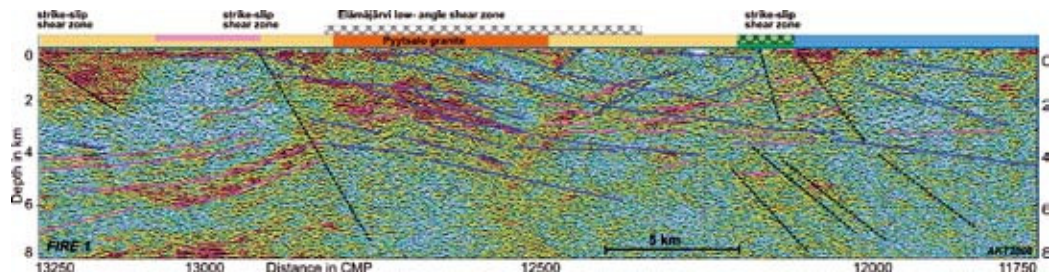


Elämäjärven hiertovyöhyke, osa II – lineaatiot ja kuoren kehitystulkinta

TIMO KILPELÄINEN, ANNAKAISA KORJA JA JORMA PAAVOLA



Kuva 1. Kuoren yläosan romahdusrakenteita Pihtiputaalla FIRE1-linjalla Korja *et al.* (2006) mukaillen. Loiva-asentoisia, SE-kaatuvia voimakkaita heijastajia (punainen) siirtävät N-kaatuvat loivat siirrokset (sininen) sekä lähes pystyt kulku-kaade siirrokset (musta katkoviiva).

Figure 1. Upper crustal collapse structures in the FIRE1-reflection profile at Pihtipudas (Korja *et al.* 2006). Low angle listric shear zones (pink) are displaced by low angle faults (blue) and subvertical strike-slip zones (black stippled).

Geologi-lehden numerossa 2/2007 esiteltiin Keski-Suomen granitoidikompleksin pohjoisosasta FIRE-kenttätöiden yhteydessä tunnistettu, loiva-asentoinen Elämäjärven hiertovyöhyke (Kilpeläinen 2007). Artikkelissa pohdittiin myös hiertovyöhykkeeseen liittyvien tekstuureiden tulkintamahdollisuuksia ja esitettiin, että erityisesti lineaatiot voisivat kuvastaa kuoren keski- ja yläosien rakennekehitystä hiertovyöhykettä laajemmalla alueella.

FIRE-luotausaineiston (Korja *et al.* 2006) analysointiin liittyviä kenttätöitä jatkettiin Elämäjärven ympäristössä kesällä 2007 tarkentaen mm. kuvaa hiertovyöhykkeen dimensioista ja kinematiikasta. Työt on tehty Helsingin yliopiston seismologian laitoksen ja Turun yliopiston geologian laitoksen yhteistyönä ja rahoittajina ovat olleet Suomen Akatemia ja K.H. Renlundin säätiö. Tässä kirjoituksessa jatketaan lineaatioiden merkityksen selvittämistä, esitetään uusia tuloksia ja laajennetaan lineaatiotulkintaa koskemaan myös Pohjois-Savon proterotsooisia ja arkeoisia muodostumia.

Elämäjärven hiertovyöhykkeen rakenne

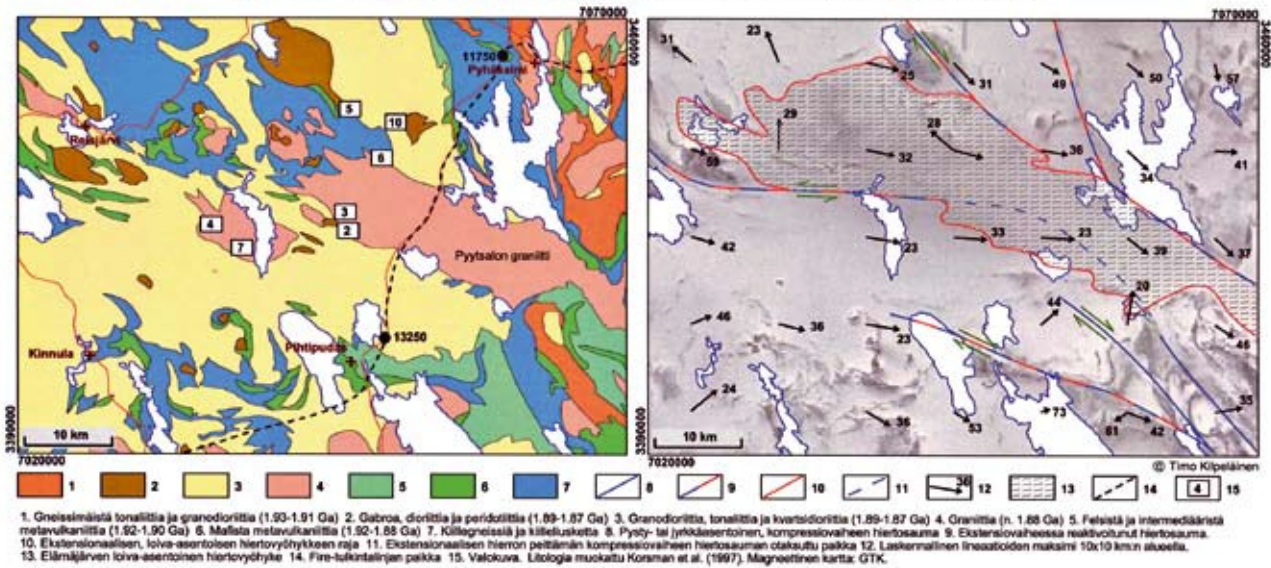
Elämäjärven hiertovyöhyke on ESE–WNW-suuntainen, maanpintaleikkeessä keskimäärin kymmenen kilometrin levyinen tasorakenne, jonka kaade on loivasti (0–30°) pohjoiseen (kartta 1, kuva 1). Hiertovyöhyke leikkaa Pyysalon 1,87 Ga ikäistä (Kousa *et al.* 1994) porfyryristä graniittia, joka an-

taa samalla hiertovyöhykkeelle ainakin paikallisen maksimi-ään. Hierron intensiivisyys vaihtelee vyöhykkeen sisällä paljon. Useimmiten hiertyneet kivet ovat protomyloniitteja, joissa biotiitipitoiset, hienorakeiset saumat kiertelevät isoja kalimaasälpäporfyroklasteja (kuva 2, katso myös Kilpeläinen (2007) kuvat 3 ja 4). Porfyroklastit ovat usein asymmetrisiä, jolloin niitä voidaan käyttää apuna tulkittaessa hiertoon liittyvää suhteellista liikettä. Protomyloniittien matriksi ei aina ole kiillepitoista, sillä hiertovyöhykkeessä on fluiditoiminnan muuttamia unakiittisiä osia, joissa matriksissa on kiilteiden sijasta epidootia ja maasälpäparakeet ovat hapettuneet epätavallisen punaisiksi (kuva 3).

Hiertovyöhyke rajautuu paikoin pohjoisessa ja etelässä pystyasentoihin hiertosaumoihin. Nämä saumat ovat todennäköisesti alkujaan hiertovyöhykettä vanhempia rakenteita, mutta Elämäjärven rakenteen kehittyessä ne ovat aktivoituneet uudelleen niiltä osin kuin ne ovat olleet sopivassa suunnassa suhteessa hierron aiheuttaneeseen paikalliseen stressikenttään. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että mitä lähempänä itä-länsi-suuntaa rakenteet ovat olleet, sitä todennäköisemmin niissä on tapahtunut liikettä myös Elämäjärven rakenteen syntyessä.

Esimerkiksi Reisjärven kaakkoispuolella Elämäjärven hiertovyöhyke rajautuu jyrkästi etelään kaatuvan tasorakenteeseen (kartta 1), joka on itä-län-

ELÄMÄJÄRVEN HIERTOVYÖHYKKEEN YMPÄRISTÖN GEOLOGINEN JA RAKENTEELLINEN KARTTA



Kartta 1. Elämäjärven hirttovyöhykkeen ympäristön litologia ja rakenteet. Lineaatioita kuvaavat nuolet ovat alueellisia keskiarvoja. Tarkempi selitys tekstissä.

Map 1. Lithological and structural map of the Elämäjärvi shear zone. Arrows are the mean directions and plunges of lineations.



Kuva 2. Esimerkki Elämäjärven hirttovyöhykkeen tyypillisestä protomyloniitista. Huomaa hierron voimakkuuden vaihtelu. Protoliitti on porfyriininen graniitti. Näytteen leveys n. 27 cm. Kuva: Timo Kilpeläinen.

Figure 2. A typical protomylonite of the Elämäjärvi shear zone. Notice the varying intensity of shearing. The protolith is porphyritic granite. Width of the sample ca. 27 cm. Photo: Timo Kilpeläinen.

YKJ: 7047130, 3427400



Kuva 3. Esimerkki unakittisesta protomyloniitista Elämäjärven hirttovyöhykkeessä. Protoliitti on porfyriininen graniitti. Näytteen leveys n. 25 cm. Kuva: Timo Kilpeläinen.

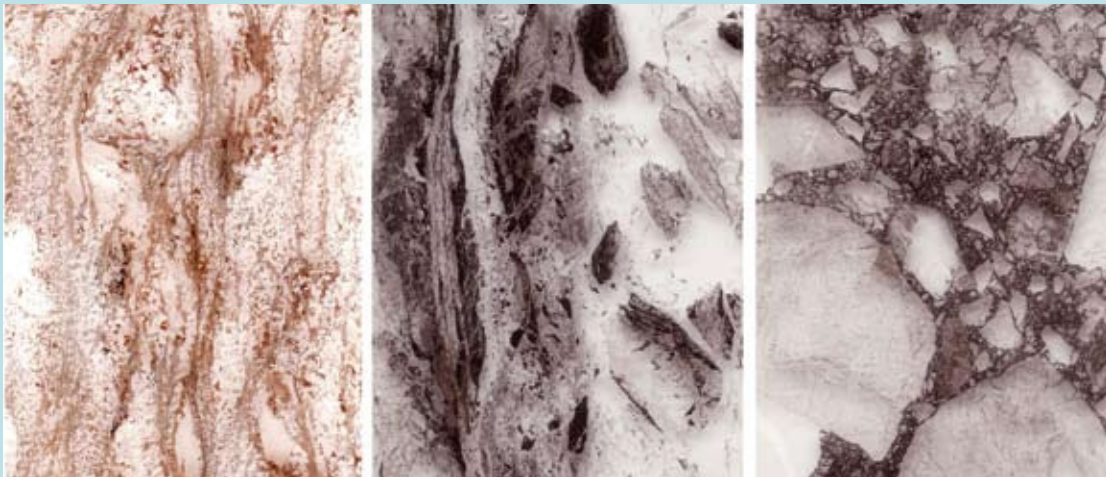
Figure 3. An example of unakitic protomylonite from the Elämäjärvi shear zone. The protolith is porphyritic granite. Width of the sample ca. 25 cm. Photo: Timo Kilpeläinen.

YKJ: 7045620, 3412020



Kuva 4. Suunnattu näyte Elämäjärven hiertovyöhykettä etelässä rajaavasta pystystä hiertovyöhykkeestä. Protoliitti on porfyriininen graniitti. Näytteen leveys n. 30 cm. Kuva: Timo Kilpeläinen.

Figure 4. An oriented sample from a vertical shear bordering the Elämäjärvi shear zone in the south. Protolith is porphyritic granite. Width of the sample ca. 30 cm. Photo: Timo Kilpeläinen.



Kuva 5. Hiekuvasarja Elämäjärven hiertovyöhykettä pohjoisessa rajaavasta pystystä hiertovyöhykkeestä. Hierron aikainen lämpötila laskee vasemmalta oikealle. Kunkin hieen korkeus n. 4 cm. Kuva: Timo Kilpeläinen.

Figure 5. A photo series of thin sections from a vertical shear bordering the Elämäjärvi shear zone in the north. Temperature decreases from left during shearing. Height of each thin section is ca. 4 cm. Photo: Timo Kilpeläinen.

si-suuntainen osa isoa Kolkonjärvi–Iisvesi-hiertyöhykettä (esim. Korsman *et al.* 1984, Korsman *et al.* 1997). Hiertosauma on tällä alueella uudelleen aktivoituessaan leventynyt, mutta rajaa silti pohjoispuolen (Elämäjärven) loivat rakenteet terävästi.

Pystyasentoisen hiertosauman rakenteet ovat morfologisesti identtisiä Elämäjärven hiertyöhykkeen kanssa. Kuvan 4 näyte on paljastumalta, jossa jyrkkäasentoinen hierto leikkaa karkearakeista, porfyriinista graniittia. Kalimaasälpäporfyroklastien epäsymmetrisyys viittaa vasenkätiseen horisontaaliliikkeeseen. Pihtiputaan pohjoispuolella

Elämäjärven hiertyöhykkeen eteläreuna näyttää kuitenkin leikkaavan vanhemman, pystyasentoisen hiertyöhykkeen ulottuen nykyisessä maanpinta-leikkeessä sen lounaispuolelle (kartta 1).

Pohjoisessa Elämäjärven hiertyöhykettä rajaavat niin ikään pystyasentoiset hiertosaumat. Tällä alueella on paljastumia niukasti, mutta rakenne on tavattu esimerkiksi Pyhäsalmi Mine Oy:n tekeissä malminetsintäkairauksissa. Näytteiden perusteella pohjoisrajalla on tapahtunut liikettä laskevassa lämpötilassa niin, että syntyneet rakenteet vaihtelevat plastisista ja semiplastisista lähes hauraisiin hiertobreksoihin saakka (kuva 5).

Lineaatiot Keski-Suomen granitoidikompleksin pohjoisreunalla

Elämäjärven hiertovyöhykkeen tunnusomainen piirre on hiertotasolla näkyvä, loivasti itään kaa-tuva lineaatio (kuva 6). Hiertovyöhyke ei siis ole ns. *dip slip* -tyyppinen, vaan liike on porfyroklastien epäsymmetrisyyden perusteella ollut melkein horisontaaliksi ”kattopuoli länteen”. Likimain samansuuntainen lineaatio on nähtävissä myös Elämäjärven rakennetta rajaavissa pystyasentoisissa hiertosaumoissa, mikä osoittaa suhteellisen liikkeen olleen niissäkin suunnilleen horisontaalia (*strike slip*).

Samansuuntainen lineaatio on monin paikoin hallitseva rakennepiirre myös kivissä, jotka eivät ole lainkaan tasomaisesti hiertyneitä (kuva 7). Voimakkaaseen venymään on kiinnitetty huomiota jo 1:100 000 -kallioperäkartoitusten yhteydessä (esim. Marttila 1992), ja Elämäjärven lähialueen kallioperäkartojen lineaatiot näyttävät kaatuvan mittauspaikasta riippumatta keskimäärin loivasti itään (ks. Kilpeläinen 2007, kuva 5.). Alueen keskiosan lineaatioita on aiemmin julkaistu ns. monimuuttujaprojektiin raporteissa (Gaal 1988, Kuosmanen 1988).

Lineaatiot Ylä-Savon arkeisissa kivilajeissa

Arkeisen alueen paleoproterotsooisten muodostumien jäänteistä voidaan päätellä, että nykyinen eroosiotaso on lähellä sitä tasoa, jolle proterotsooiset muodostumat aikoinaan kerrostuivat. Peite oli paksu, sillä arkeinen pohja lämpeni lähes kauttaaltaan 500–600 °C:een (Kontinen *et al.* 1992, Pajunen ja Poutiainen 1999). Proterotsooinen deformaatio muokkasi tästä syystä plastisesti myös arkeista kerrostumisalustaa. Deformaatio rekisteröityi varhaisproterotsoosiin (2,45–1,97 Ga) dia-baasijuoniin (Kontinen 2002), joten sen aiheuttanut tapahtuma on niitä nuorempi.

Proterotsooinen deformaatio keskittyi ns. Iisalmen lohkolla lähes pelkästään hiertosaumoihin, jotka tosin ovat olleet aktiivisia myöhemmin. Sitä vastoin arkeisen kallioperän vyöhyke Nilsian–Varpaisjärven alueelta aina Pieliselle saakka deformatiivisesti tuolloin läpikotaisin. Tuon vyöhykkeen silmiinpistävä rakennepiirre onkin lineaatio, joka tekee kivistä monin paikoin puikkomaisia L-tektoniitteja (kuvat 8 ja 9). Lineaatiot kaatuvat arkeisen alueen länsiosassa vallitsevasti lounaaseen–etelälounaaseen ja itäosassa etelään–eteläkaakkoon.

Pielisen alueella ja siitä itään arkeinen kallioperä on selvästi paremmin säilynyttä. Selkeät lineaatiot

ovat harvinaisia ja eikä niillä näytä olevan myöskään selkeää vallitsevaa suuntaa. Tutkimusalueen itäosan lineaatioita ovat aiemmin julkaisseet Luukkonen (2005) ja Paavola (1984, 1999, 2006).

Lineaatioiden alueellinen selvitys

Lineaatiosuuntien säännönmukaisuus antoi aiheen selvittää, näkyisikö lineaatio myös laajempaan rakennepiirteeseen pohjoisen Keski-Suomen ja Ylä-Savon alueella. Lisäksi kiinnosti se, muuttuisiko lineaatioiden suunta edellä kuvattujen alueiden välissä. Selvityksessä käytettiin FIRE-kenttätöissä kerättyä mittausaineistoa, Geologian tutkimuskeskuksen Kalpea-tietokantaan tallennettuja mittauksia ja vanhoista, numeeristamattomista kallioperäkartoista poimittuja lineaatiotietoja.

Kalpea-tietokannan mittaukset on tehty liittyen sekä kallioperäkartoituksiin että kohteellisiin töihin, esimerkiksi malmitutkimuksiin. Mittauksia on tehty yhteensä kymmenien vuosien aikana ja myös mittauksia on ollut yhteensä kymmeniä. Aineiston voidaan näin katsoa olevan lajittelematonta ja siksi sopivaa temaattiseen tarkasteluun.

Lineaatio tulee rutiinikartoituksissa mitatuksi silloin, kun se on riittävän silmiinpistävä rakennepiirre. Tullakseen mitatuksi on sen oltava lisäksi deformatiivisen piirre. On todennäköistä, että lineaatioita mitattaessa on mitattu useimmiten samaa, saman generaation rakennetta – tai ainakin nuorta rakennetta suhteessa alueelliseen deformaatiokehitykseen. Tasomaisia deformaatorakenteita, kuten liuskeisuuksia, on monivaiheisen rakennkehityksen läpikäyneessä kallioperässä monen ikäisiä, joten niiden luokittelu tai analysointi tämän tapaisesta aineistosta on mahdotonta.

On tietysti olemassa myös esimerkiksi kahden tasopiirteiden leikkauslineaatioita, joita esiintyy tavallisimmin alhaisen metamorfoosiasteen kerroksellisten kivien deformaatorakenteena. Tässä työssä tarkastellaan kuitenkin keski- ja korkean asteen metamorfoosin karkeuttamia kiviä, jotka usein ovat lisäksi alkuperältään magmaattisia. Leikkauslineaatioiden osuus koko mittausaineistossa onkin todennäköisesti varsin vähäinen.

Lineaatioaineiston käsittely

Koko aineisto sisältää 4588 lineaatiomittausta. Mittaukset painottuvat selvästi tutkimusalueen itäosaan, mutta myös länsiosasta on mittauksia riittävästi kokonaisuuden hahmottumisen kannalta. Koordinaatteihin sidottu mittausaineisto jaet-



Kuva 6. Voimakas lineaatio Elämäjärven hirtovyöhykkeessä. Protoliitti on tasarakeinen graniitti. Vaakaleike. Kuva: Timo Kilpeläinen.

Figure 6. Strong lineation from the Elämäjärvi shear zone. The protholith is even-grained granite. Horizontal section. Photo: Timo Kilpeläinen

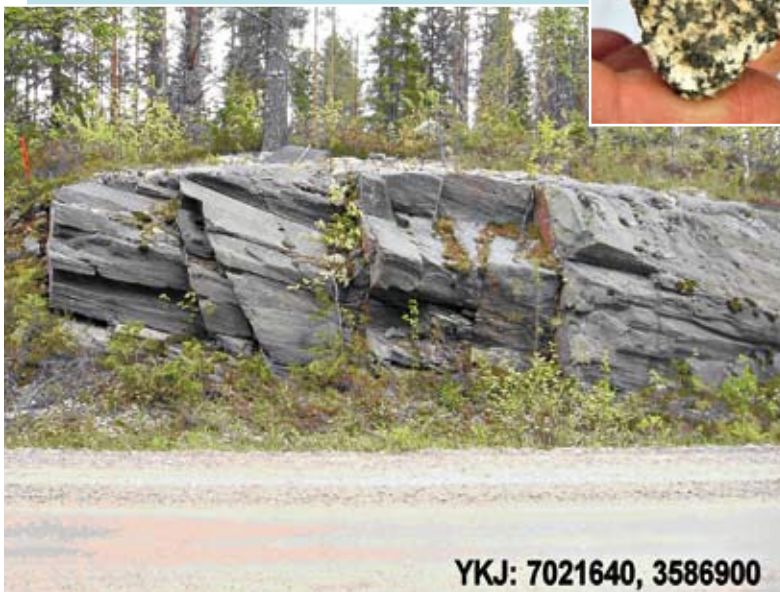
Kuva 7. Voimakas lineaatio Elämäjärven hirtovyöhykkeen eteläpuolelta. Protoliitti on granodioriitti. Kuva: Markku Kilpelä.

Figure 7. Strong lineation south of the Elämäjärvi shear zone. The protholith is granodiorite. Photo: Markku Kilpelä.



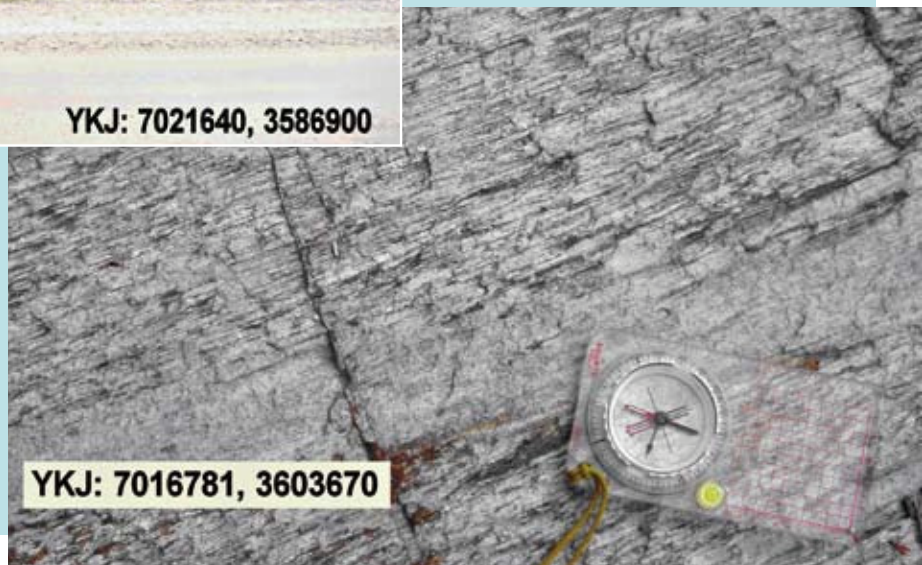
Kuva 8. Puikkomaiseksi L-tektoniitiksi deformoitunut varhaisproterotsooinen diabaasi. Kuva: Jorma Paavola.

Figure 8. Strong stretching lineation (L-tectonite) in a Palaeoproterozoic diabase. Photo: Jorma Paavola.



Kuva 9. Proterotsooisien deformaation läpikotaisin muokkaamaa arkeeista kallioperää. Kuva: Jorma Paavola.

Figure 9. Penetrative Palaeoproterozoic deformation in the Archaean bedrock. Photo: Jorma Paavola.



tiin YKJ-koordinaatiston mukaisesti 10x10 km:n ruutuihin. 3-kaistalla ruudusto yhtyy 1:20 000 peruskarttalehtiin, mutta eroaa niistä tämän työn alueen länsiosassa, joka ulottuu KKJ-koordinaatiston 2-kaistan puolelle. Jokaisen ruudun mitaustuloksista tehtiin erillinen stereoverkkodiagrammi (alapalloprojektiio) samaan tapaan kuin kirjoituksessa Kilpeläinen (2007) on esitetty. Stereoverkot siirrettiin karttapohjalle niin, että ympyröiden keskipisteet olivat kunkin 10x10 km:n ruudun keskipisteessä ja skaalattiin niin, että ympyrän säteeksi tuli viisi kilometriä.

Mikäli mitaustulokset muodostivat alapallolle maksimin, piirrettiin keskimääräistä lineaatioiden suuntaa kuvaava nuoli ympyrän keskipisteestä ko. maksimiin. Tällöin nuolen suunta kuvaa lineaation keskimääräistä suuntaa ruuduittain ja nuolen pituus kuvaa puolestaan keskimääräistä kaadetta. Kalpea-aineiston mittauksissa ei kokonaiskorjausta ole vielä mukana, joten tässä työssä tehtiin koko alueen vektorinuolille yhtäläinen, kymmenen asteen korjaus. Todellisuudessa korjauksen tulisi olla hiukan erisuuruinen idässä ja lännessä, mutta lopputuloksen kannalta tällä seikalla on todennäköisesti vähäisempi merkitys kuin mitaustuloksissa väistämättä mukana olevilla virheillä. Jokaisen ruudun keskelle ei nuolta voinut piirtää. Syynä oli joko se, että mitaustuloksia ei tuolta alueelta ollut tai sitten ne eivät muodostaneet maksimia alapalloprojektiolle.

Tulokset karttamuodossa

Lineaatiotulokset on esitetty kartoissa 1 ja 2. Karttaan 1 on nuoliin liitetty keskimääräistä kaadetta ilmaiseva numero, kartassa 2 kaateen arvoa kuvaa pelkästään nuolten pituus. Aineiston heterogeenisuudesta huolimatta muodostuu kartalle 2 yllättävän säännöllinen kuva lineaatioiden suunnista ja suuntien muuttumisesta. Kartta-alueen länsiosan n. itä-läntiset lineaatiot taipuvat itään päin siirryttäessä vähitellen myötäpäivään, kohti Raahen–Laatokka-vyöhykkeen pääsuuntaa. Kartan itäreunasta länteen päin tultaessa nähdään tapahtuvan vastaava rotaatio myötäpäivään ja kartan keskiosa muodostuu alue, jossa esiintyy sekä ”itäisiä” että ”läntisiä” lineaatioita. Lineaatioiden kaateissa ei näytä tapahtuvan merkittävää taipumista, vaan kaateet ovat koko kartan alueella keskimäärin varsin loivia.

Karttakuvan säännöllisyys viittaa siihen, että kyse on koko alueella samassa tapahtumassa syntyneestä rakenteesta. Koska lineaatiot ovat plastisia rakenteita, on nykyinen maanpintaleikkaus

ollut ainakin kymmenen kilometrin syvyydessä näiden rakenteiden syntyessä. Kuitenkin lineaatiot ovat postmetamorffisia rakenteita, sillä ne leikkaavat kivien muita tektonismetamorffisia rakenteita. Edelleen ne ovat postkompressionaalisia/postkinemaattisia, sillä ne leikkaavat loiva-asentoisten hiertovyöhykkeiden tapaan törmäysvaiheen pystyjä rakenteita.

Alussa mainittiin, että lineaatiot leikkaavat Pyytsalon porfyyristä, 1,87 Ga ikäistä graniittia. Arkeisella alueella rakenne näkyy kaikissa muissa kivissä, paitsi länsireunan postkollisionaalisissa, 1,86 Ga ikäisissä (esim. Ruotoistenmäki *et al.* 2001) graniiteissa. Nämä kaksi ikää näyttävät siis rajaavan lineaatioiden iän aikavälille 1,87–1,86 Ga. Toisaalta Pyhäjärven 1:100 000 -kallioperäkarttalehden luoteisosassa on runsaasti NE-SW – ENE-WSW -suuntaisia diabaasi- ja kvartsi-maasälpörfyyrijuonia, joiden intrudoitumisen mahdollistanut rakojen aukeaminen voisi selittyä samalla stressikentällä kuin lineaatioidenkin kehittyminen. Jauhokankaan kvartsi-maasälpörfyyrijuonen zirkoni-ikä (1874±5 Ma, Kousa *et al.* 1994) on tosin hiukan Pyytsalon graniitin ikää vanhempi. Ikämääritysten virherajat huomioon ottaen todelliset iät voivat kuitenkin olla hyvin lähellä toisiaan. Myöhäiseen, NW-SE – SSE-NNW -suuntaiseen tensioon viittaavat myös paikoin tavattavat kvartsijuonisysteemit tuolla samalla alueella (kuva 10).

Mikä tapahtuma synnytti lineaatiot?

Karttaa 2 tarkasteltaessa on muistettava, että nuolet kuvaavat lineaatioiden kaateiden suuntia, eivät liikkeiden suuntia. Elämjärven ympäristössä liike on ollut ”kattopuoli länteen” eli nuolten tyven suuntaan, loivasti yläviistoon, ja sama pätee todennäköisesti kartan länsiosassa laajemmaltikin. Itäosan arkeisista kivistä ei kinematiikkaa ole sopivien tasomaisten hiertorakenteiden puuttuessa pystytty toistaiseksi selvittämään. Mikäli länsiosan rakenteiden logiikka pätee myös siellä, olisi liikkeen suhteellinen suunta ollut arkeisella alueella ”kattopuoli koilliseen”.

Karttakuvan rakenteiden laaja-alainen, vanhemmista rakenteista ja litologian vaihtelusta piittaamaton luonne viittaa siihen, että kyseessä olisi orogeenian romahtamiseen liittyvä tapahtuma. Ajallisesti lineaatiot lienevät syntyneet Savo-Lappi- ja Fennian orogenioiden (Lahtinen *et al.* 2005) romahdusvaiheessa, jolloin ylipaksuuntunut kuori pyrki stabiloitumaan ja yläkuoren materiaalia siirtyi pois päin törmäysvyöhykkeistä kohti ohuempia

YKJ: 7058150, 3433400



Kuva 10. Elämäjärven hiertovyöhykkeen ja lineaatioiden syntyyn todennäköisesti liittyviä tensionaalisia kvartsi-juonia. Vaakaleike. Kuva: Timo Kilpeläinen.

Figure 10. Tensional quartz veins developed probably simultaneously with planar and linear structures in the Elämäjärvi structure. Horizontal section. Photo: Timo Kilpeläinen.

alueita, pohjois-koilliseen ja länsi-luoteeseen. Aikaisempien alueellisten metamorfoositöiden perusteella (Korsman *et al.* 1984) tutkimusalueen länsiosan kivilajien voidaan arvioida edustavan 15–20 km:n syvyistä leikkausta maankuoresta. Se on siten ollut hauraan yläkuoren lämpimässä alaosassa romahduksen aikana ja siksi romahdus aiheutti alueen kivilajeissa pysyvän muodonmuutoksen, joka näkyy läpikotaisena lineaationa sekä paikallisesti hiertovyöhykkeinä. Hiertovyöhykkeet muodostavat siirrossysteemin, jossa on sekä loiva- (Elämäjärvi) että pystyasentoisia (esim. Elämäjärveä rajaavat pystyt hierrot) siirroksia. Vaikka suurin osa liikkeestä tapahtuikin siirroksia pitkin, suurin osa muodonmuutoksesta rekisteröityi ympäröiviin kivilajeihin ja vain deformaation aukaisemiin tiloihin tunkeutuneet granitoidit ja juonet eivät ole deformoituneet.

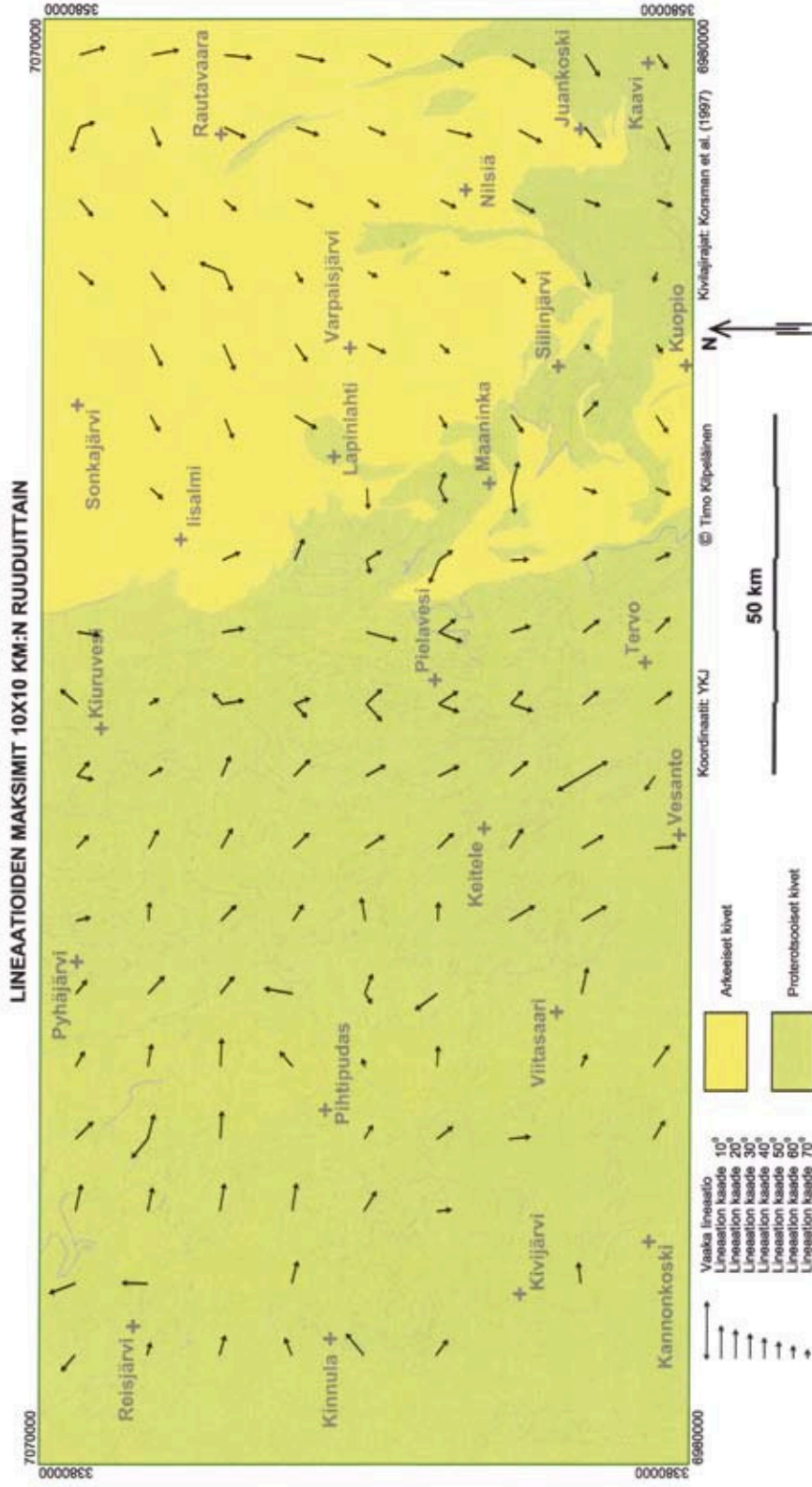
Alueen voimakas loiva-asetoinen venymä näkyy heijasteiden suuntautumisena ja siirrokset heijasteiden siirtyminä. Venymän suuntaiset liikunnat siirsivät aikaisempia loiva-asetoimia, voi-

makkaasti heijastavia rakenteita ylöspäin, samoin kuin *strike-slip* siirrokset (kuva 2). Loivat, hyvät heijastajat ovat osa ylä- ja keskikuorta erottavaa ns. *detachment*-pintaa, jonka Korja ja Heikkinen (painossa) tulkitsevat nousevan maanpinnalle Pihlputaan alueella. Lineaatiokartan perusteella liike on ollut voimakkainta arkeaisen ja proterotsooisen alueen törmäysrauman tuntumassa, missä *detachment*-pinta nousee lähelle maanpintaa ehkä osittain *strike-slip* siirrostensa ansiosta.

Lineaatiokartan tulkinta sisältää vielä paljon oletuksia. Tulevaisuudessa on toivottavasti mahdollista laatia yksityiskohtaisempi malli kokonaisrakenteesta ja sen synnystä. Tämän kirjoituksen tarkoitus on herättää keskustelua aiheesta ja synnyttää vaihtoehtoisia tulkintoja rakenteen selittämiseksi.

Kiitokset

Kiitokset Markku Väisäselle hyvistä kommentteista ja parannusehdotuksista ja Paula Kosuselle ja Kaisa Wanteelle kenttätöistä.



Kartta 2. Lineaatioiden keskiarvojen suuntien ja kaateiden vaihtelu tutkimusalueella. Tarkempi selitys tekstissä.
 Map 2. The mean directions and plunges of lineations in study area.

Summary

A low angle shear zone has been discovered at Elämäjärvi in the Pihtipudas area. According to the FIRE deep seismic reflection results, the shear zone coincides with the location where the basal detachment between upper and middle crust is exposed. The Elämäjärvi shear zone cross-cuts all lithologies, including 1.87 Ga old granitoids. It is bordered in the north and south by vertical shear zones that were active together with the Elämäjärvi shear zone. Kinematic indicators suggest transportation from E to W. Although the movements mainly took place in the shear zones, a penetrative stretching lineation, representing high temperature ductile deformation, has also been recorded in the surrounding rocks.

A strong stretching lineation is also common in the Archaean basement, 100 km east of Pihtipudas. It is also seen in 2.45–1.97 Ga metadiabases, which cut this basement, whereas 1.86 Ga granitoids in the craton margin are undeformed. Based on the overall structure of the study area, we interpret the transport direction there to be from SW to NE.

This study is based on structural observations made during a field campaign, correlating the FIRE-results to the surface, and observations archived in the database of the Geological Survey of Finland. In total 4588 undistinguished lineation measurements were sorted out to 10x10 km squares, of which the average directions and plunges

are indicated by arrows on the map. The regularity of the lineation pattern suggests that most of the observations represents stretching lineation, which was formed simultaneously in the whole area.

We interpret the lineation to have formed as a result of the collapse of the Savo-Lappi and Fennian orogens. The stabilization processes of the overthickened crust caused sideways spreading to NNE and WNW. The present exhumation level represents a 15–20 km deep section of the crust. During the deformation, temperature was high enough to produce semi-plastic structures such as penetrative lineation and planar shear zones.

Timo Kilpeläinen

Turun yliopisto
Geologian laitos
timo.kilpelainen@utu.fi

Annakaisa Korja

Helsingin yliopisto
Seismologian laitos
annakaisa.korja@helsinki.fi

Jorma Paavola

Geologian tutkimuskeskus
Kuopio
jorma.paavola@gtk.fi

Lähteet:

- Gaál, G. (toim.) 1988. Exploration target selection by integration of geodata using statistical and image processing techniques : an example from central Finland. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 80. Espoo, 156 s.
- Kilpeläinen, T. 2007. Elämäjärven hiertovyöhyke – loiva-asetoinen makrorakenne Keski-Suomen graniitidikompleksin ja Savon vyöhykkeen rajalla. *Geologi* 59:35–38.
- Kontinen, A. 2002. Proterozoic tectonothermal overprint in the eastern Finland Archaean complex and some thoughts of its tectonic setting. Teoksessa: Korsman, K. ja Lestinen, P. (toim.). *Geologian tutkimuskeskus, Raportti K 21.42/2002/1, Raahelaatokka –symposio, Kuopio 20.–21.3.2001, Laajat abstraktit*, 42–62.
- Kontinen, A., Paavola, J. ja Lukkarinen, H. 1992. K-Ar ages of hornblende and biotite from Late Archaean rocks of eastern Finland - interpretation and discussion of tectonic implications. *Bulletin of the Geological Survey of Finland* 365. 31 s.
- Korja, A. ja Heikkinen, P. painossa. Seismic images of Paleoproterozoic microplate boundaries in Fennoscandian Shield. Teoksessa: Condie, K., and Pease, V. (toim.). *When did Plate Tectonics Begin on Planet Earth? Geological Society of America Special Publication*, 440.
- Korja, A., Lahtinen, R., Heikkinen, P., Kukkonen, I.T. and FIRE Working Group 2006. A geological interpretation of the upper crust along FIRE 1. Teoksessa: Kukkonen, I.T. and Lahtinen, R. (toim.). *Finnish Reflection Experiment FIRE 2001–2005, Geological Survey of Finland, Special Paper 43*, 45–76.
- Korsman, K., Hölttä, P., Hautala, T. ja Wasenius, P. 1984. Metamorphism as an indicator of evolution and structure of the crust in Eastern Finland. *Bulletin of the Geological Survey of Finland* 328. 40 p.
- Korsman, K., Koistinen, T., Kohonen, J., Wennerström, M., Ekdahl, E., Honkamo, M., Idman, H. ja Pekkala Y. (toim.) 1997. Suomen kallioperäkarta – Berggrundskarta över Finland – Bedrock map of Finland 1:1 000 000. Geological Survey of Finland, Espoo.

- Kousa, J., Marttila, E. ja Vaasjoki, M. 1994. Petrology, geochemistry and dating of Paleoproterozoic metavolcanic rocks in the Pyhäjärvi area, central Finland. Teoksessa: Nironen, M. & Kähkönen, Y. (toim.). Geochemistry of Proterozoic supracrustal rocks in Finland. IGCP Project 179 Stratigraphic methods as applied to the Proterozoic record and IGCP Project 217 Proterozoic geochemistry. Geological Survey of Finland. Special Paper 19, 7–27.
- Kuosmanen, V. (toim.) 1988. Exploration target selection by integration of geodata using statistical and image processing techniques : an example from Central Finland. Part II, (Atlas). Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 84. Espoo: Geologian tutkimuskeskus. 47 p.
- Lahtinen, R., Korja, A. ja Nironen, M. 2005. Paleoproterozoic tectonic evolution. Teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P.A., Rämö, O.T. (toim.). Precambrian geology of Finland – Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield. Developments in Precambrian Geology, Volume 14, Elsevier, Amsterdam, 481–532.
- Luukkonen, E.J. 2005. Nurmeksen kartta-alueen kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Nurmes map-sheet area. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkarttojen selitykset lehti 4321. Espoo, Geologian tutkimuskeskus. 65 p. + 4 app. maps.
- Marttila, E. 1992. Pyhäjärvi. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkartta = Geological map of Finland 1:100 000 : pre-Quaternary rocks. Lehti = sheet 3321. Espoo, Geologian tutkimuskeskus.
- Paavola, J. 1984. Nilsian kartta-alueen kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Nilsia map-sheet area. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkarttojen selitykset lehti 3334. Espoo, Geologian tutkimuskeskus. 57 p.
- Paavola, J. 1999. Rautavaaran kartta-alueen kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Rautavaara map-sheet area. Suomen geologinen kartta 1:100 000 : kallioperäkarttojen selitykset lehti 3343. Espoo: Geologian tutkimuskeskus. 53 p.
- Paavola, J. 2006. Ylä-Luostan kartta-alueen kallioperä. Summary: Pre-Quaternary rocks of the Ylä-Luosta map-sheet area. Suomen geologinen kartta 1:100 000, kallioperäkarttojen selitykset lehti 4312. Espoo, Geologian tutkimuskeskus. 60 p. + 3 app.
- Pajunen, M. ja Poutiainen, M. 1999. Palaeoproterozoic prograde metasomatic-metamorphic overprint zones in Archaean tonalitic gneisses, eastern Finland. Bulletin of the Geological Society of Finland 71, Part I, 73–132.
- Ruotoistenmäki, T., Mänttari, I. ja Paavola, J. 2001. Characteristics of proterozoic late-/post-collisional intrusives in Archaean crust in Iisalmi – Lapinlahti area, central Finland. Teoksessa: Geological Survey of Finland, Current Research 1999–2000. Geological Survey of Finland. Special Paper 31, 105–115. ♦

MERKKIPÄIVIÄ

28.4.	Esa Sandberg	60 v.
20.4.	Pasi Niskanen	50 v.

GEOLOGI 2008

Lehti numero	Aineisto toimituksessa	Lehti ilmestyy
3	20.3.	25.4.
4	19.5.	29.8.