flogopiitista. Ryhmän I kimberliitit ovat peräisin varsin primitiivisestä manttelilähteestä, todennäköisesti astenosfääristä, kun taas ryhmän II kimberliittien arvellaan olevan peräisin litosfääriin metasomaattisesti rikastuneista osista. Kummatkin ryhmät voivat sisältää timantteja.

## Fennoskandian kilven kimberliittiset kivet

Fennoskandian kilven arkeisissa itä- ja pohjoisosissa, Karjalan ja Kuolan-Kuloin kratoneilla, esiintyy useita eri-ikäisiä ja -tyyppisiä kimberliittisiä kiviä (kuva 1). Suomen kallioperästä tunnetaan n. 35 kimberliittiesiintymää, joista suurin osa sijaitsee Kaavi-Kuopion seudulla. Kaavi-Kuopion esiintymät ovat n. 600 Ma ikäisiä ja kivilajityypiltään ryhmän I kimberliittejä (O'Brien ja Tyni 1999, O'Brien *et al.* 2005). Kuhmon seudulta on löydetty n. 1200 Ma ikäisiä juonia, joita voi luonnehtia ryhmän II kimberliittien ja oliviini-lamproiittien välimuodoiksi (O'Brien ja Tyni 1999, O'Brien *et al.* 2005). Tuoreimmat suomalaiset kimberliittilöydöt ovat Kuusamosta, jossa on tavattu sekä ryhmän I että ryhmän II kimberliittejä (O'Brien *et al.* 2006). Ikämääritykset ryhmän I kivistä ovat osoittaneet jälleen uuden ikäluokan: n. 750 Ma. Kaikki edellä luetellut iät on määritetty perovskiittista U-Pb menetelmällä, jota pidetään yleisesti luotettavimpana menetelmänä kimberliiteille, sillä perovskiitti kiteytyy suoraan kimberliittimagmasta.

Fennoskandian kilven nuorimmat ja vanhimmat kimberliitit tunnetaan kuitenkin Venäjän puolelta. Arkangelin niemimaan ja Kuolan Terskin rannikon



Kuva 1. Fennoskandian kimberliittiesiintymät ja timanttikaivokset.

Figure 1. Kimberlites and diamond mines in the Fennoscandian Shield.

kimberliitit edustavat sekä ryhmän I että ryhmän II tyyppisiä, ja iältään ne ovat n. 360–380 Ma (esim. Mahotkin *et al.* 2000). Ne kuuluvat laajaan Kuolan alkalikiviprovinssiin, jonka esiintymistä Iivaaara ja Sokli sijaitsevat Suomen puolella. Pelkästään Arkangelin alueelta tunnetaan yli 60 kimberliitti-esiintymää. Kostamuksessa esiintyy joitakin vastaavantyyppisiä ja -ikäisiä kimberliitti/lamproiitti-juonia kuin Kuhmossa. Fennoskandian kilven vanhin kimberliitti on samalla myös sen eteläisin tunnettu esiintymä ja sijaitsee Kemozerossa, Äänisjärven pohjoisrannalla. Se on peräti n. 1760 Ma ikäinen (Lobkova *et al.* 2006).

Suuri osa Fennoskandian kimberliiteistä sisältää ainakin mikrotimantteja (alle 1 mm läpimitaltaan olevia kiteitä), mutta toistaiseksi ainoat taloudellisesti merkittävät esiintymät on löydetty Arkangelin niemimaalta. Ensimmäinen tieto alueen timanteista on peräisin jo 1740-luvulta, jolloin erään kalastajan kerrotaan löytäneen kookkaan timantin Viena-joen rannalta (Papunen 1995). Koeporauksin timanttiesiintymät paikallistettiin 1970-luvun lopulla, mutta varsinaisen kaivoksen perustaminen on viivästynyt moninaisten poliittisten ja taloudellisten hankaluuksien vuoksi.

Vihdoin vuonna 2003 venäläisen valtiollisen ALROSA:n tytäryhtiö Severalmaz avasi Lomonosovan timanttikaivoksen Zolotitsaan, Arkangelin kaupungin lähelle (kuva 2). ALROSA omistaa myös Siperian Jakutian valtavat timanttiesiintymät, joiden osuus maailman timanttituotannos-

ta on lähes 20 %. Kuluvan vuoden touko- kesäkuun vaihteessa tämän artikkelin kirjoittajilla oli mahdollisuus tutustua Arkangelin kaivokseen ALROSA:n ja Severalmazin vieraina. Kaivospiiri käsittää kuusi kimberliittiipiippua (Arkangelskaja, Lomonosovskaja, Karpinskaja I–II, Pionerskaja ja Pomorskaja), jotka muodostavat 9,5 km pituisen, lähestulkoon pohjois-etelä-suuntaisen, ketjun. Kaivoksen eliniäksi arvioidaan n. 80 vuotta, ja se on nimetty Venäjän luonnontieteiden perustajan Mihail Lomonosovin mukaan. Tällä hetkellä ainoastaan Arkangelskajan piippu on tuotannossa; sen avolouhos on nykyään halkaisijaltaan n. 600 metriä ja ulottuu n. 50 metrin syvyyteen, mutta 20 vuoden kuluttua se on jo pari kilometriä läpimitaltaan ja 400 m:n syvyinen. Erityisen haasteensa avolouhoksen rakentamiselle aiheuttavat kivien heikko kestävyys ja suuri vesipitoisuus.

Toisenkin kaivoksen perustaminen Arkangeliin on meneillään. Verkhotinan alueella, n. 40 km:n päässä Zolotitsasta sijaitsevan Gribin piipun tuotanto alkanee lähitulevaisuudessa. Esiintymän oikeuksista kilpailevat venäläisen öljyjätin LUKoilin omistama Arkhangelskgeoldobycha ja kanadalainen Archangel Diamond Corporation.

### Arkangelin esiintymien geologiaa

Arkangelin kimberliitit kuuluvat myöhäisdevonikautiseen Arkangelin alkalikiviprovinssiin (AAIP), joka on käsittää laajalti muitakin ultramafisia alka-

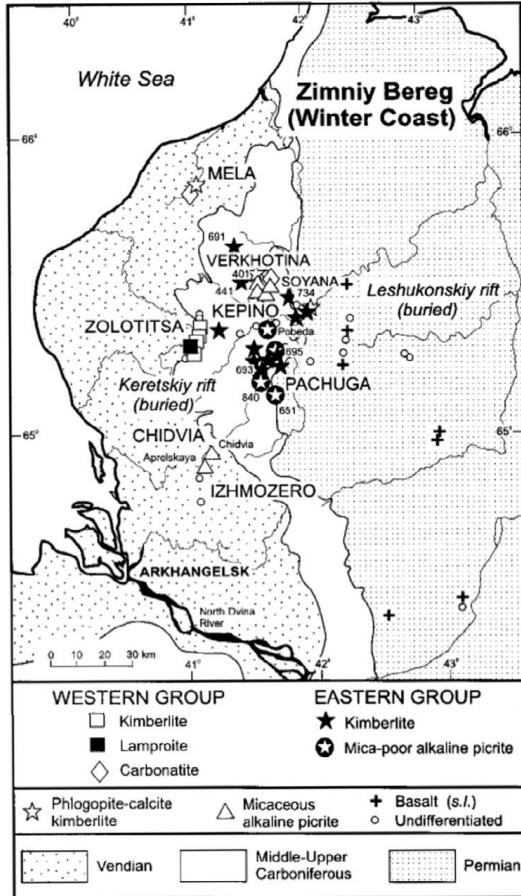


Kuvat 2A–2B. A) Lomonosovan timanttikaivoksen Arkangelskajan kimberliittiipiipun avolouhos toukokuussa 2007. Avolouhos on halkaisijaltaan n. 600 m. Kuva: Petri Peltonen.

B) Oppaamme kaivoksella: Victor Ustinov, ALROSA (vas.), Evgeny Valouev, Severalmaz, ja Vladimir Verzhak, ALROSA. Kuva: Pekka Nurmi.

*Figures 2A–B. A) Open pit of the Archangelskaya kimberlite pipe in the Lomonosova diamond mine. The pit is approximately 600 m across. Photo: Petri Peltonen.*

*B) Our hosts at the mine (from left): Victor Ustinov, ALROSA, Evgeny Valouev, Severalmaz, and Vladimir Verzhak, ALROSA. Photo: Pekka Nurmi.*



Kuva 3. Yksinkertaistettu Arkangelin alkalikiviprovinssin geologinen kartta Mahotkin *et al.* (2000) mukaan.  
*Figure 3. Simplified geological map of the Arkhangelsk Alkaline Igneous Province (Mahotkin *et al.* 2000).*

likiviä, kuten harvinaisia oliviini-lamproiitteja, alkali-pikriittejä sekä karbonaatti- (esim. Mahotkin *et al.* 2000). Huomion arvoista on, että kimberliittien ohella myös osa alkali-pikriiteistä sisältää timantteja, joskin hyvin pieninä pitoisuuksina.

AAIP:n esiintymät ovat yleensä piippumaisia, mutta joukossa on jonkin verran myös juonia. Esiintymät muodostavat useita kenttiä, joista kullakin on omat petrologiset piirteensä. Kentät sijaitsevat kahtena parvena Vienanmeren kaakkoisrannalla: (1) Zimniy Beregin (ts. Talvirannikon) varrella ja siitä 100 km sisämaahan päin (kuva 3), sekä (2) Äänisenniemen koillisreunalla, jonka erottaa Zimniy Beregistä Dvinan lahti. Kimberliittejä esiintyy ainoastaan Zimniy Beregin parvessa.

Suurin osa AAIP:n diatreemeistä on purkautunut koillis-lounais-suuntaisten siirrostien risteyskohtiin sekä aiempiin riphean-kautisiin grabeneihin (Mahotkin *et al.* 2000). Molemmat ovat hautautuneet myöhäis-paleotsooisten sedimenttien alle. Chivdia-

Izmozeron alkali-pikriitit sijaitsevat Keretskiy grabenin lounaisreunalla, sen sijaan suurin osa Zimniy Beregin kimberliitti-, lamproiitti- ja alkali-pikriitit-kentistä (Zolotitsa, Mela, Kepino-Pachuga, Verkohtina-Soyana) ovat purkautuneet vendi-kautisiin sedimentteihin, joiden arvellaan kerrostuneen Keretskiy-grabenin koillisreunan sekä arkeaisen Kuolan kratonin päälle (kuva 3).

Kimberliitit ovat Zolotitsan ja Melan kenttien pääkivilajityyppi; myös Kepino-Pachugan ja Verkohtina-Zolotitsan kentillä ne ovat yleisiä. Kimberliitit voidaan jaotella maantieteellisesti ja mineralogisesti kahteen tyyppiin (Parsadanyan *et al.* 1996): vähän kiillettä sisältävään itäiseen ryhmään (vrt. kimberliittiryhmä I) sekä kiille-rikkaaseen läntiseen ryhmään (vrt. kimberliittiryhmä II) (kuva 3). AAIP:n kimberliitit ovat yleisesti voimakkaasti pirstaloituneita ja hydrotermisesti muuttuneita. Ainoastaan Pionerskaja-piipussa on tavattu massiivista kimberliittifasiesta. Tärkeä eroavaisuus Arkangelin ja Suomen kimberliittien välillä on kraatterifasioksen esiintyminen vain ensin mainituissa. Suomalaisista piipuista se on erodoitunut pois - mahdollisesti yhtä poikkeusta, Kuopion Kylmälahden kimberliittiä, lukuun ottamatta.

Sekä Arkangelin itäisen että läntisen ryhmän kimberliitit sisältävät runsaasti megakiteitä ja litosfääristä peräisin olevaa kiviainesta. Läntisen ryhmän kimberliiteissä vieraskiteet ovat pääasiallisesti flogopiittia, itäisen ryhmän kivissä ilmeittä. Kimberliittien sisältämien timanttien sulkeumina tavatut pyrooppi-pyrokseeni -kiinteäliuos sekä K-riikkaat jadeiittiset pyrokseenit osoittavat kimberliittimagman olevan peräisin useiden satojen kilometrien syvyydestä.

Läntisen ryhmän kiille-rikkaiden kimberliittien joukossa on muutamia erittäin timanttirikkaita piippuja (taulukko 1). Yleisesti ottaen piiput ovat melko pieniä, suurin on n. 8 ha poikkipinta-alaltaan oleva Lomonosovskaja. Zolotitsan timanttikentän rikkaimpien esiintymien, Arkangelskajan ja Karpinskaja I:n, timanttipitoisuudet ovat keskimäärin 1 ct/t (karaattia tonnissa) – pitoisuus tosin vaihtelee jonkin verran kimberliittifasiuksesta toiseen. Esim. Arkangelskajan tuffisiittisessä materiaalissa se on vain 0,07 ct/t, mutta pyroklastisessa materiaalissa jo 0,5 ct/t, ja diatreemissa 1 ct/t (Victor Ustinov, suullinen tiedonanto 2007). Vertailun vuoksi mainittakoon, että parhaimman tähän mennessä löydetyn suomalaisen timanttiesiintymän, Lahtojoen kimberliitin, pitoisuus on n. 0,15 ct/t (lähde: European Diamonds Plc:n kotisivu).

Timanteista puhuttaessa ainoastaan pitoisuus ei kuitenkaan ratkaise, vaan myös timanttien koko ja



Kuvat 4A-4B. A) Hugh O'Brien (vas.) ja Petri Peltonen keräämässä näytteitä kaivoksen seinämästä. Kuva: Pekka Nurmi. B) Isäntämme esittelemässä Arkangelskajan kairasydänlaatikoita. Kuva: Petri Peltonen.

Figures 4A-4B. A) Hugh O'Brien (left) and Petri Peltonen collecting samples from the mine wall. Photo: Pekka Nurmi. B) Our hosts presenting the Archangelskaya drill core. Photo: Petri Peltonen.

laatu ovat äärimmäisen tärkeitä. Arkangelin timantit ovat erittäin hyvälaatuisia: n. 75 % timanteista on läpinäkyviä ja yli 60 % värittömiä. Kiteet ovat pääasiassa rombododekaedreja ja oktaedreja. Jalokivi- ja lähes jalokiviluokan timanttien pitoisuus vaihtelee 47,5–57,3 % välillä (Ustinov 2005). Suurin Arkangelista löydetty timantti on ollut peräti n. 40 ct kokoinen. Sen rinnalla suurin suomalainen timantti, kooltaan 1,2 ct, on kovin vaatimaton!

Lomonosovan vierailumme yhteydessä pääsimme tutustumaan tarkkojen turvatoimien vallitessa ti-

Taulukko 1. Arkangelin kimberliittien timanttipitoisuuksia (Malkovets *et al.* 2007).

Table 1. Diamond grades of the Archangelsk kimberlites (Malkovets *et al.* 2007)

Piippu <i>Pipe</i>	Timanttipitoisuus (ct/t) <i>Diamond grade (ct/t)</i>
Lomonosova:	
Karpinskaja-I	1,2
Arkangelskaja	0,95
Pionerskaja	0,45
Lomonosovskaja	0,4
Karpinskaja-II	0,3
Snegurochka	0,28
Pomorskaja	0,1
Solokha	traces
Grip	1,2*

\*) Archangel Diamond Corporationin kotisivut

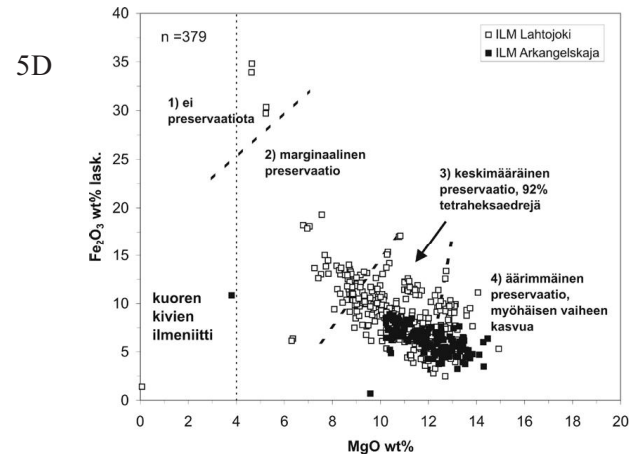
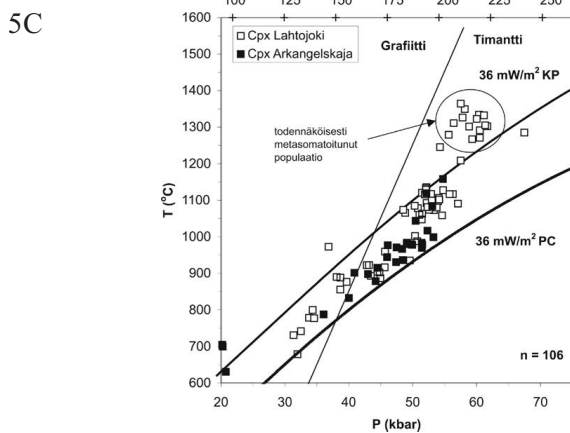
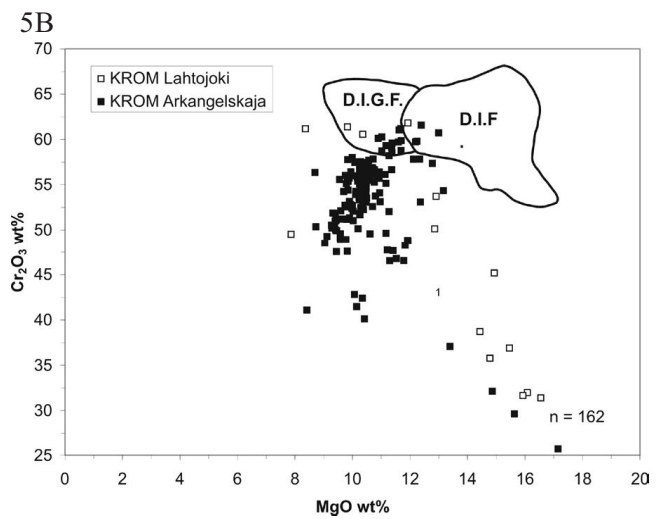
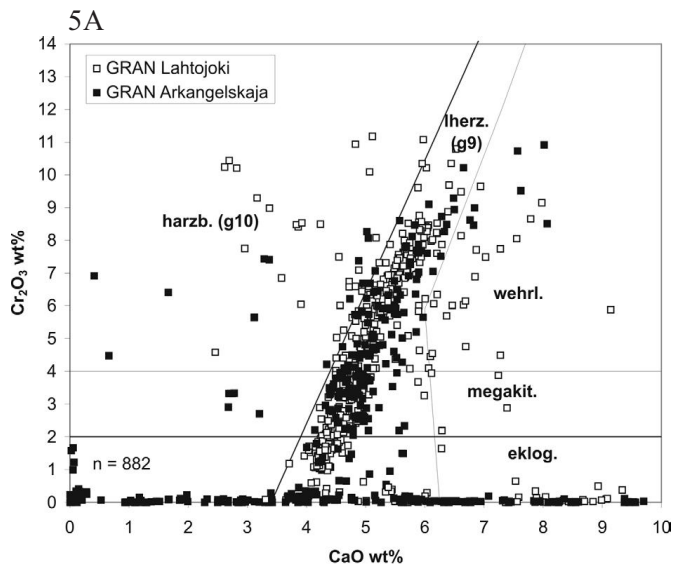
\*) Archangel Diamond Corporation Website

manttien rikastusprosessiin ja myös itse timanteihin. Omin silmin tehdyt havainnot tuntuivat vahvistavan ALROSA:n julkistamat tiedot timanttien laadukkuudesta. Meille esiteltiin kulhoittain mitä kauneimpia timanteja, enimmäkseen kirkkaita tai kellertäviä, mutta myös harvinaisia – ja toivottuja – vaalean- ja purppuranpunaisia värimuunnoksia. Suurimmat kiteet olivat kooltaan useita karaatteja. Valitettavasti timanttien valokuvien julkaiseminen tämän artikkelin yhteydessä ei ollut mahdollista.

Pitkään kuviteltiin, että ainoastaan Arkangelin läntisen ryhmän kimberliitit voivat olla taloudellisesti merkittäviä. Vuonna 1996 löydetty Gribin timanttiesiintymä kuitenkin osoitti tämän luulon vääräksi. Gribin kimberliitti-piippu on kaksi kertaa Lomonosovskajan kokoinen ja sen keskimääräiseksi timanttipitoisuudeksi on määritetty 1,2 ct/t. Grib eroaa Zolotitsan kimberliiteistä mm. siinä, että se sisältää runsaasti megakiteisiä mineraaleja kuten pyrooppi-granaattia, Mg-ilmeniittiä, klinopyrokseenia, flogopiittia sekä granaatti-klinopyrokseeni-yhteenkasvettumia (Kostrovitsky *et al.* 2004). Zolotitsan kimberliiteille tunnusomainen mineraali kromiitti on Gribissä harvinainen.

### Arkangelskaja vs. Lahtojoki

Kuvan 5 diagrammeissa on vertailtu Arkangelin itäisen ryhmän rikkaimman piipun, Arkangelskajan, ja Suomen toistaiseksi parhaimman esiintymän, Lahtojoen kimberliitin, indikaattorimineraa-



Kuvat 5A-5D. Arkangelskajan ja Lahtojoen kimberliittien indikaattorimineraalien luokitteludiagrammeja. (A) Pyrooppi-granaattien  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  vs.  $\text{CaO}$ . Harzburgiitti-, Iherzoliitti-, megakide- ja eklogiitti-koostumus kentät piirretty Gurneyn (1984) luokittelun mukaan. Wehrlittien kenttä erotettu Sobolev *et al.* (1973) mukaan. (B) Kromiittien  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  vs.  $\text{MgO}$  luokittelu (Smith *et al.* 1991). D.I.G.F. = timanttiyhteenkasvettuma, D.I.F. = timanttisulkeuma. (C) Cpx-ksenokiteiden P-T arvot laskettuna Nimisin ja Taylorin (2000) termobarometrillä. Pollackin ja Chapmanin (1977; PC) ja Kukkosen ja Peltosen (1999, KP)  $36 \text{ mW/m}^2$ :n geotermit myös piirretty diagrammiin. Viime mainittu on laskettu 600 Ma Karjalan kratonille. Syvyydet (km) on konvertoitu paineesta Kukkonen *et al.* (2003) mukaan. Timantti-grafiitti-tasapainokäyrä on piirretty Kennedyn ja Kennedyn (1976) mallin mukaan. (D) Ilmeniittien  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  vs.  $\text{MgO}$  diagrammi (Gurney ja Zweistra, 1995). Arkangelskajan näyte saatu lahjoituksena ALROSA:lta. Mikroprobianalyysit: Bo Johanson ja Lassi Pakkanen, Cameca Camebax SX 50 and SX100, GTK.

Figures 5A-5D. Compositional classification diagrams for indicator minerals from Archangelskaya and Lahtojoki kimberlite pipes. (A)  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  versus  $\text{CaO}$  for pyrope garnet. The harzburgite, Iherzolite and non-peridotite fields are redrawn after Gurney (1984) and the wehrlite field is separated according to Sobolev *et al.* (1973). (B)  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  versus  $\text{MgO}$  classification for chromite redrawn after Smith *et al.* (1991). The diamond intergrowth (D.I.G.F.) and inclusion (D.I.F.) fields are marked. (C) Fig. 4. P-T calculated for cpx xenocrysts using the thermobarometer of Nimis and Taylor (2000). Reference model geotherm for  $36 \text{ mW/m}^2$  (PC) from Pollack and Chapman (1977) and  $36 \text{ mW/m}^2$  (KP) from Kukkonen and Peltonen (1999), the latter calculated for the Karelian craton at 600 Ma. Depth in kilometers is converted from pressure according to Kukkonen *et al.* (2003). The diamond-graphite transition is redrawn after Kennedy and Kennedy (1976). (D)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  versus  $\text{MgO}$  diagram for ilmenites redrawn after Gurney and Zweistra (1995). The Archangelskaya sample from ALROSA. Microprobe analyses: Bo Johanson and Lassi Pakkanen, Cameca Camebax SX 50 and SX100, GTK.

leja timanttipotentialisuutta kuvastavissa luokitteluissa. Arkangelskajan näyte saatiin lahjoituksena ALROSA:lta. Molemmat näytteet on tutkittu ja analysoitu GTK:n Tutkimuslaboratoriossa.

Arkangelskajan ja Lahtojoen granaatti-ksenokiteistä osapuilleen yhtä usea on koostumukseltaan

tyyppiä G10, jota pidetään merkittävimpana timantin indikaattorina (Gurney 1984). G10 on harzburgiittinen Cr-pyrooppi, jonka koostumus vastaa timantin sulkeumista tavattua granaattia. Arkangelskajan näytteessä on muutamia erittäin subkalsisia G10:jä – mitä alhaisempi  $\text{CaO}$  ja korkeampi

Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sitä todennäköisemmin pyrooppi on peräisin timantteja sisältävästä harzburgiitista.

Kuten useissa muissakin Zolotitsan kimberliiteissä Arkangelskajassa kromiitti on kaikkein yleisin indikaattorimineraali, kun taas Lahtjoella se on erittäin harvinainen. Huomattava osuus Arkangelskajan kromiiteista osuu koostumukseltaan timantin yhteenkasvettuma- tai sulkeumakenttään, ja ovat todennäköisesti peräisin kromiitti-harzburgiiteista, jotka ovat mahdollisia timantin isäntäkiviä manttelissa.

Arkangelskajan Cr-diopsidien paine-lämpötila -arvot Nimisin ja Taylorin (2000) menetelmällä laskettuina ovat melko samankaltaiset kuin Lahtjoen vastaavat, ja muodostavat varsin viileän geotermiin. Timanttipotentialisuuden kannalta alhainen geotermi onkin kriittinen, sillä se vaikuttaa suoraan timantin stabiilisuusalueen laajuuteen manttelissa. Selkeä ero Arkangelskajan ja Lahtjoen tuloksissa on yli 55 kbarin rakeiden esiintyminen jälkimmäisessä, mikä johtunee litosfäärin paksuuserosta Kaavi-Kuopion ja Arkangelin välillä. Mantteliksenoliittien perusteella Kaavi-Kuopion litosfäärin paksuudeksi onkin määritetty peräti 240 km (Peltonen *et al.* 1999). Geotermistä jyrkästi ”sivuun” poikkeava korkean lämpötilan cpx-populaatio Lahtjoella lieenee kuitenkin metasomatoitunut, eivätkä sen paine-lämpötilalukemat ole luotettavia.

Kenties merkittävien eroavaisuus Arkangelskajan ja Lahtjoen kimberliittien väliltä löytyy ilmeniittistä, jonka koostumus kuvaa kimberliittimagman hapetus-pelkistys -olosuhteita, ja näin ollen toimii indikaattorina timanttien säilymiselle kuljetuksen aikana maanpinnalle (Gurney ja Zweistra 1995). Ilmeniitin koostumuksen perusteella Arkangelskajan



Kuva 6. Artikkelin kirjoittajat Lomonosovan kaivoksella. Pekka Nurmi (vas.), Petri Peltonen, Marja Lehtonen ja Hugh O'Brien.

Figure 6. The authors at the Lomonosova mine, from left: Pekka Nurmi, Petri Peltonen, Marja Lehtonen and Hugh O'Brien.

olosuhteet ovat olleet optimaaliset timanttien säilymiselle, kun taas Lahtjoen preservaatio-indeksi on huomattavasti heikompi. Tämä saattaa olla yksi niistä kriittisistä tekijöistä, jotka erottavat Lahtjoen maailmanluokan timanttiesiintymästä.

## Lopuksi

Kaivostoiminta Arkangelin niemimaalla on vasta alkanut ja tulee jatkumaan vielä kymmeniä vuosia eteenpäin. Vierailu Lomonosovan kaivoksella oli vaikuttava. Väistämättä herää kysymys: olisiko yhtä rikkaiden esiintymien löytyminen mahdollista Suomen kallioperästä? Mitään geologista perustetta ei tunnu löytyvän, ettei vastaavankaltaisten esiintymien löytäminen olisi tosiaankin mahdollista myös Suomesta. Karjalan kratonilla on pitkä yhteinen historia Kuolan-Kuloin kratonin kanssa, joka alkoi jo kauan ennen vanhimmakaan kimberliitin purkautumista.

Arkangelin niemimaalta kimberliittejä on löydetty tähän mennessä vähintään kaksi kertaa niin paljon kuin Suomesta. Ehkäpä tilanne on Suomenkin kannalta erilainen, kun kimberliittejä on löydetty enemmän. Tämän hetkisen tiedon mukaan niitä lieenee vielä runsaasti soiden ja järvien kätköissä. Timantinetsinnän ei kuitenkaan pitäisi olla täällä sen hankalampaa kuin Arkangelissakaan, pikemminkin päinvastoin. Suomen kallioperää peittävät maapeitteet ovat yleisesti ottaen varsin ohuita ja pohjamerenissa esiintyviä kimberliitin indikaattorimineraaleja voidaan hyödyntää timantin etsinnän työkaluna (esim. Lehtonen *et al.* 2005). Suurin osa suomalaisista esiintymistä on nimenomaan löydetty indikaattorimineraalien avulla (Tyni 1997). Sen sijaan Arkangelissa kallioperää peittävät jopa kymmenien metrien paksuiset vendi-kautiset sedimentit. Siellä timantinetsintä perustuukin miltei pelkästään geofysikaalisiin menetelmiin, joiden avulla hiekkakiiviympäristöään yleensä lievästi magneettisemmat kimberliitit voidaan havaita anomioina (Papunen 1995). Kaikkein magneettisimmat piiput eivät kuitenkaan ole niitä kaikkein halutuimpia, sillä ne ovat tavallisesti puolipinnallista fasiesta ja sisältävät vähemmän timantteja kuin diatreemifasiuksen kimberliitit. Toisaalta monet muutkin kivilajit voivat aiheuttaa kallioperään samantyyppisiä heikkoja anomioita kuin kimberliitit. Näin ollen käytännössä ainoa keino kimberliittien löytämiseksi on kaikkien lupaavien geofysiikan anomalioiden kairaaminen, mikä toki tuottaa tulosta, mutta myös ”huteja”.

Arkangelin menestystarina antaa lisäpontta timantin etsinnälle Suomessakin. Kannustavaa on sekin, ettei esiintymien edes tarvitse olla aivan

samaa luokkaa, sillä Suomen hyvä infrastruktuuri mahdollistaa myös hieman vaatimattomamman esiintymän louhimisen kannattavasti. Arkangelissa ensimmäisen timantin löytämisestä ensimmäisen kaivoksen perustamiseen vierähti yli kaksi ja puoli vuosisataa; toivottavasti Suomessa meidän ei tarvitse odottaa yhtä kauan!

### English summary

*The Archean Eastern and Northern parts of the Fennoscandian Shield, the Karelian and Kola-Kuoloi cratons, host numerous kimberlitic rocks representing various ages and mineralogical types. Many of the bodies are diamond-bearing but the only economic deposits so far have been found in the Arkhangelsk Peninsula. The oldest known kimberlite in the region, Kemozero, is located on the northern shore of Lake Onega and dates 1760 Ma. On both sides of the Finnish-Russian border, in Kuhmo and Kostamuksha, there are 1200 Ma dykes which have characteristics of both olivine lamproites and Group II kimberlites. The Group I kimberlites in the Kaavi-Kuopio region, where most of the Finnish bodies are known from, are about 600 Ma. Surprisingly, the recent kimberlite discoveries in Kuusamo have revealed yet another age group of kimberlitic rocks in Finland: 750 Ma. They include both Group I and Group II varieties, although only the Group I kimberlites have been dated. The Arkhangelsk and Terskii kimberlites are members of the Devonian Kola Alkaline Province and range from 360 to 380 Ma in age. The Arkhangelsk kimberlites are divided geographically and mineralogically into Eastern mica-poor (Group I) and Western micaceous (Group II) subtypes. The Western group hosts Europe's first diamond mine, Lomonosova, that covers six individual kimberlite pipes. Production from the first pipe, Arkhangelskaya, started in 2003 by Severalmaz, a subsidiary of the Russian diamond giant, ALROSA. The expected life span of the mine is 80 years. The grades of the best pipes in Lomonosova are on the order of 1–1.2 ct/t. The Eastern Group kimberlites were considered barren for a long time, until the Grip pipe was discovered in 1986 in Verkhotina where there will be a diamond mine in the near future. The property belongs to Arkhangelskgeoldobycha, owned by Russian oil giant LUKoil, but the ownership of the pipe is contested by Canadian Arkhangelsk Diamond Corporation, the company that funded the discovery of the pipe. In contrast to Finland, where the overburden is usually relatively thin, the Arkhangelsk deposits are overlain by Vendian sediments that can be*

*several tens of meters in thickness requiring diamond exploration to be based mostly on geophysical methods. The indicator mineral method, which is commonly used in recently glaciated terrain, such as Finland, is not as effective.*

### Kirjallisuus – References

- Gurney, J.J. 1984. A correlation between garnets and diamonds. Teoksessa: Glover J.E. ja Harris P.G. (toim.), Kimberlite Occurrence and Origin: A basis for conceptual models in exploration. University of Western Australia, Publication 8:143–166.
- Helmstaedt, H.H. ja Gurney, J.J. 1995. Geotectonic controls of primary diamond deposits: implications for area selection. Teoksessa: W.L. Griffin (toim.), Diamond Exploration: Into the 21st Century. Journal of Geochemical Exploration 53:125–144.
- Kennedy, C.S. ja Kennedy, G.C. 1976. The equilibrium boundary between graphite and diamond. Journal of Geophysical Research 81:2467–2470.
- Kostrovitsky, S.I., Malkovets, V.G., Verichev, E.M., Garanin, V.K. ja Suvorova, L.V. 2004. Megacrysts from the Grib kimberlite pipe (Arkhangelsk Province Russia). Lithos 77:511–523.
- Kukkonen, I.T. ja Peltonen, P. 1999. Xenolith controlled geotherm for the central Fennoscandian Shield: Implications for lithosphere-asthenosphere relations. Tectonophysics 304:301–315.
- Kukkonen, I.T., Kinnunen, K.A. ja Peltonen, P. 2003. Mantle xenoliths and thick lithosphere in the Fennoscandian Shield. Physics and Chemistry of the Earth 28:349–360.
- Lehtonen, M.L., Marmo, J.S., Nissinen, A.J., Johanson, B.S. ja Pakkanen, L.K. 2005. Glacial dispersal studies using indicator minerals and till geochemistry around two eastern Finland kimberlites. Journal of Geochemical Exploration 87:19–43.
- Lobkova, L.P., Ustinov, V.N. ja Antashuk, M.G. 2006. Typomorphic features of the indicator minerals of Early Proterozoic kimberlite of Karelia. Abstracts, Conference "Diamonds and precious metals of Timan-Ural region", Syktyvkar, Komi Republic. All-Russia Conference, November 14–17, 2006 (venäjäksi).
- Mahotkin, I.L., Gibson, S.A., Thompson, R.N., Zhuravlev, D.Z. ja Zherdev, P.U. 2000. Late Devonian diamondiferous kimberlite and alkaline picrite (Proto-kimberlite?) magmatism in the Arkhangelsk Region, NW Russia. Journal of Petrology 41:201–227.
- Malkovets, V.G., Griffin, W.L., O'Reilly, S.Y. ja Wood, B.J. 2007. Diamond, subcalcic garnet, and mantle metasomatism: Kimberlite sampling patterns define the link. Geology 35:339–342.
- Mitchell, R.H. 1986. Kimberlites, Mineralogy, Geochemistry and Petrology. Plenum Press, New York, 442 s.
- Nimis, P. ja Taylor, W.R. 2000. Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites: Part I. Calibration and testing of a Cr-in-cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer. Contributions to Min-

- eralogy and Petrology 139:541–554.
- O'Brien, H.E. ja Tyni, M. 1999. Mineralogy and Geochemistry of Kimberlites and Related Rocks from Finland. Teoksessa: Gurney, J.J., Gurney, J.L., Pascoe, M.D. ja Richardson S.H. (toim.), Proceedings of the 7th International Kimberlite Conference, Cape Town. Red Rood Design cc, Cape Town, South Africa, p. 625–636.
- O'Brien, H., Lehtonen, M. ja Korkeakoski, P. 2006. New kimberlite discoveries in Kuusamo, northern Finland. Bulletin of the Geological Society of Finland Special Issue 1, The 27th Nordic Geological Winter Meeting, Abstract Volume.
- O'Brien, H.E., Peltonen, P. ja Vartiainen, H. 2005. Kimberlites, carbonatites and alkaline rocks. Teoksessa: M. Lehtinen *et al.* (toim.), Precambrian Geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield. Elsevier Science B.V., Amsterdam, s. 605–644.
- Papunen, H. 1995. Arkangelin alueen timanteista. *Geologi* 47:64–65.
- Parsadanyan, K.S., Kononova, V.A. ja Bogatikov, O.A. 1996. Sources of heterogeneous magmatism of the Arkhangelsk diamondiferous province. *Petrology* 4:460–479.
- Peltonen, P., Huhma, H., Tyni, M. ja Shimizu, N. 1999. Garnet peridotite xenoliths from kimberlites of Finland: Nature of the continental mantle at an Archaean craton – Proterozoic mobile belt transition. Teoksessa: Gurney, J.J., Gurney, J.L., Pascoe, M.D. ja Richardson, S.H. (toim.), Proceedings of the 7th International Kimberlite Conference, Cape Town. Red Rood Design cc, Cape Town, South Africa, s. 664–675.
- Pollack, H.N. ja Chapman, D.S. 1977. On the regional variations of heat flow, geotherms and lithosphere thickness. *Tectonophysics* 38:279–279.
- Smith, C.B. 1983. Pb, Sr, and Nd isotopic evidence for sources of African Cretaceous kimberlites. *Nature* 303:51–54.
- Sobolev, N.V., Lavrentiev, Yu.G., Pokhilenko, N.P. ja Usova, N.P. 1973. Chrome-rich garnets from the kimberlites of Yakutia and their paragenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 40:39–52.
- Tyni, M. 1997. Diamond prospecting in Finland – a review. Teoksessa: Papunen, H. (toim.), Mineral Deposits: Research and Exploration, Where do They Meet? Proceedings of the 4th SGA Meeting, s. 789–791.
- Ustinov, V.N. 2005. Diamond exploration of ALROSA in European Russia. Presentation at the PDAC meeting, Toronto Canada, March 6–9.3.2005.

**Marja Lehtonen, Petri Peltonen,  
Hugh O'Brien, Pekka Nurmi**  
Geologian tutkimuskeskus (GTK)  
PL 96, 02151 Espoo  
[marja.lehtonen@gtk.fi](mailto:marja.lehtonen@gtk.fi)

## GEOLOGI 2007:

Lehti numero	Aineisto toimituksessa	Lehti ilmestyy
6	10.10.	22.11.
Toimitus toivoo lukijoiden lähettävien ehdotuksia Geologiassa julkaistavista artikkeleista. Artikkeleista julkaistaan tiivistelmä ja kuvatestit myös englanniksi. Käsikirjoitusten lähettäjien toivotaan tutustuvan huolellisesti Geologin kirjoitusohjeisiin. Ohjeet löytyvät verkkosivuiltamme: <a href="http://www.geologinenseura.fi/geologi-lehti/ohjeet.html">http://www.geologinenseura.fi/geologi-lehti/ohjeet.html</a> .		

## UUSI NETTIPORTAALI GEOLOGIASTA AVATTU

Geologian alan internetportaali [geologia.fi](http://geologia.fi) julkaistiin valtakunnallisten Geologian päivien yhteydessä. Nettiportaalin tavoitteena on lisätä geologian valtakunnallista näkyvyyttä, edistää geologian opetusta kouluissa sekä kohottaa suuren yleisön geologista tietotasoa. Portaali sisältää yleistajuisesti kirjoitettua, suomenkielistä perustietoa geologisista ilmiöistä, Suomen kallio- ja maaperästä, maapallon synnystä, fossiileista sekä mannerten liikunnoista ja törmäyksistä. Portaalissa on myös laaja linkkivalikoima niille, jotka haluavat syventyä tarkemmin geologian alaan; portaalista voidaan helposti siirtyä yliopistojen geotieteiden laitosten sekä alan tutkimuslaitosten, museoiden ja tieteellisten seurojen internet-sivustoille. Kysy geologilta -palstan kautta yleisö saa ammattitutkijoiden vastauksia mieltä askarruttaneisiin geologi-

siin kysymyksiin.

Geologia.fi -portaalin julkaisemisesta ja ylläpidosta vastaa Suomen Kansallinen Geologian Komitea (SKGK). Komitean jäsenet edustavat kattavasti yliopistojen geotieteiden laitoksia, sektori-tutkimuslaitoksia ja alan tieteellisiä seuroja. Komitean tarkoitus on edistää Suomen osallistumista alan kansainväliseen yhteistyöhön, tehdä esityksiä geologiaa edistävästä toimenpiteistä sekä edistää geologian tutkimusta, opetusta ja yhteiskunnallista vaikuttavuutta. Geologia.fi -portaali toteutettiin K.H. Renlundin säätiön ja Geologian tutkimuskeskuksen tuella.

<http://www.geologia.fi>

Lisätietoja antaa:

Juha Karhu, Helsingin yliopisto, SKGK:n portaalihankkeen vetäjä, p. (09) 191 50834, tai [juha.karhu@helsinki.fi](mailto:juha.karhu@helsinki.fi)