



KARJALAISET LIUSKEALUEET

—
mantereen
ikivanha
pintakivipeite

Karjalaiset liuskealueet koostuvat varhaisproterotsooisista, 2 500 – 1 900 miljoonaa vuotta vanhoista metamorfoituneista sedimenttikivistä ja vulkaniiteista. Näitä kutsutaan yhteisnimellä *karjalaiset muodostumat*. Laajasti otettuina ne sisältävät kaikki ne pintasyntyiset kivilajit, jotka kerrostuivat Itä- ja Pohjois-Suomen arkeisen kallioperän (ks. Luku 4) päälle ja joutuivat 1 900 miljoonaa vuotta sitten svekofennisen vuorijononpoimutuksen kohteeksi. Poimuttuessaan ne kohosivat vuorijonoksi, joka kului eroosion vaikutuksesta ilmeisesti lähes nykyisen maanpinnan tasolle proterotsooisen eonin loppuun mennessä. Karjalaiset muodostumat edustavat siten varhaisproterotsooisen vuorijonon syvälle kulunutta osaa. Määritelmä sulkee sisäänsä myös Lapin vastaavanikäiset pinta-kivijaksot, mutta niitä käsitellään erikseen Luvussa 5.

Karjalaisten muodostumien kerrostuminen kesti vähintään 500 miljoonaa vuotta, mikä on geologisestikin ottaen pitkä aika. Karjalaisia muodostumia on perinteisesti käsitelty yhtenä kokonaisuutena. Viimeaikaiset tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että niihin liittyy useita eri sedimenttialtaita, jotka kehittyivät toinen toisensa päälle ja viereen ja sitten poimuttuivat yhdessä. Paljastumien vähyys, niiden puuttuminen kokonaan eräiltä kriittisiltä alueilta ja paikoin erittäin voimakas deformaatio aiheuttavat sen, että eri jaksojen sisäisestä kehityksestä ja suhteista naapurijaksoihin kiistellään.

Seuraavassa käsitellään karjalaisia liuskealueita lähinnä niiden alkuperän eli kerrosjärjestyksen, sedimentaation ja vulkanismin kannalta. Tätä ei kuitenkaan voida tehdä käsittelemättä ensin lyhyesti niiden tektonista rakennetta ja metamorfoosia.

6.1. Karjalaisten liuskealueiden yleispiirteet

Alueellinen jakauma ja tektoniikka

Nyt puheena olevia karjalaisia muodostumia tavataan Pohjois-Karjalassa, Kainuussa, Savossa ja Pohjois-Pohjanmaalla (*Kuva 6.1*). *Pohjois-Karjalan liuskealue* rajoittuu idässä Kuhmon arkeeseen lohkoon, on keskiosastaan voimakkaasti tektonisoitunut ja rajoittuu lännessä Iisalmen arkeeseen lohkoon ja Savon liuskealueeseen. *Kainuun liuskealue* on puristunut Kuhmon ja Iisalmen-Pudasjärven arkeisten lohkojen väliin. Myös Kainuun liuskealue on keskiosastaan voimakkaasti tektonisoitunut. *Pohjois-Savon liuskealue* rajoittuu Kuopion seudulla itäosastaan Pohjois-Karjalan liuskealueeseen ja Iisalmen lohkoon. Sen länsirajaa Svekofennidejä vasten pidetään tektonisena (esim. Lundqvist ym. 1996). *Pohjois-Pohjanmaan liuskealue* on Savon alueen jatketta, mutta Oulujärven hiertovyökkeen siitä erottama.

Liuskealueiden tektoninen kehitys käsittää neljä päävaihetta, joista kaksi ensimmäistä edustaa plastista ja kaksi myöhäisempää hauraampaa deformaatiota:

- (1) *Pintakivien poimuttumien ja ylityöntyminen länsilounaasta itäkoilliseen.*
- (2) *Edellisen vaiheen lähes vaaka-asentoisten ylityöntölaattojen ja poimujen poimutus pystymään asentoon.*
- (3) *Useita kymmeniä - satoja kilometrejä pitkien, lähes pohjois-eteläsuuntaisten hiertovyöhykkeiden syntyminen.*
- (4) *Edelliseen nähden diagonaalisten lounais-koillis- ja luode-kaakkosuuntaisten hiertovyöhykkeiden verkoston muodostuminen.*

Myöhemminkin tapahtui vielä hiertoja

ja siirroksia, mutta ne eivät enää vaikuttaneet ratkaisevasti karttakuvaan.

Nykyisen tektonisen asunsa ja asemansa perusteella eri jaksojen muodostumat voidaan ryhmitellä seuraavasti:

- (1) *Pohjois-Karjalan ja Kainuun liuskealueiden itäiset, subteellisen autoktoniset eli yhä edelleen kerrostumisalustassaan (Kuhmon lohko) kiinni olevat muodostumat.*
- (2) *Mainittujen liuskealueiden keskiosien alloktioniset eli paikaltaan siirtyneet ylityöntölaatat ja biertokiilat.*
- (3) *Samojen alueiden läntiset muodostumat, joista osa on kiinni autoktonisesti Iisalmen lohkoissa, mutta ovat Kainuun jakson läntisessä pohjoisosassa Oulujärven hiertovyöhykkeen deformaatioita.*
- (4) *Pohjois-Savon - Pohjois-Pohjanmaan liuskealueiden peliittivaltaiset muodostumat, joista alimmat, Iisalmen lohkon länsiosaa reunustavat, ovat ainakin osittain vielä kiinni alustassaan, mutta pääosa on voimakkaasti poimuttunutta ja ylityöntynyt Iisalmen ja Pudasjärven lohkoja vasten.*

Metamorfoosi

Karjalaisten liuskealueiden pintakivet ovat metamorfoituneita ja siten alkuperäiset sedimentit ja vulkaaniset kivet ovat nyt erilaisia metamorfisia kiviä, joihin on, varsinkin lähellä Svekofennidien rajaa ja Oulujärven hiertovyöhykkeessä, tunkeutunut svekofennisiä syväkiviä.

Metamorfoosin voimakkuus on kasvanut idästä länteen siten, että Kainuun ja Pohjois-Karjalan itäreunan kivet kuuluvat

vihreäliuskefasiekseen ja Pohjois-Savon - Pohjois-Pohjanmaan alueen länsiosan yläamfiboliittifasiekseen. Idässä kivien primäärit piirteet ovat suhteellisen hyvin säilyneitä, kun taas lännessä ne saattavat olla täysin tuhoutuneita ja kivet ovat raitaisia gneissejä tai graniittisuonisia migmatiitteja. Koska tässä luvussa pääpaino on muodostumien alkuperässä, jätetään metamorfoosin vaikutus käsittelemättä ja kiviä kutsutaan useimmiten *niiden alkuperää ilmaisevilla nimillä* (vrt. myös Luvut 4 ja 5).

Kivilajiseurueet

Karjalaiset muodostumat voidaan jakaa ainakin neljään tai viiteen pääosaan, jotka muodostuivat karjalaisen sedimentaatiokieron tietyissä tektonisissa kehitysvaiheissa. Nämä ovat vanhimmasta nuorimpaan (*Kuva 6.2*):

(1) *Sumin* laavat, erityisesti happamat porfyirit, ja vähäiset sedimenttikivet sekä (2) *Sariolan* epäkypsät, runsaasti maasälpää tai graniittisia palloja sisältävät konglomeraatit ja hiekkakivet paikallisine andesiittibasalttisine laavoineen. Näitä kahta sarjaa on paikoin vaikea erottaa toisistaan. Tällöin puhutaan *Sumi-Sariolasta* (Rundqvist ja Mitrofanov 1992). Nämä sarjat edustavat karjalaisen historian ensimmäistä vaihetta, jolloin arkeinen manner alkoi revetä ja syntyi kapeita siirrosten rajaamia repeämäaltaita. Repeämiä myöten purkautui Sumin laavoja repeämäaltaisiin ja arkeisen mannerkuoren päälle. Samalla arkeinen kuori rapautui ja rapautumistuotteista kerrostuivat Sariolan epäkypsät sedimentit.

Tämän jälkeen seurasi intensiivinen kemiallisen rapautumisen kausi, joka tuotti paksun, alumiinista rikkaan rapautumiskuoren, joka vastaa nykyisin trooppisilla alueilla tavattavia rapautumia. Tämä osoittaa sen, että tuolloin, n. 2 300 miljoonaa vuotta sitten, alue sijaitsi huomattavasti nykyistä etelämpänä. Rapautumiskauden

	Muhoksen muodostuma (keski-myöhäisproterotsooinen)
	Varhaisproterotsooiset granitoidit
	Otanmäen alkaligraniitti
	Hiertovyöhykkeiden paragneissit
	Ofoliittikompleksit, serpentiniitit (S)
	Keski-Puolangan ryhmä
	Kaleva
	Jatuli-tyyppiset kvartsiittimuodostumat
	Korvuanjoen ryhmä (Kainuu)
	Kurkikylän ryhmä (Sariola)
	Arkeinen pohja

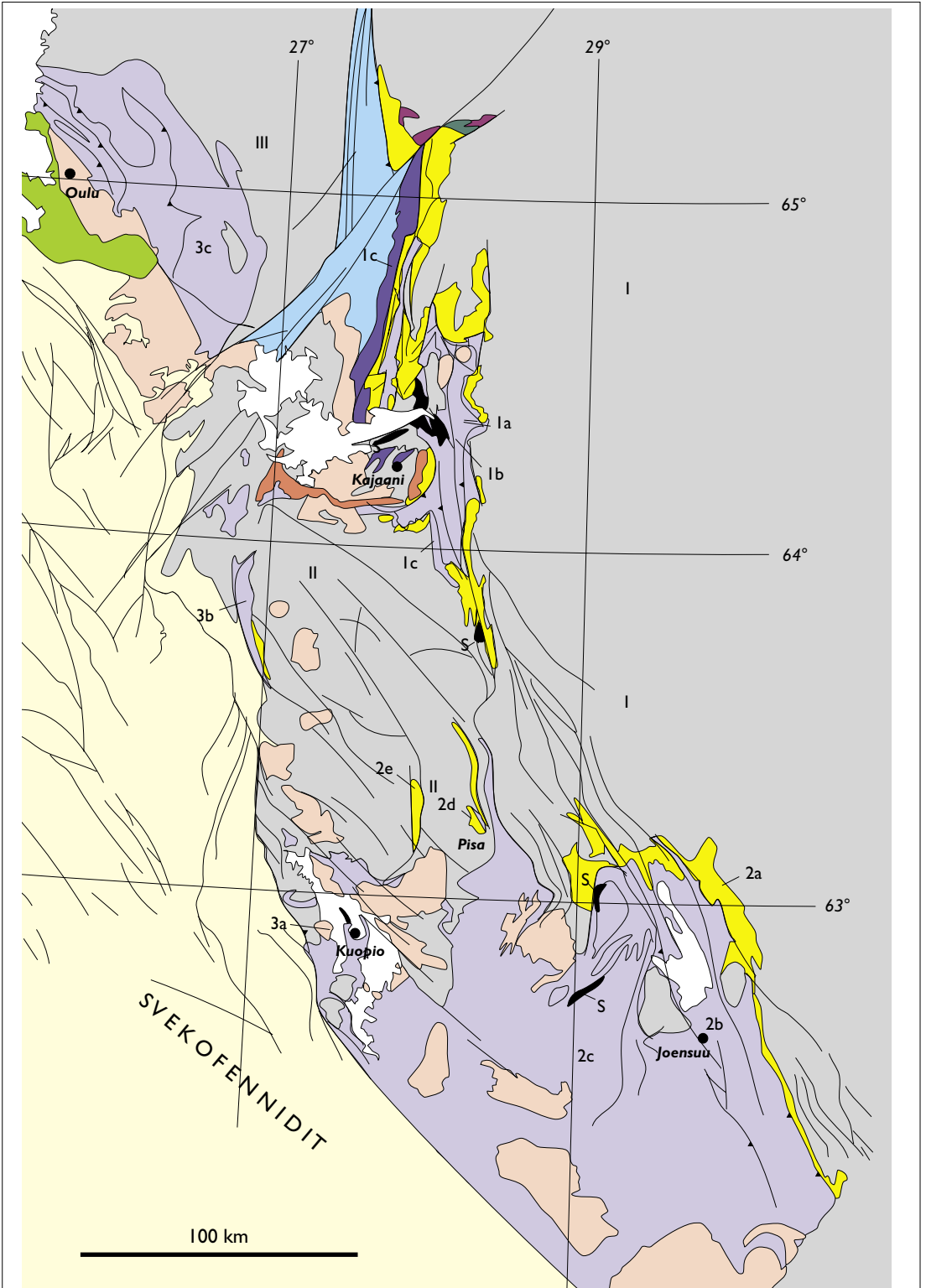
Kuva 6.1. Yksinkertaistettu geologinen kartta Suomen keskiosasta (pääosa yksinkertaistettu ja osin tarkennettu Lundqvistin ym., 1996, kartasta, eteläreuna Simosen, 1980, kartasta). Huomaa, että siirrokset ja ylityöntöpinnat (paksut viivat) jakavat kallioperän lohkoihin ja vaikeuttavat eri osa-alueiden pintakivijaksojen rinnastamista toisiinsa.

Karjalaiset liuskealueet:

- 1) Kainuu: a itäosa, b keskiosan ylityöntökielekkeet, c länsiosa
- 2) Pohjois-Karjala: a itäinen kvartsiittijakso, b Höytiäisen allas, c Itä-Savon provinssi, d Pisan ylityöntöalue, e Kinahmin jakso
- 3) Savo - Pohjois-Pohjanmaa: a Kuopion alue, b Salahmin jakso, c Pohjois-Pohjanmaan jakso

Arkeiset alueet:

- I) Kuhmo
 - II) Iisalmi
 - III) Pudasjärvi
- Svekofennistä aluetta ei ole kartassa tarkemmin eritelty.



Kuva 6.1.

jälkeen kerrostui aluksi alumiinista rikkaita sedimenttejä, joiden ainekset ovat peräisin em. muinaisrapautumasta, ja sen jälkeen puhtaampia kvartsihiekkvoja. Nämä kivet tunnetaan (3) *Kainuun sarjana* ja ne ovat lähinnä jokisedimenttejä, jotka kerrostuivat repeämältäisiin ja pilkkoutuneen arkeeseen kuoren lohkojen reunoille. Kainuun sarjan jälkeen silloinen manner ilmeisesti tasoittui ja joutui useassa eri vaiheessa meren valtaamaksi. Tässä vaiheessa sekä jokitoiminta että matalan meren prosessit kerrostivat paksuja kvartsihiekkasiintymiä, joita kutsutaan yleisnimellä (4) *Jatuli*. Jatuliesiintymät ovat paikoitellen 3 – 4 km paksuja, ja niiden sisällä voidaan erottaa pienempiä sarjoja, jotka kuvastavat muinaisia merenpinnan vaihteluja.

Jatulin jälkeen sedimentaatiohistoriassa seurasi ratkaiseva muutos; siirryttiin matalan veden ympäristöstä syvemmän veden olosuhteisiin, jolloin kerrostuivat (5) *Kalevana* tunnetut paksut savet ja saviset hiekkasiintymät. Kaleva voidaan jakaa kahteen osaan: *Ala-Kaleva* koostuu erilaisista konglomeraateista, kiilleliuskeista, rautamuodostumista ja metalleista rikkaista mustaliuskeista. *Ylä-Kaleva* on yksitoikkoisempi koostuen lähinnä turbidiittivirtausten kerrostamista savisista hiekoista ja savista syntyneistä metagrauvakoista ja fylliiteistä. Kalevaan liittyvät läheisesti myös Outokummun ja Jormuan *ofioliittikompleksit*, jotka edustavat muinaista, 1950 miljoonaa vuotta vanhaa merenpohjaa emäksisine laavoinen, levyjuonistoinen ja gabro- ja serpentiniitti-intruusioineen (Koistinen 1981, Kontinen 1987). Nämä ofioliittiset esiintymät ovat ilmeisesti alloktonisia. Kalevan synty-ympäristö on kiistanalainen, mikä johtuu lähinnä Kalevan voimakkaasta deformaatiosta ja siitä, että sen alkuperäiset sedimenttipiirteet ovat monin paikoin tuhoutuneet.

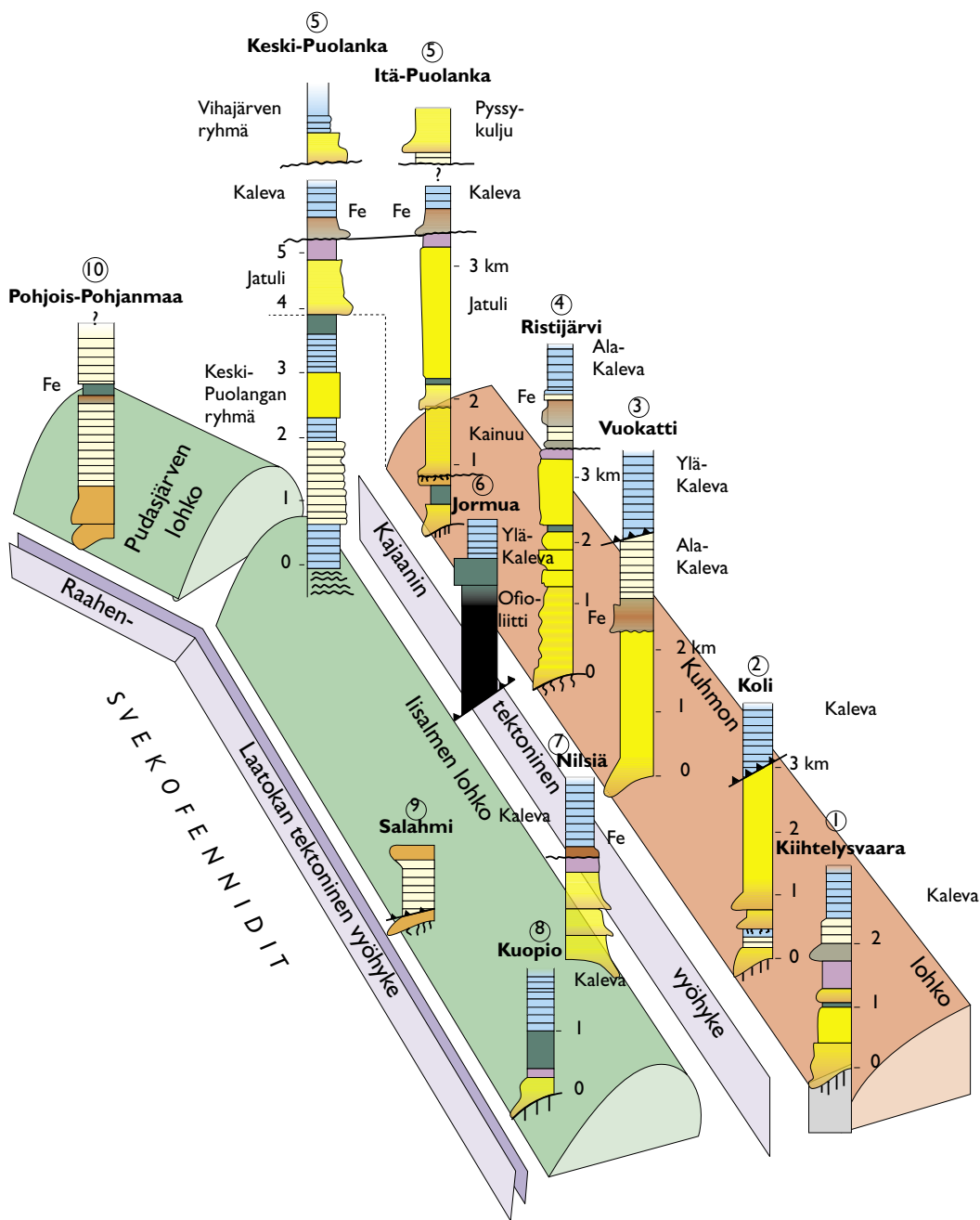
Karjalaisiin jaksoihin on tunkeutunut runsaasti eri ikäisiä metadiabaasisjuonia sekä varsinkin lähellä Svekofennidejä ja Oulu-

järven hiertovyöhykkeessä svekofennisiä syväkiviä (ks. Luku 8).

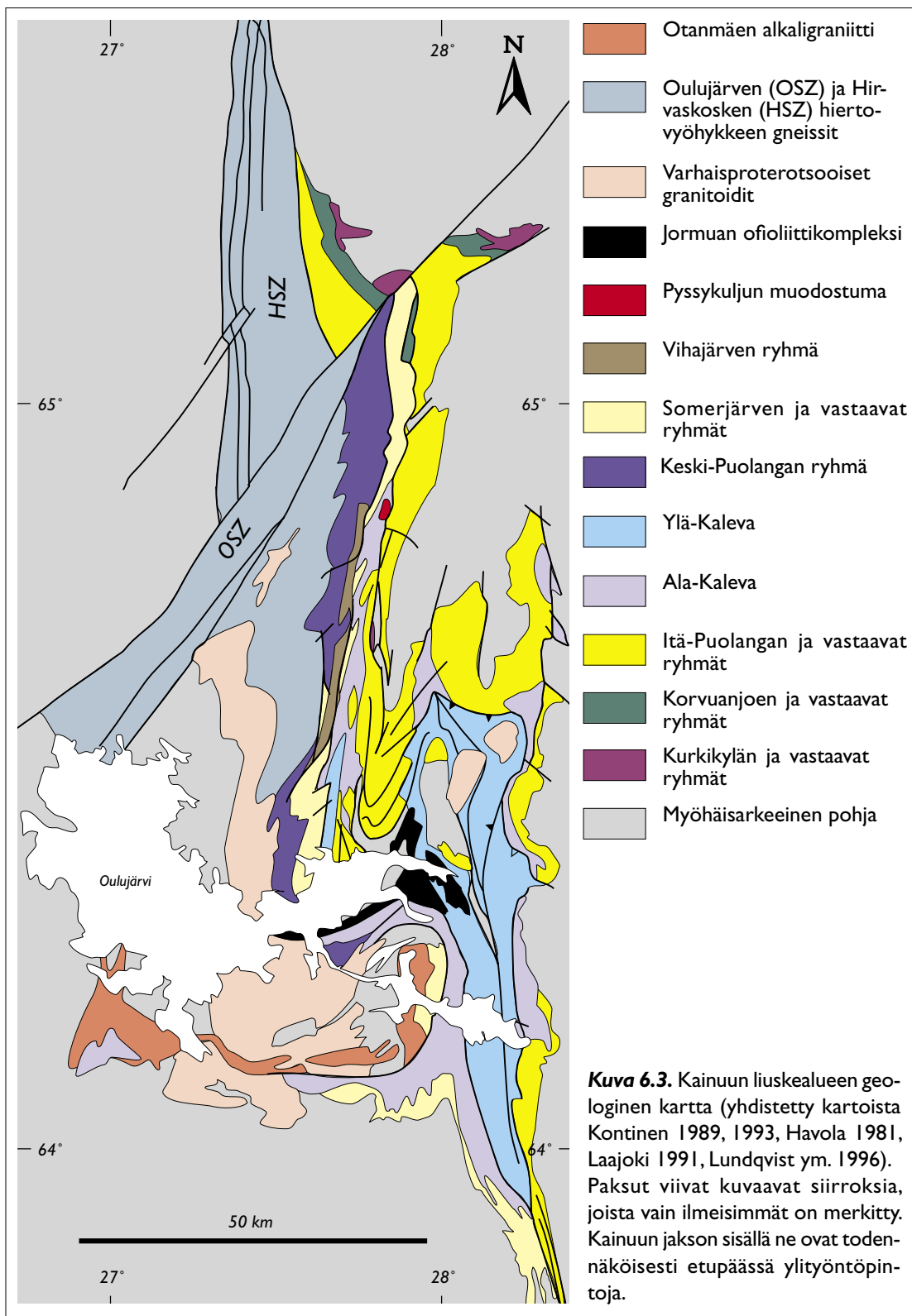
Seuraavassa käsitellään Pohjois-Karjalan, Kainuun ja Savon - Pohjois-Pohjanmaan liuskealueiden karjalaisia muodostumia (*Kuva 6.1*). Vaikka muodostumien historiallinen tyyppialue onkin Karjala, aloitetaan seuraavassa niiden kuvaus Kainuusta, jossa ne ovat monipuolisimmin edustettuina.

	Ylityöntö
	Gabro ja serpentiniitti
	Metavulkaniitti
	Rautamuodostuma (Fe)
	Metaturbidiitti (psammiittinen)
	Kiilleliuske - metaturbidiitti
	Dolomiitti
	Kvartsiitti, arkosiitti
	Breksiakonglomeraatti
	Konglomeraatti
	Regoliitti (kemiallinen)
	Regoliitti (fysikaalinen)
	Paragneissi
	Arkeinen pohja

Kuva 6.2. Karjalaisten liuskealueiden yksinkertaistetut kerrosjärjestykset kivilajisältöineen. Pylväiden lähteet (rengastetut numerot): 1 Pekkarinen (1979), 2 Kohonen ja Marmo (1992), 3 Gehör ja Havola (1988), 4 Kontinen (1986), 5 Laajoki (1991), 6 Pelttonen ym. (1996), 7 Paavola (1984), 8 Aumo (1983), 9 Korkiakoski ja Laajoki (1988), 10 Honkamo (1985).



Kuva 6.2.



6.2. Kainuun liuskealue

Kainuun liuskealue on noin 200 km pitkä, suhteellisen kapea (leveimmillään n. 40 km), lähes pohjois-eteläsuuntainen, Rautavaaralta Sotkamon, Ristijärven, Paltamon ja Puolangan kautta Pudasjärvelle ulottuva jakso. Se koostuu pääasiassa kvartsiiteista, turbiidiittisista metahiekkakivistä ja -peliiteistä (kiilleliuskeista). Svekofenninen poimutus puristi sen Kuhmon ja Iisalmen - Pudasjärven arkeesten kallioperälohkojen väliin (Kuva 6.3). Voimakkaasta poimutuksesta ja useista ylityönnöistä johtuen jakson pintakivet ovat pirstoutuneet useiksi tektonisiksi yksiköiksi ja huomattava osa alkuperäisestä jaksosta on tuhoutunut kokonaan. Deformaatio eteni lounaasta koilliseen kohti Kuhmon lohkoa.

Kainuun liuskealue voidaan jakaa tektonisesti ja stratigrafisesti kolmeen pääosaan. (1) *Itäisiin muodostumiin* luetaan Kuhmon lohkoa reunustavat, siinä vielä kiinni olevat eli ns. autoktoniset muodostumat tai tektonisesti suhteellisen vähän liikkuneet eli parautoktoniset pintakivet. (2) Jakson *keskiosa* koostuu ylityöntölaatoista ja sisältää mm. Jormuan ofioliitin. (3) *Läntiset muodostumat* ovat voimakkaammin poimuttuneita, siirrostuneita sekä metamorfoituneita kuin itäiset. Näistä Kajaanin eteläpuoleinen osa on osittain kiinni Iisalmen lohossa eli on tähän nähden autoktoninen. Oulujärven pohjoispuolella jakso on voimakkaasti metamorfoitunut, gneissiytynyt ja syväkivien lävistämä, eikä kerrostumisalustaa tunneta.

Kainuun liuskealueen itäiset muodostumat

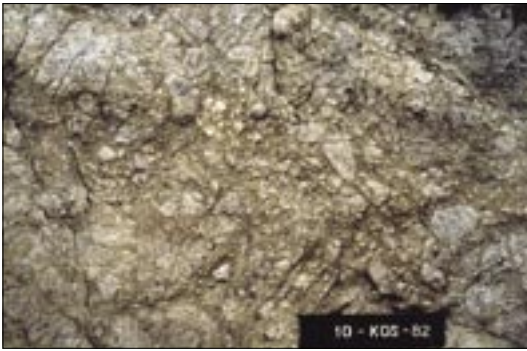
Nämä muodostumat ovat täydellisimmin edustettuna alueen koillisosassa, jossa ne jaetaan kolmeen ryhmään: (1) *Kurkikylän*, (2) *Korvuanjoen* ja (3) *Itä-Puolangan* ryhmät (Kuvat 6.2 ja 6.3).

Kurkikylän ryhmä ja siihen rinnastettavat kivet (Sariola)

Kurkikylän ryhmä muodostaa kapean, lähes itä-läntisen jakson aivan alueen koilliskulmassa (Strand 1988). Sen ja arkeisen pohjan välissä on muutaman metrin paksu fysikaalisen rapautuman kuori, jossa on havaittavissa seuraavat vyöhykkeet (Kuva 6.4a). (1) Arkeisen granitoidin *rakoiluvyöhyke*, (2) *in situ* eli paikoillaan oleva *breksiavyöhyke*, jossa aluksi esiintyy ympäristöstään vaikeasti erottuvia, kulkimikkaita granitoidikappaleita. Mentäessä ylöspäin murtokappaleet pienenevät ja serisiitistä rikkaan väliaineksen määrä kasvaa ja breksia muuttuu vähitellen (3) *breksiakonglomeraatiksi*, jonka aines on jo vähän kulkeutunut lähtöpaikaltaan. Tämä kontaktihavainto on tärkeä siksi, että se osoittaa Kurkikylän ryhmän kerrostuneen Kuhmon lohkon stabiloitumisen jälkeen, joka tapahtui n. 2 500 miljoonaa vuotta sitten. Vastaava fysikaalisen rapautuman ajankohta on ajoitettu Kuolan niemimaalla välille 2 450 - 2 330 miljoonaa vuotta (Sturt ym. 1994).

Kurkikylän ryhmän alaosan muinaisorien palloaines on peräisin Kuhmon lohkon syväkivistä. Tämän karkeaklastisen osan päällä seuraa jokien kerrostamia arkoosisia konglomeraatteja, hiekkoja ja savia. Sediimentisarja on siten selvästi ylöspäin hienoneva. Tähän vaiheeseen liittyvä vulkaaninen toiminta tuotti kuivalle maalle, paikoin suoraan arkeisen pohjan päälle purkautuneita basalttisia laavoja (Kuva 6.4b), joiden kokonaispaksuus on 300 - 500 m. Vulkanismin jälkeen tai osin samanaikaisesti sen kanssa kerrostui karkeita vulkaanisia soria, joiden palloaines on peräisin sekä edellä mainituista laavoista että arkeisesta pohjasta.

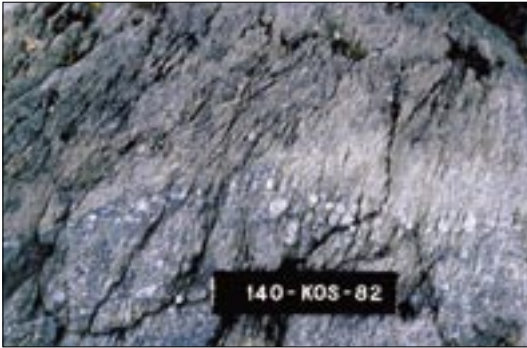
Kurkikylästä n. 50 km etelään tavataan *Hepokönkään muodostuma* ja siitä edelleen etelään *Honkajärven ryhmä*, jotka ovat molemmat rinnastettavissa Kurkikylän



A



B



C



D



E



F



G



H

Kuva 6.4.

Kuva 6.4. Kainuun liuskealueen pintakivien rakenteita.

(A) Kurkikylän ryhmän ja arkeeisen Kuhmon kompleksin välinen raja. Kuvan alaosassa vain vähän särkynyttä arkeeista granitoidia. Sen päällä fysikaalisesti rapautunutta granitoidia, mikä edustaa alinta proterotsooista sedimenttikiveä eli pohjabreksiaa. Laanhongikon muodostuma, Laanhongikko, Suomussalmi. Laatta 16,5 cm pitkä. Kuva Kari Strand.

(B) Kurkikylän ryhmän manteleista rikasta meta-laavaa. Matinvaaran muodostuma. Kurkikylä, Suomussalmi. Kuva Kauko Laajoki.

(C) Korvuanjoen ryhmän alinta, karkearakeista, kyaniitti- ja hematiittipitoista kvartsiittia, jossa kvartsimukulakerroksia. Paljakkavaara, Suomussalmi. Laatta 16,5 cm pitkä. Kuva Kari Strand.

(D) Itä-Puolangan ryhmän aaltotoimintavaltaisen merenrannan loivakulmaisesti ristikerroksellinen kvartsiitti. Paleovirtausdiagrammi osoittaa virtauksen olleen monisuuntaista. Siikavaaran muodostuma, Kometto, Puolanka. Laatta 16,5 cm. Kuva Paavo Härmä, mittaukset Kari Strand; foresets, ks. Kuva 2.6b.

(E) Kalevan pohjabreksia. Breksiakappaleet ovat Jatulin kvartsiittia. Torinkylän muodostuma, Rieskavaara, Sotkamo. Laatta 6 x 6 cm. Kuva Kauko Laajoki.

(F) Ala-Kalevan paksukerroksellista metaturbidiittia. Vaaleat kerrokset ovat alunperin hiekkaa, jonka raekoko pienenee kerrosten peltiittisiin yläosiin päin (vasemmalle). Losonvaara, Sotkamo. Kuokan pituus 70 cm. Kuva Kauko Laajoki.

(G) Jormuan ofoliittikompleksin levyjuonistoa. Kallio koostuu diabaasijuonista, jotka ovat tunkeutuneet toisiinsa. Sammakkolampi, Paltamo. Vasaran varren pituus n. 60 cm. Kuva Kauko Laajoki.

(H) Lähes gneissimäinen metaturbidiitti. Vaaleat kerrokset ovat alunperin massiivista hiekkaa, vaalean ruskeat savipitoista, laminaarista hiekkaa ja tummat savesta rikkaita kerroksia, joihin on kiteytynyt metamorfoosissa stauroliittia ja (vaalean punaista) granaattia. Puolankajärven muodostuma, Vihajärven tie, Puolanka. Vasaran pituus 30 cm. Kuva Kauko Laajoki.

ryhmään. Honkajärven ryhmä sisältää myös jäätikkösyntyisiä sedimenttejä (Strand ja Laajoki 1993). Honkalasta etelään ei Sumi-Sariolaa ole varmuudella tavattu, joskin Vuokatin alueen *Obravaaran ryhmä* (Gehör ja Havola 1988) saattaisi olla luettavissa siihen samoin kuin *Hyrnsalmen ryhmän* alaosan muinaisrapautuman päällä olevat *Syväjoen muodostuman* maasälpäiset kvartsiitit ja arkosiitit (Kontinen 1986).

Kurkikylän ryhmän kerrostumista seurasi voimakkaan kemiallisen rapautumisen aika. Tässä prosessissa helpoimmin rapautuvat mineraalit, erityisesti maasälvät hajosivat ja syntyi savi- ja kvartsipitoisia sedimenttejä, jotka metamorfoituivat serisiitti- ja osin kyaniittipitoisiksi kvartsiiteiksi.

Korvuanjoen ryhmä (Kainuu)

Korvuanjoen ryhmä koostuu lähes yksinomaan jokisyntyisistä sedimenteistä. Ryhmä on 800 – 1 200 metriä paksu ja alkaa juonikvartsimukulaaisella konglomeraatilla (Kuva 6.4c). Tämä vaihettuu lähes puhtaaksi orto-kvartsiitiksi (kvartsia > 95 %), joka muodostaa ryhmästä valtaosan. Korvuanjoen ryhmä on aineksensa osalta selvästi kypsempi kuin Kurkikylän ryhmä, mikä osoittaa, että se sai materiaalia em. kemiallisesta rapautumiskuoresta.

Itä-Puolangan ryhmä ja sitä vastaavat kvartsiitit (Jatuli)

Itä-Puolangan ryhmä kerrostui epäjatkuvasti Korvuanjoen ryhmän päälle. Tästä ovat osoituksena sen alaosan konglomeraatit, jotka sisältävät runsaasti Korvuanjoen ryhmästä peräisin olevia kvartsiittipalloja (Laajoki 1988a). Korvuanjoen ryhmän sedimenttien on siten pitänyt ehtiä kivettyä sen verran, että ne ovat voineet syöttää kivipalloja jokikuljetukseen.

Itä-Puolangan ryhmä koostuu pääasiassa kypsistä kvartsiiteista. Sen sisällä on havaittavissa selvä kehitys alaosan jokisedimenteistä

yläosan merellisiin sedimentteihin. Muinaismeren vedenpinnan korkeus on vaihdellut tuottaen neljä kerrostumissarjaa, joiden sisällä on erotettavissa joki-, aalto- (Kuva 6.4d) ja vuorovesitoiminnan kerrostamia yksiköitä (Strand 1993, kuva 13). Eräaseen matalanveden vaiheeseen liittyi myös vähäistä vulkaanista toimintaa.

Itä-Puolangan ryhmän kvartsiitteja voi seurata Etelä-Paltamoon, josta ne kääntyvät poimuillen koilliseen Ristijärvelle ns. *Hyrynsalmen ryhmänä* (Kontinen 1986), ja täältä edelleen Sotkamoon *Vuokatin ryhmänä* (Gehör ja Havola 1988). Hyrynsalmen ryhmä voidaan jakaa kahteen transgressiiviseen, eli mantereelle etenevän meren kerrostamaan sarjaan, joita erottaa ohut metalaavayksikkö. Ylinnä on dolomiitteja ja fylliittejä, jotka osoittavat, että sedimentaatiovaihe päättyi mannerjalustan olosuhteisiin. Ryhmän kokonaispaksuus on yli 3 600 m.

Kaleva

Edellä kuvattujen muodostumien päällä olevia, pääasiassa peliittisiä ja psammiittisia kiviä on perinteisesti kutsuttu yhteisnimellä Kaleva. Kainuussa *Kalevan tyyppialue* on Nuasjärven seutu, josta aikanaan Väyrynen (1928, 1933) kuvasi ns. Rieskavaaran breksian Kalevan ja Jatulin välistä epäjatkuvuutta ilmaisevana ”pohjakonglomeraattina” (Kuva 6.4e). Tämä on paljastuneena myös Ristijärven Juurikassa ja Lehtovaarassa, missä pohjabreksia ja pohjakonglomeraatit lepäävät suoraan jatulisen kvartsiitin päällä ja ovat merkinä Jatulin ja Kalevan rajasta (Kontinen 1986).

Kainuun Kaleva voidaan jakaa kivilajeiltaan hyvin vaihtelevaan alaosaan ja homogeeniseen yläosaan. Ala-Kalevan alinta osaa luonnehtivat erilaiset breksia-konglomeraatit ja konglomeraatit, joissa kivilajifragmentit ja -pallot ovat moninaisia: arkeisen pohjan gneissejä, graniittisia kiviä, jatulisia kvartsiitteja sekä erilaisia liuskeita ja amfiboliitteja. Konglomeraattien lisäksi

tavataan massiivisia, turbidiittisia meta-hiekkakiviä ja -peliittejä (Gehör ja Havola 1988). Näitä seuraavat *Kainuun jakson* Kalevalle luonteenomaiset kvartsiraitaiset rautamuodostumat, jotka sisältävät *rautamineraali- ja serttiraitoja* (Laajoki ja Saikkonen 1977, Gehör 1994). Suurimmat esiintymät ovat Sotkamon Tuomivaara ja Puolangan Väyrylänkylän rautamuodostumat. Tavallisimmat rautamineraalit ovat magnetiitti, rauta-amfibolit ja joskus myös rautakarbonaatti eli sideriitti. Muodostumat sisältävät 1 – 2 cm paksuja *fosforiittiraitoja*, joita ei ole tavattu missään muualla näin vanhoista muodostumista.

Rautamuodostumien päällä on usein sulfidipitoisia mustaliuskeita, jotka vaihtuvat kiilleliuskeiksi. Paikoitellen tavataan myös breksiakonglomeraattia ja massiivisia metahiekkakiviä, jotka ovat paksuimmillaan (yli 600 m) Ristijärven Väisälässä (Kontinen 1986). Ala-Kalevan kerrostumisen katsotaan liittyvän Jatulin jälkeiseen maankuoren lohkoutumiseen, jolloin sedimenttialtaaseen syntyi jyrkkiä siirroskynnyksiä tai -törmä. Breksiakonglomeraatit edustavat kynnyksiin liittyviä vedenalaisia kivivyyryjä ja massiiviset hiekat turbidiittikerrostumia. Rautamuodostumat ovat kemiallisia sedimenttejä, joiden pääainekset rauta ja piidioksidi ovat peräisin merenalaiseen vulkanismiin liittyvistä liuoksista.

Ylä-Kaleva koostuu pääasiassa kvartsisista rikkaista, paksukerroksellisista, kiillepitoisista, massiivisista tai kerrallisista metahiekkakivistä ja ohutkerroksellisista kiilleliuskeista. Näiden ainekset kerrostuivat voimakkaista turbidiittivirtauksista syvään veteen tai ainakin myrskytoiminnan vaikutuspinnan alapuolelle. Kontinen (1986) pitää Ala- ja Ylä-Kalevan rajaa asteittaisena, sedimenttisenä, mutta Lundqvist ym. (1996) tulkitsevat sen tektoniseksi siirroskontaktiksi.

Pyssykuljun ja Naapurivaaran muodostumat Puolangan Pyssykulju on pieni vaara, joka on joka puolelta Kalevan kivien ympäröimä. Vaaran alaosassa esiintyy ohutkerroksellista, massiivista, turbidiittista metahiekkakiveä ja kiilleliusketta. Näiden päällä seuraa ohut ristikerroksellinen, kvartsiittipalloinen konglomeraatti ja tämän jälkeen puhdas ortokvartsiitti (Laajoki 1988b). Muodostumalle on tyypillistä hematiittipigmentistä johtuva punertava väri. Ainakin muodostuman alaosan kiilleliuskeen materiaali on neodyymiisotooppitutkimusten perusteella peräisin arkeeisesta kallioperästä (Kontinen ym. 1996). Toisaalta konglomeraatin palloaines on ilmeisesti jatulista.

Toinen vastaavanlainen punertava metahiekkakivi on Sotkamon Naapurivaaran muodostuma, jonka Gehör ja Havola (1988) ovat kuvanneet jokideltasedimenttinä. Muodostuma koostuu kuitenkin lähinnä massiivisista metahiekkakivistä, joten se saattaa olla myös turbidiittinen. Tämä muodostuma on Ala-Kalevan päällä, mutta sen suhde Ylä-Kalevaan voi olla tektoninen (siirrosten synnyttämä).

Kainuun liuskealueen keskiosa

Kainuun liuskealueen keskiosa koostuu etupäässä limittäin sijaitsevista Kalevan ja arkeisen pohjan tektonisista kiiloista, mistä syystä sen stratigrafiaa on erittäin vaikea selvittää. Alueeseen liittyy mm. *Talvivaaran sulfidipitoinen mustaliuske* (Loukola-Ruskeeniemi ja Heino 1996) ja Jormuan ofioliitti, joka ansaitsee oman kappaleensa.

Jormuan ofioliitti

Jormuan ofioliitti on maailmankuulu, koska se on ensimmäinen varhaisproterotsooinen (1 950 miljoonaa vuotta vanha, Peltonen ym. 1996) ofioliittikompleksi, jonka kiistatta edustaa merellistä kuorta (Kontinen 1987). Lisäksi se on ainoa tunnettu paikka maailmassa, jossa tavataan paljastuneena

varhaisproterotsooista vaippaa. Kompleksi koostuu kahdesta 1 – 4 km leveästä ja yli 25 km pitkästä tektonisesta, arkeisen pohjan ja Kalevan ylityöntölaattojen sekaan työntyneestä (imbrikoituneesta) kalliolohkosta. Kompleksi on noin 1 000 m paksu ja sisältää kerroksellista kumulaattiosaa lukuunottamatta kaikki merenpohjalle tyypilliset osat (Kuva 6.5):

- (1) *alinna oleva serpentiiniitti edustaa Maan muinaista vaippaa, jota tunkeutui venytetyn mantereellisen kuoren repeämään*
- (2) *gabrointruusiot, jotka tunkeutuivat serpentiiniittiin*
- (3) *tholeiittinen levyjuonisto (Kuva 6.4g), joka on vakuutettava litologinen todiste merellisestä kuoresta ja merenpohjan leviämisestä*
- (4) *mafiset tyynylaavat; sekä*
- (5) *ylinnä olevat syvänveden sedimentit; sertit (kemialliset kvartsisäostumat), karbonaattikivet, mustaliuskeet.*

Näiden lisäksi on Jormuasta löydetty nykyisillä valtamerten selänteillä tavattavien granitoidien kaltaisia metatrondhjemiitteja.

Kainuun liuskealueen läntiset muodostumat

Keski-Puolangan ryhmä ja läntiset paragneissit

Kainuun liuskealueen länsireuna Oulujärvestä pohjoiseen on poikkeuksellinen siinä suhteessa, että se sisältää paksun, pystyasentoon poimuttuneen Keski-Puolangan ryhmän, jolle ei löydy vastinetta muualta Kainuusta (Laajoki 1986). Ryhmä muistuttaa Kuusamon jakson alimpia osia, jotka siellä

tunnetaan Ala-Lapponina. Keski-Puolangan ryhmän kerrostumisalustaa ei tunneta, sillä ryhmän alimmat osat (*Kuva 6.4b*) vaihettu-
vat asteittain paragneiseiksi.

Keski-Puolangan ryhmä alkaa synnyl-
tään turbidiittisella hiekka-peliittiosalla,
jonka päällä seuraa myrskyn kerrostamia
semipeliittejä (Laajoki ja Korkiakoski 1988).
Näitä seuraa n. 800 m paksu, läpeensä
ristikerroksellinen, maasälpäpitoinen muo-
dostuma ja ylinnä matalan meren mutia
ja hiekkoja sekä paikallisia lapillituffeja.
Kokonaisuudessaan ryhmä edustaa allasta,
jossa sedimentaatio-olosuhteet muuttuivat
asteittain mannerjalustan ulko-keskiosista
aivan rannanläheiseen, matalanveden ym-
päristöön.

Ryhmän länsi- ja pohjoispuolella, aina
Posiolle asti, tavataan kiille-, maasälpä- ja
kvartsiittigneisejä, jotka pääosin edustavat
Keski-Puolangan ryhmän voimakkaimmin
deformoituneita osia.

Tahkoniemen ryhmä

Paltamon Tahkoniemessä tavataan alle 500
m paksu sarja arkoosisia ja vulkaanisia
kiviä, jotka ovat kerrostuneet arkeeseen
gneissigraniitin päälle (Kärki 1988). Nämä
saattavat vastata Sumi-Sariolaa, samoin kuin
Varisniemen emäksiset laavakivet ja niihin
liittyvät metakonglomeraatit ja arkosiitit.

Somerjärven ryhmä ja siihen rinnastettavat kivet

Somerjärven ryhmä on hyvin samankaltai-
nen kuin Kainuun itäiset jatuliset muodos-
tumat. Ryhmä alkaa jokikonglomeraatilla,
jonka päällä seuraavat paksut, puhtaat kvart-
siitit. Ylinnä on dolomiitteja ja vulkaanispe-
räisiä sedimenttejä.

Etelämpänä, Oulujärven pohjoispuolella,
kallioperä on pilkkoutunut useisiin ylityön-
tölaattoihin, joiden paksut kvartsiitit, esim.
Melalahden ryhmä (Kärki 1988) vastaavat
Jatulia. Näiden päällä seuraa dolomiitteja,
kiilleliuskeita ja mustaliuskeita.

Matalasuon ryhmä ja vastaavat kivet (Kaleva)

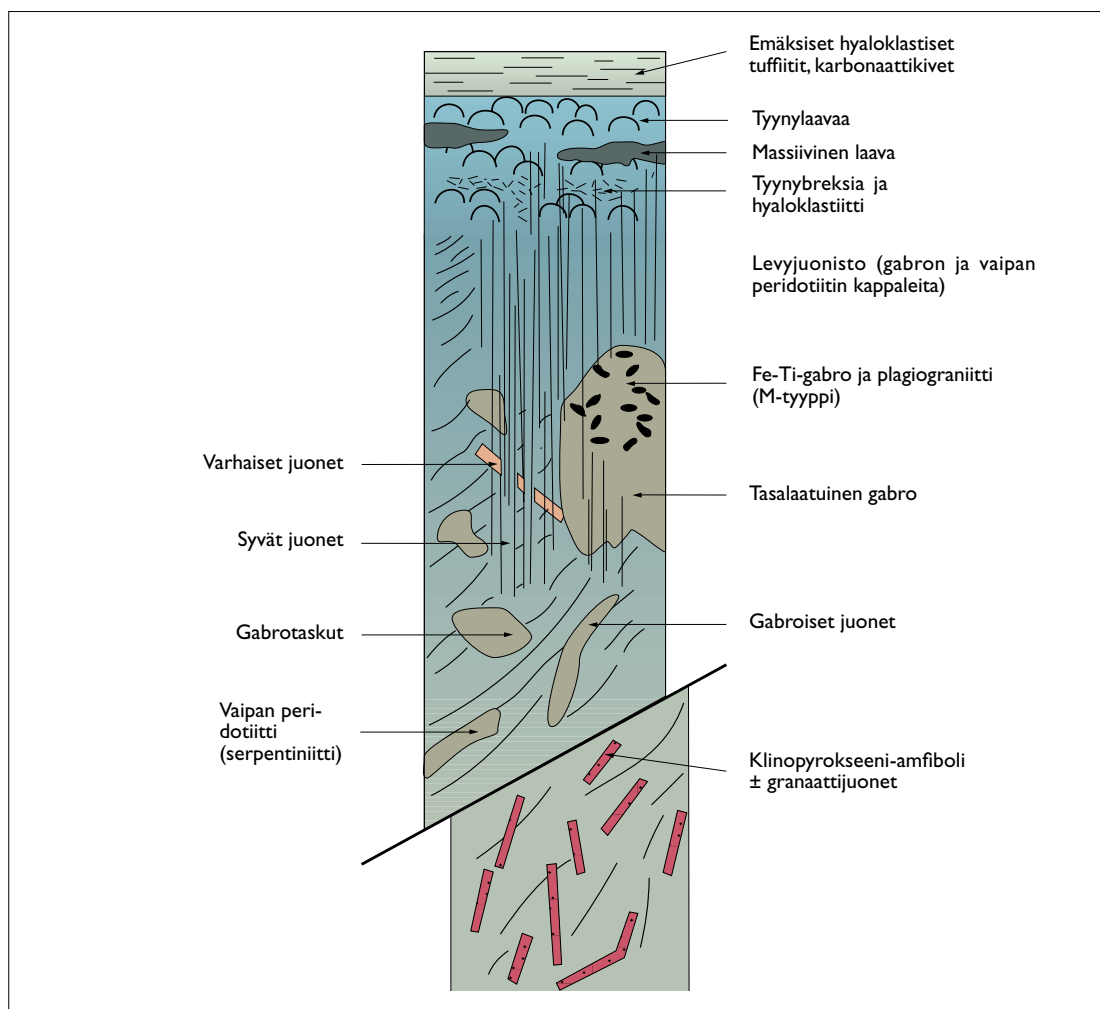
Melalahden alueella Jatulin dolomiittien
päällä seuraa erilaisia konglomeraatteja ja
metahiekkakiviä sekä peliittejä, jotka voi-
daan rinnastaa jakson itäosan Ala-Kalevaan.
Näiden päällä seuraa Ylä-Kalevan kaltaisia
mustaliuskeita, massiivisia hiekkoja ja kong-
lomeraatteja.

Vihajärven ryhmä

Tämän ryhmän katsottiin aikaisemmin sijoit-
tuvan kerrosjärjestyksessä Keski-Puolangan
ryhmän päälle ja Somerjärven ryhmän alle
eli kerrostuneen edellisen jälkeen ja ennen
jälkimmäistä. Uudet neodyymi-isotooppi-
tulokset (Kontinen ym. 1996) viittaavat
kuitenkin siihen, että Vihajärven ryhmän
peliittinen sedimenttiaines olisi nuorta, Ylä-
Kalevaan rinnastettavaa. Ryhmän primäärit
kontaktit eivät ole paljastuneena, joten sen
suhdetta ympäristöönsä ei voida todentaa.
Rakenteellisesti se muodostaa kapean
synkliinin, jonka läntinen kylki rajoittuu
Keski-Puolangan ja itäinen Somerjärven
ryhmään.

Vihajärven ryhmä alkaa polymiktisellä
jokikonglomeraatilla, jonka kvartsiitti-,
liuske- ja vulkaniittipallot ovat peräisin
Keski-Puolangan ryhmästä. Näitä seuraa
ristikerroksellinen kvartsiitti, joka vaihet-
tuu asteittain peliittiseksi yksiköksi. Tämä
vaihettuma edustaa myrskyvaltaisen mu-
taisen mannerjalustan sarjaa, jollaista ei
ole toistaiseksi kuvattu muualta Suomesta
(Kangas 1985). Siten sitä ei voida aivan
suoraan rinnastaa esimerkiksi perinteiseen
Kalevaan.

Vihajärven ryhmän alaosaan mahdolli-
sesti rinnastettavaa konglomeraattia ja kvart-
siittia esiintyy Pudasjärven Jokijyrkällä sekä
Oulu - Kajaanin tien leikkauksessa Paltamon
Kivesvaaran eteläpuolella.



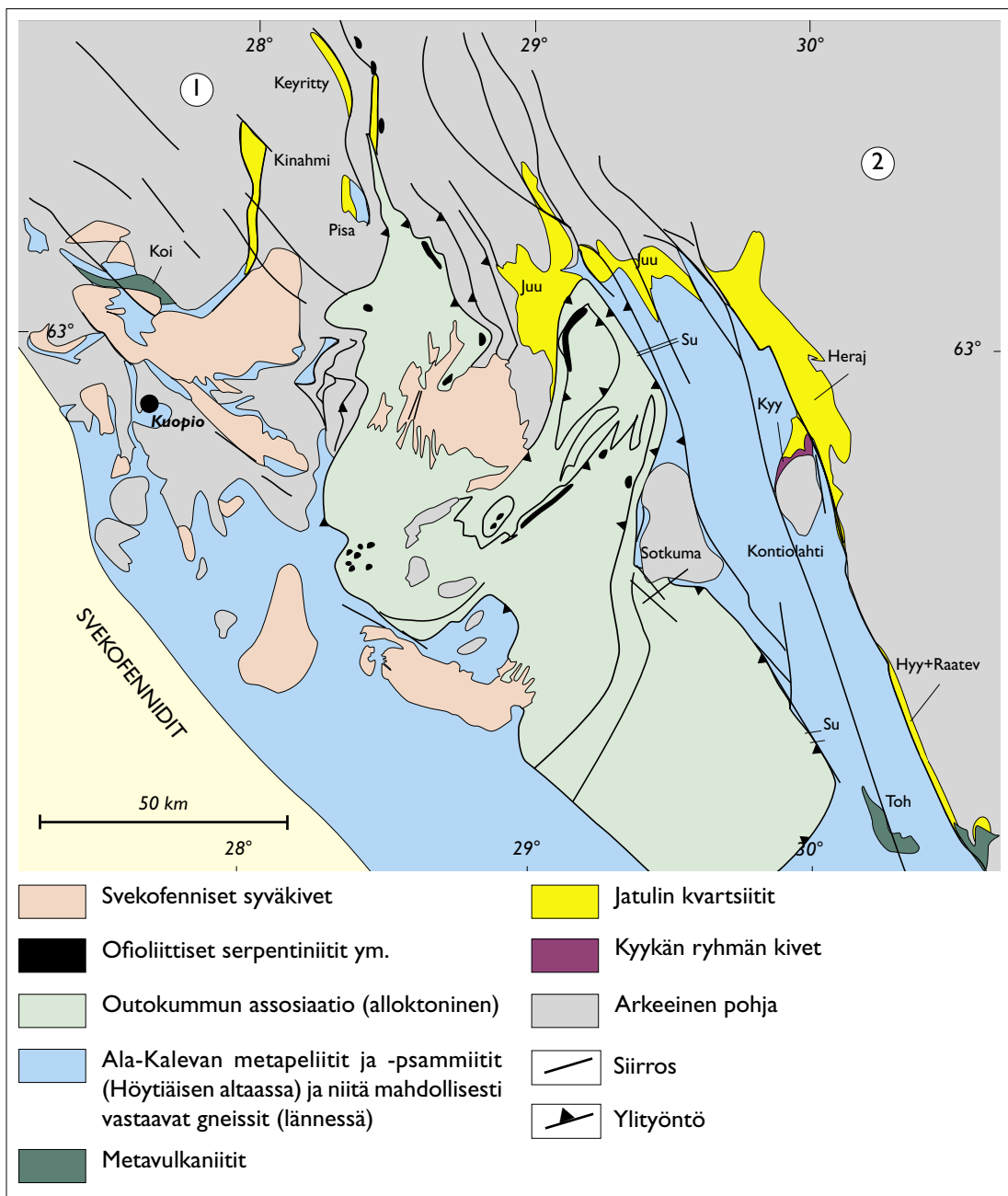
Kuva 6.5. Jormuan ofoliittikompleksin kerrosjärjestys (Peltonen ym. 1996, kuva 3).

Kainuun liuskealueen metamorfoosi ja tektoniikka

Kainuun liuskealueen itäreuna on metamorfoitunut vihreäliuskefasieksen - aliamfiboliittifasieksen olosuhteissa, mistä osoituksena on se, että täällä metalaavat sisältävät kloriittia ja vaaleaa aktinoliittista amfibolia. Metamorfoosiaste kasvaa länteen, jossa metabasiitit ovat amfiboliitteja ja jossa metapeliittejä luonnehtivat granaatti- ja stauoliittiporfyroblastit. Oulujärven ja Hirvaskosken hiertovyöhykkeessä metamorfoosiaste oli vielä korkeampi ja siellä

kivet ovat erilaisia gneissejä. Metamorfoosin lämpötila ja paine olivat Keski-Puolangalla 500 – 600 °C ja 2,5 – 6 kb (Tuisku ja Laajoki 1990) ja Nuasjärvellä n. 550 °C ja 5 kb (Gehör 1994). Jormuan ofoliitin peridotiitin metamorfoosiolosuhteiksi on esitetty 480 °C/2 kb – 530 °C/5 kb (Peltonen ym. 1996). Metamorfoosin huippu saavutettiin n. 1 800 miljoonaa vuotta sitten.

Kainuun jaksoa luonnehtii kaksivaiheinen plastinen poimutus- ja ylityöntövaihe ja tätä seurannut hauraampi hiertotektoniikka. Ensimmäisessä vaiheessa pintakivet poimutuivat lounais-koillissuuntaisen puristuksen



Kuva 6.6. Pohjois-Karjalan liuskealueen yksinkertaistettu geologinen kartta (pääosin Lundqvistin ym., 1996, kartan mukaan, eteläreuna Simosen, 1980, kartasta). Ryhmien ja muodostumien lyhenteet: Kyy = Kyykän, Heraj = Herajärven, Raatev = Raatevaaran ja Hyy = Hyypiän ryhmät, Juu = Juuanvaarojen kvartsiitit, Toh = Tohmajärven vulkaaninen kompleksi, Koi = Koivusaaren vulkaaninen muodostuma. Arkeiset lohkot: 1 Iisalmi, 2 Kuhmo. Su = Suhmuran ylityöntö.

vaikutuksesta luode-kaakkosuuntaisiksi makaaviksi poimuiksi ja ylityöntölaatoiksi, jotka seuraavassa vaiheessa poimuttuivat lähes pystyasentoon. Tämän jälkeen jakson pohjoisosaa joutui Hirvaskosken pohjois-eteläsuuntaisen hiertovyöhykkeen muokkaamaksi. Lopuksi puristus muuttui pohjois-eteläsuuntaiseksi ja synnytti Oulujärven ja vastaavat hiertovyöhykkeet ja siirrokset sekä niihin liittyvät poimut ja muut rakenteet.

6.3. Pohjois-Karjalan liuskealue

Pohjois-Karjala on karjalaisten muodostumien klassinen alue. Paitsi historiallisessa ja yleisessä stratigrafisessa mielessä alue on erityisen tärkeä siksi, että siellä esiintyy hyvin säilyneitä muinaisia jäätikkösyntyisiä sedimenttikiviä, Sariolan päälle kehittynyt muinaisrapautuma ja Outokummun ofio-liittiseurue kuparimalmeineen. Pohjois-Karjalan liuskealue käsittää Pohjois-Karjalan, Outokummun, Juuanvaarojen ja Nilsiän varhaisproterotsooiset liuske- ja kvartsiittijaksot eli karjalaisen kallioperän pintakivet Kuopiosta itään ja kaakkoon. Alue on kokonaisuudessaan rakenteellisesti monimutkainen. Muodostumien alloktonisuusaste kasvaa Kuhmon lohkokosta kohti Svekofennidejä. Alueen sisällä voidaan erottaa seuraavat osa-alueet (Kuva 6.6):

- (1) *Kapea, Kuhmon lohkoa reunustava, kvartsiittivaltainen, autoktoninen vyöhyke, jota seuraavassa kutsutaan pääkivilajinsa mukaisesti itäiseksi kvartsiittijaksoksi.*
- (2) *Edellisen länsipuolella oleva Höytiäisen allas, joka ainakin osin saattaa olla alloktoninen (Kohonen 1995) ja koostuu pääasiassa Kalevan metapeli-*

teistä ja metagrauvakoista.

- 3) *Itä-Savon provinssi, joka koostuu alloktonisista muodostumista ja sisältää Outokummun seurueen.*
- 4) *Pisan - Keyrityn tektonisoitunut kvartsiittivyöhyke.*
- 5) *Kinabmin kvartsiittijakso.*

Pohjois-Karjalan itäinen kvartsiittijakso

Itäinen kvartsiittijakso on pääosin kiinni kerrostumisalustassaan eli Kuhmon lohkokossa, mutta se on poimuttunut ja kääntynyt pystyyn siten, että se viettää kokonaisuudessaan jyrkästi (n. 50 – 70°) lounaaseen. Jakso koostuu Sariolan ja Jatulin kivistä, joita on tutkittu erityisesti Kiihtelysvaaran ja Kolin alueella (Pekkarinen 1979, Marmo ym. 1988, Kohonen ja Marmo 1992).

Viesimon ja Kyykän ryhmät (Sariola)

Arkeisen pohjan ja proterotsooisen sarjan välinen epäjatkuvuus on nähtävissä erinomaisesti Kiihtelysvaaran - Tohmajärven alueella. Pekkarinen (1979) on kuvannut täältä useita pohjabrekksioita ja -konglomeraatteja, joiden materiaali on peräisin Kuhmon lohkokosta. Näiden päällä seuraa arkooseja. Samanlaisia muodostumia esiintyy myös jakson keski- ja pohjoisosissa. Kontiolahden doomin pohjoisreunalla esiintyy *Urkkaavaaran muodostuma*, joka sisältää glasigeenisii (jäätikkösyntyisiä) muodostumia (Marmo ja Ojakangas 1983, 1984). Kerrallisten hiekkojen ja silttikivien joukossa on moreenin kaltaista kiveä, *diamiktiittiä* n. 10 m paksuna yksikkönä (Kuva 6.7a). Silttikivissä esiintyy yksittäisiä kivilajipalloja, jotka on tulkittu vajokiviksi eli jäälautoista tai -vuorista vesialtaan pohjalle tippuneiksi mukuloiksi (Kuva 6.7b).

Hokkalammen muinaisrapautuma

Kerrosjärjestyksessä alimpina olevien sario-laisten kivien yläosassa on merkittävä muinainen rapautumakuori, joka tällä hetkellä koostuu serisiitistä ja alumiinisilikaateista (kyaniitti, andalusiitti, kloritoidi) rikkaista kivistä (*Kuva 6.7c*). Rapautuma on vahvimillaan 80 m paksu ja sen alumiinioksidi-pitoisuus kasvaa ylöspäin aina 30 %:iin. Rapautuma on syntynyt kuumassa ja kosteassa (trooppisessa) ilmastossa (Marmo 1992).

Herajärven ryhmän alaosa (Kainuu)

Hokkalammen muinaisrapautuman päällä seuraa aluksi serisiittikvartsiiittia, jossa on usein kvartsipalloisia konglomeraattiväli-patjoja. Tämä osa on saanut materiaalinsa em. rapautumasta. Sen päällä tavataan puhtaampaa ortokvartsiiittia, mm. 250 m paksu *Kolin kvartsiiitti*. Tämän vaiheen kivet näyttävät puuttuvan Kiihtelysvaaran alueelta, mikä viittaa siihen, että Kolin alueella oli tähän aikaan suuri joenuoma, kun taas Kiihtelysvaaran seutu oli ilmeisesti eroosiotason yläpuolella.

Raatevaaran ja Hyypiän ryhmät ja Herajärven ryhmän yläosa (Jatuli)

Kolin kvartsiiitin kerrostumisen jälkeen seurasi eroosiokausi, joka kulutti Herajärven ryhmän alaosan kvartsiiitteja. Uusi sedimenttikierro alkoi konglomeraateilla ja karkeaklastisilla hiekkakivillä, joiden aines on peräisin näistä muodostumista. Kierro tuotti pohjoisessa aluksi paksun arkoosisen *Jeron muodostuman* (n. 1 000 m) ja sitten kypsemmän *Puson kvartsiiittimuodostuman* (n. 1 200 m) (Kohonen ja Marmo 1992).

Arkosiitti näyttää puuttuvan etelässä, jossa Raatevaaran ryhmä alkaa kvartsiiitilla. Tämän päälle purkautui ilmanalaisesti n. 80 m paksu metavulkaniitti, *Koljolan muodostuma*, ilmeisesti n. 2 100 miljoonaa vuotta sitten (Pekkarinen ja Lukkarinen 1991). Eroosiovaiheen jälkeen kerrostui jälleen

Kuva 6.7. Pohjois-Karjalan ja Kuopion - Pohjois-Pohjanmaan kivilajeja.

(A) Heikosti lajittunut diamiktiitti, jossa kulkimikaaat, vaaleat fragmentit ovat arkeista granitoidia. Urkkavaaran muodostuma, Urkkavaara, Kontiolahti. Laatta 6 x 6 cm. Kuva Kauko Laajoki.

(B) Yksittäinen vajokivi kerrallisessa metaturbidiittissa. Kerrokset nuorenevat ylöspäin. Urkkavaaran muodostuma, Urkkavaara, Kontiolahti. Laatta 6 x 6 cm. Kuva Kauko Laajoki.

(C) Hokkalammen muinaisrapautuman kyaniittikvartsiiittia, jossa yksittäisiä rapautumisessa säilyneitä kvartsimukuloita ja yksi tumma turmaaliinipallonen. Hokkalampi, Kontiolahti. Laatta 6 x 6 cm. Kuva Kauko Laajoki.

(D) Gneissiytynyt Kalevan turbidiitti. Leikkaavat juonet ovat kvartsia ja pegmatiittia. Humaljärvi, Heinävesi. Kuva Kauko Laajoki.

(E) Kajaanin ylityöntöpinta (kuvan keskellä kulkeva rakopinta). Kuvan alaosa on jatulista kvartsiiittia, jonka päälle on työntynyt arkeista gneissia. Kajoo, Juuka. Kuva Kauko Laajoki.

(F) Ohutkerroksellista Kalevan metaturbidiittia. Rahkamäen muodostuma, Rahkamäki, Kuopio. Kerrallisuus osoittaa kerrosten nuorenevan vasemmalle. Vasaran pituus 30 cm. Kuva Kauko Laajoki.

(G) Pudasjärven arkeisen alueen ja varhaisproterotsooisien Pohjois-Pohjanmaan liuskealueen välinen veitsenterävä kontakti. Laatan (12 cm) yläpuolella karkearakeista metaturbidiittia. Kuvan alaosan arkeisessa gneississä näkyy vaaleita kvartsijuonia. Kuva Mikko Honkamo.

(H) Metamorfoitunutta tyynytaavaa, jossa näkyy tyynyn ulkoreunan pienirakeinen jäähtymisauma muuta tummempana. Tyynyn kupera yläosa osoittaa laavapatjan yläosan olevan kuvassa ylös. Laatta 12 cm. Soidinharju, Ylikiiminki. Kuva Mikko Honkamo.



A



B



C



D



E



F



G



H

Kuva 6.7.

kvartsihiekkvoja, sitten paksuhko sarja dolomiitteja ja hiilipitoisia mutia, joiden seassa tavataan myös ohuita vulkaniittipatjoja (Pekkarinen 1979). Jatulin kehitys päättyi siten Kiihtelysvaaralla karbonaattien kerrostumiseen ja siihen läheisesti liittyvään vulkanismiin. Vastaavat kivet puuttuvat Kolin alueelta, mikä johtunee niiden leikkaantumisesta pois tektonisesti.

Höytiäisen allas

Höytiäisen allas on kapea poimutuksessa syntynyt allas, joka koostuu pääasiassa kiilleliuskeista ja turbidiitisista, kiillepitoisista metahiekkakivistä. Sen ja itäisen kvartsiittialueen kontakti on paikoin epäjatkuvaa siten, että Kiihtelysvaaran dolomiittisen sarjan päällä seuraa n. 50 m paksu turbidiittinen konglomeraatti, jossa palloaines on Jatulin kvartsiittia ja laavaa (Pekkarinen 1979). Tämän päällä seuraa kerrallista turbidiittista kvartsiittia ja sitten Höytiäisen altaan metapeliitit ja -grauvakat (Ward 1988). Paikoin tämä jyrkkä litologinen kontakti on ilmeisesti tektoninen, siirrosten synnyttämä. Kohonen (1995) tulkitsee sen kokonaisuudessaan muinaisen sedimenttialtaan siirrostuneeksi, portaittaiseksi reunaksi, jonka konglomeraatit edustavat useita eri stratigrafisia tasoja vanhempien konglomeraattien sijaitessa kauempana altaan keskiosissa.

Altaan eteläpäässä on merkittävä, n. 2 100 miljoonaa vuotta vanha *Tohmajärven vulkaaninen* kompleksi (Nykänen ym. 1994), joka sisältää sekä tyyny-laavoja että pyroklastisia tuhkia ja johon liittyy läheisesti *Hammaslabden kuparimalmi*. Altaan pohjoispäässä ovat itäiset Juuanvaarat, jotka koostuvat ilmeisesti itäiseen jaksoon rinnastettavista kvartsiiteista, mutta ovat näistä siirrosten erottamia (Kohonen ym. 1991).

Höytiäisen altaan metapeliitit ovat metamorfoituneet amfiboliittifasioksen olosuhteissa. Kiihtelysvaaran Heinävaaran staurolitiittikiilleliuskeesta on määritetty

metamorfoosin huipun lämpötilaksi 675 °C ja paineeksi 5 kb (Campbell ym. 1979).

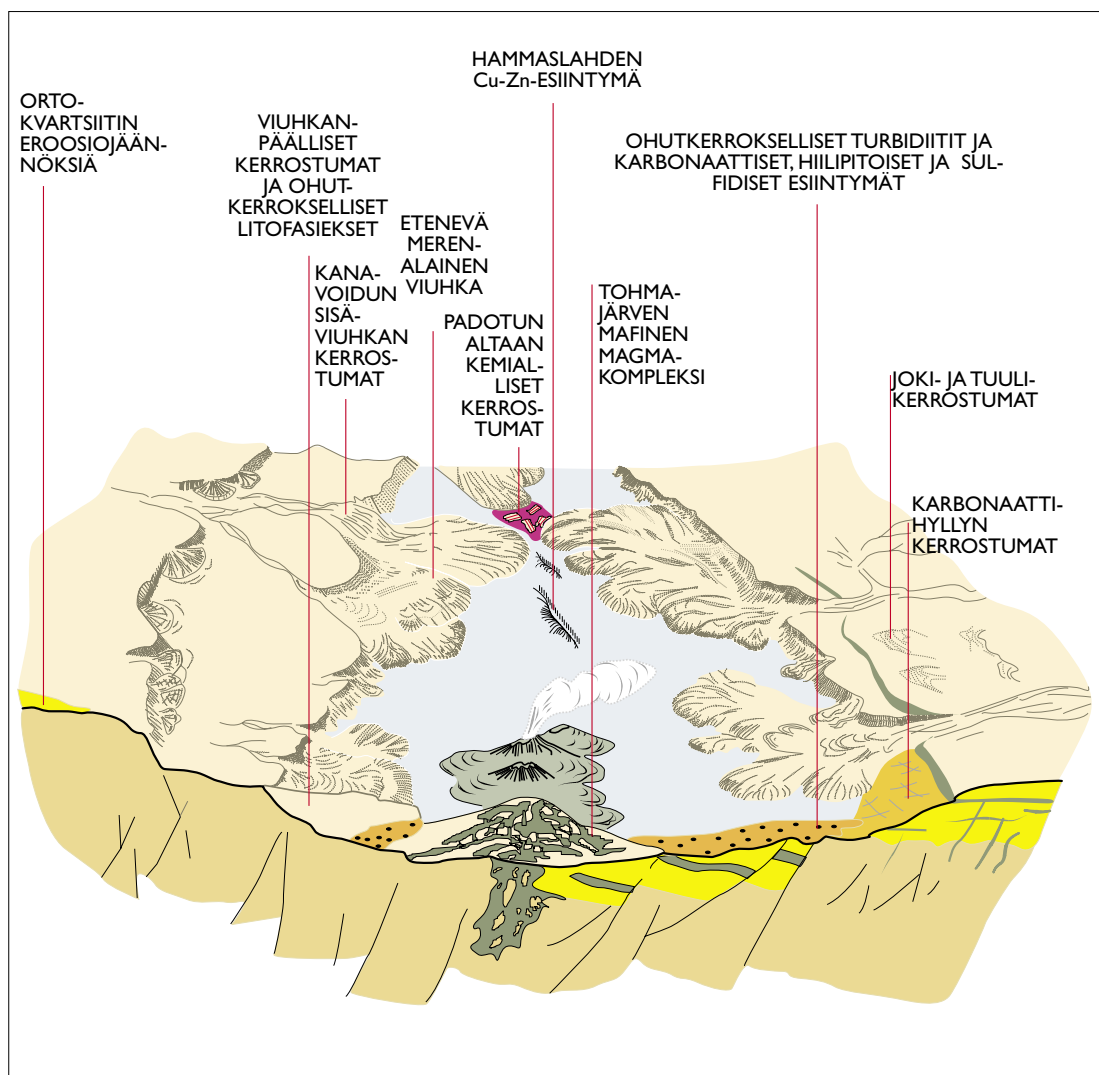
Ward (1986) tulkitsee Höytiäisen altaan mantereen sisäiseksi repeämäaltaaksi, joka sai materiaalinsa sekä idästä että lännestä. Tohmajärven alueen vulkaaninen toiminta liittyi ilmeisesti repeämän alkuvaiheeseen (*Kuva 6.8*). Kohonen (1995) liittää altaan kehityksen 2 100 – 1 880 miljoonaa vuotta sitten tapahtuneeseen meren avautumiseen ja sulkeutumiseen eli Wilsonin sykliin.

Itä-Savon provinssi

Itä-Savon provinssi käsittää Suhmuran ylityönnön ja Suvasveden välisen proterotsooisen alueen (*Kuva 6.6*). Sen muodostumat ovat vieraspaikkaisia eli alloktonisia ja koostuvat varsinkin vasten Svekofennidien rajaa pääasiassa gneisseistä (*Kuva 6.7d*) ja migmatiiteista. Pohjoisessa Itä-Savon provinssi rajoittuu läntisten Juuanvaarojen kvartsiittien välityksellä arkeeseen pohjaan.

Provinssin itäosan kivet ovat yksitoikkoisia metahiekkakiviä, lähinnä massavirtakerrostumia ja turbidiitteja (Ward 1988). Pohjoisessa esiintyvät läntisten Juuanvaarojen kvartsiitit ovat vielä osittain kiinni arkeisessa alustassaan (Huhma 1975), mutta niihin liittyy myös ylityöntöjä (*Kuva 6.7e*). Suhmuran siirroksen länsipuolella on suuri Sotkuman arkeinen doomi, jota reunustaa ohut kvartsiitti (*Kuva 6.6*).

Lännempänä esiintyy ns. *Outokummun assosiaatio*, joka koostuu useista ylityöntölaatoista ja sisältää tunnusomaisen serpentiniitti-ofioliittinauhan siihen liittyvine vulkaanisine kivineen ja kemiallisine sedimentteineen sekä Outokumpu-tyyppisine *kuparimalmeineen* (Koistinen 1981). Alloktonisia kiviä esiintyy erityisen runsaasti Heinäveden alueella, jossa ylityöntölaatat sisältävät sekä arkeisia pohjagneissejä, liuskeita ja gneissejä että ilmeisesti Sariolaan -Jatuliin rinnastettavia suprakrustisia kiviä (*Kuva 6.9*).



Kuva 6.8. Höytiäisen altaan kehitys (Ward 1988, kuva 10).

Pisan - Keyrityn jakso

Pisan - Keyrityn jakso muodostaa kapean tektonisoituneen kiilan hiertyneiden arkeisten gneissien keskellä. Pisan alue on merkittävä siksi, että siellä esiintyy huomattavan paljon dolomiittia ja että se muistuttaa kivilajiassosiaatioltaan Kainuun liuskevyöhykettä (Paavola 1984). Keyrityn kvartsiitti on voimakkaasti deformatunutta ortokvartsiittia.

Kinahmin kvartsiittijakso

Kinahmin kvartsiittijakso on kapea, pohjois-eteläsuuntainen, kvartsiittivaltainen jakso, joka sijaitsee Nilsiänsä länsipuolella. Sen itäreuna Pisan aluetta vasten on tektoninen, mutta länsireuna Iisalmen arkeista lohkoa vasten autoktoninen, tosin paikoin tektonisoitunut (Paavola 1984).

Jakson karjalainen sarja alkaa Sariolatyypisillä pohjakonglomeraateilla ja arkooseilla, joista Reittion esiintymä sijaitsee Iisalmen kompleksin sisällä. Näiden päällä

seuraa pääjaksossa hyvin puhtaita jatulisia kvartsiitteja, jotka kvartsi- ja kvartsiittipal-
loinen konglomeraatti jakaa kahteen osaan.
Kinahmin kvartsiittien itäpuolella on karbo-
naattipitoista kvartsiittia, kiille- ja mustalius-
ketta ja rautamuodostumaa. Näistä ainakin
viimeksimainittu lieene luettavissa Ala-Kale-
vaan. Kalevan ja Jatulin rajaa ei kuitenkaan
ole nähtävissä. Jaksoon on tunkeutunut dia-
baaseja, joista on mitattu n. 1 970 miljoonan
vuoden uraani-lyijykä. Jakson kivet ovat
metamorfoituneet vihreäliuske- tai ala-am-
fiboliittifasieksessa; rautamuodostumasta
tehdyt määritykset antavat metamorfoosin
lämpötilaksi n. 595 – 610 °C (Gehör ja Laa-
joki 1987).

6.4. Pohjois-Savon - Pohjois- Pohjanmaan liuskealue

Siirrymme nyt käsittelemään Iisalmen ja Pu-
dasjärven lohkojen lounaispuolella olevaa
pintakivialuetta. Sen eteläpäättä on kutsuttu
perinteisesti Savon liuskealueeksi ja Poh-
jois-Pohjanmaan liuskealuetta on käsitelty
omana kokonaisuutenaan. Viimeaikaiset
tutkimukset viittaavat kuitenkin siihen, että
nämä alueet ovat alunperin muodostaneet
yhtenäisen jakson, joka myöhemmin pilk-
koutui Oulujoen hiertovyöhykkeen vaiku-
tuksesta kahtia. Tässä kirjassa perinteinen
Savon jakso on jaettu kahteen osaan. Tässä
luvussa käsitellään jakson itäisiä osia (Kuo-
pion alue, Salahmin - Pyhännän alue), joita
kutsutaan Pohjois-Savon liuskealueeksi. Län-
tiset osat luetaan Svekofennideihin ja niitä
käsitellään Savon liuskealueena Luvussa 7.

Pohjois-Savon - Pohjois-Pohjanmaan
liuskealue on karjalaisista liuskealueista
läntisin. Tyypillistä sille on kivilajilohkojen
ylityöntyminen arkeista kallioperää vasten
sekä metamorfoosiasteen kasvaminen ja
vyöhykkeeseen tunkeutuneiden svekofen-
nisten syväkivien määrän lisääntyminen

kohti Svekofennidejä. Tästä syystä sen ja
Svekofennidien välistä rajaa ei toistaiseksi
ole voitu tarkalleen määrittää.

Kuopion alue

Kuopion alue on tunnettu arkeisista graniit-
tigneissidoomeistaan, joita reunustavat
karjalaiset muodostumat (Aumo 1983). Sarja
alkaa täälläkin jokisyntyisillä, mahdollisesti
Sariolan pohjakonglomeraateilla ja -arkoo-
seilla, joiden päällä tai suoraan pohjagneis-
sin päällä seuraa ohut (paksuus alle 200
m) jatulinen kvartsiitti ja sitten dolomiitti-
karsiyksikkö (paksuus 0 – 200 m). Tämän
jälkeen seuraa merkittävä vulkaaninen
Vaivasen muodostuma (paksuimmillaan
200 m), joka koostuu pääasiassa emäksisistä
tyynyraakenteisista metalaavoista. Metala-
van päällä seuraa paksu kiilleliuske-kiilleg-



Myöhäisemmät ylityöntöpinnat (ham-
mastus osoittaa ylityöntölaatan pohjan
ja nykyisen eroosiopinnan välistä rajaa
ja niiden kärjet sen suunnan, johon
ylityöntölaatan pohja painuu, ks. lähem-
min poikkileikkaus)



Varhaiset ylityöntöpinnat



Varhaisproterotsooisia granitoideja



Outokumpu-assosiaation kiviä
(kaavamaisesti)



Savon liuskeita (Kalevaa-svekofennisiä)

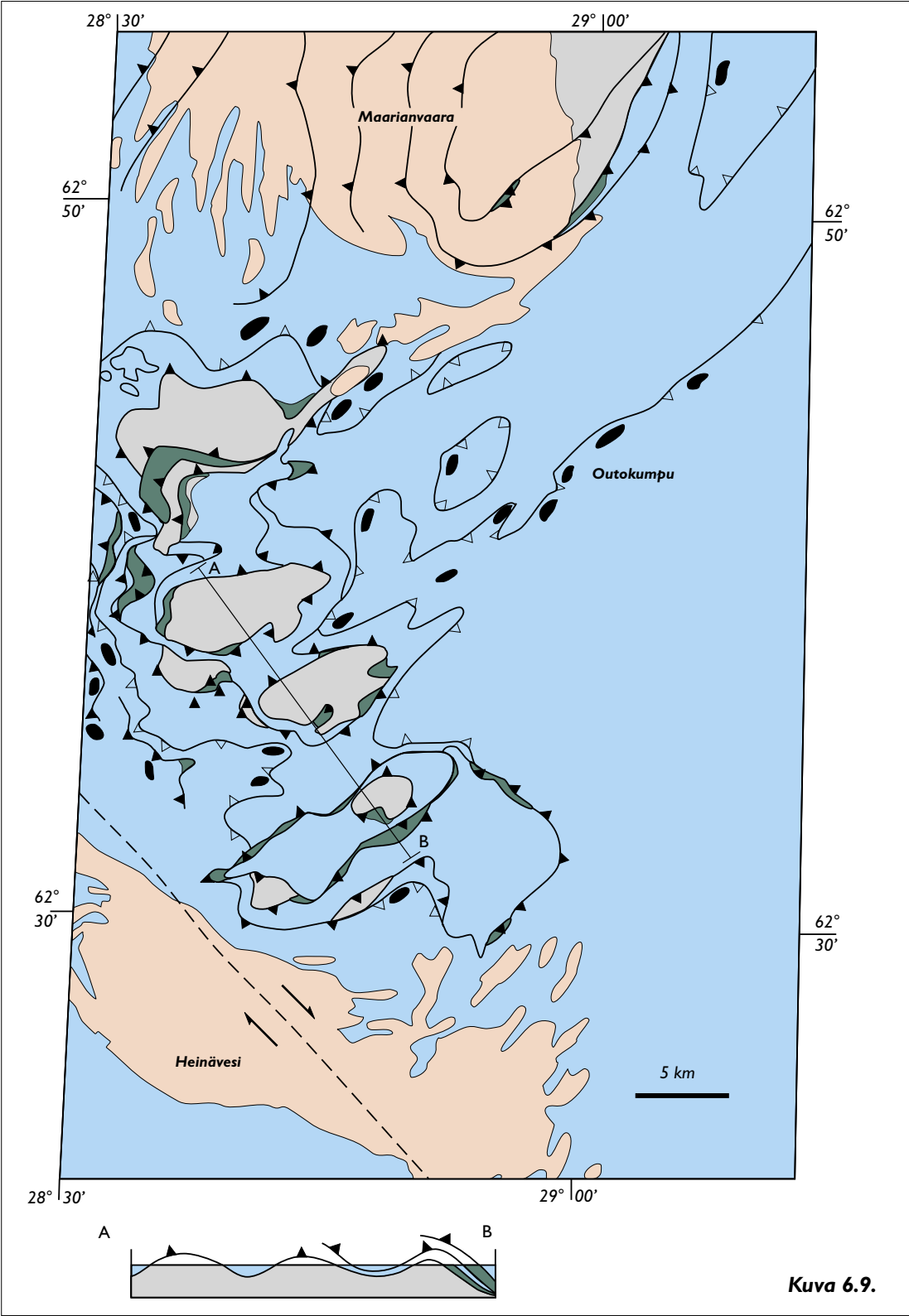


Pohjagneissiiä reunustavia epikontinen-
taalisia kiviä



Arkeinen pohjagneissi

Kuva 6.9. Heinäveden ja Outokummun alueen
ylityöntölaatat (yksinkertaistettu Koistisen,
1993, kuvan 29 mukaan). Kuvaan on lisätty
tekijän laatima profiilitulkinta poikki kolmen
pohjagneissidoomin olettaen, että doomit edus-
tavat samaa kivilajiyksikköä. Profiilin vaakaviiva
edustaa nykyistä eroosiotasoa.



Kuva 6.9.

neissiyksikkö (*Kuva 6.7f*), jossa on ohuita karbonaatti- ja mustaliuskevälipatjoja. Tämä luetaan Kalevaan, joskaan Jatulin ja Kalevan kontaktia ei ole täälläkään nähtävissä.

Kuopion alue edustaa jo melko korkean metamorfoosiasteen vyöhykettä ja sijaitsee lähellä Karelidien ja Svekofennidien rajaa. Koska kiillegneissin stauoliitti ja muskoviitti ovat osittain jo hajonneet, metamorfoosin huippulämpötila oli n. 650 °C ja paine 3 – 4 kb.

Kuopiosta muodostumat jatkuvat pohjoiseen Siilinjärvelle, jossa Koivusaaren 2 060 miljoonan vuoden ikäinen hapan meta-vulkaniitti on ilmeisesti rinnastettavissa Vaivasen muodostumaan (Pekkarinen ja Lukkarinen 1991).

Salahmin - Pyhännän alue

Seuraava yhtenäisempi karjalainen alue Kuopiosta pohjoiseen on Iisalmen luoteispuolella oleva Salahmin kolmiomainen jakso ja siitä pohjoiseen Pyhännällä ja Otanmäellä olevat liuske- ja gneissialueet (Laajoki ja Luukas 1988).

Salahmin vyöhyke muodostaa kolmiomaisen poimurakenteen, joka rajoittuu idässä Iisalmen lohkokon. Muut rajat ovat epämääräisiä johtuen siitä, että jakson liuskeet vaihtuvat länteenpäin asteittain gneisseiksi ja paljastumia on vähän. Jakson koillisosa on lievästi metamorfoitunut, mistä syystä kivien primäärit rakenteet ovat hyvin säilyneitä; ks. Korkiakosken ja Laajoen (1988) julkaisemat kuvat. Sarja alkaa ohuella paleorapautumalla ja pohjabrektsialla, jonka päällä seuraa ohut (paksuus alle 100 m), ristikerroksellinen, jokisyntyinen, maasälpäinen, paikoin graniittipalloinen kvartsiitti-arkosiitti, joka on saanut materiaalinsa Iisalmen lohkokosta. Tämän päällä, ilmeisesti siirrosten erottamana, seuraa vähintään 1 000 m paksu Kalevan turbidiittisista hiekoista ja sorista koostuva muodostuma, jossa kivilajipallot ovat peräisin itse muodostumasta. Etelämpänä,

Haajaisissa, Kaleva alkaa turbidiittisella *konglomeraatilla*, jossa palloaines on juonikvartsia ja erilaisia gneissejä, joiden lähtöalueita ei ole vielä selvitetty.

Salahmista pohjoiseen sijaitsee pieni Itämäen jakso, joka koostuu kalevisista stauoliittikiilleliuskeista ja metapsammiteista. Otanmäen luona on myös pieni, samankaltainen pintakivialue. Salahmin, Itämäen ja Otanmäen alueiden liuskeista tehdyt neodyymi-isotooppianalyysit osoittavat niiden aineksen olevan proterotsooista, ei arkeista.

Pohjois-Pohjanmaan jakso

Pohjois-Pohjanmaan jakso käsittää laajan alueen Utajärveltä Haukiputaalle ja koostuu etupäässä turbidiittisista hiekkakivistä ja peiliiteistä. Alin muodostuma on *Kalliomaan* kvartsi- ja granitoidipalloinen *konglomeraatti*. *Utajärven konglomeraatti* on matricsikannatteinen, laaja-alainen ja samaa tyyppiä kuin em. Haajaisten konglomeraatti. Tämän jälkeen on turbidiittinen grau-vakkayksikkö, joka on paikoin kerrostunut suoraan Pudasjärven lohkon päälle (*Kuva 6.7g*). Sitten seuraa tyyny- ja muiden laavojen (*Kuva 6.7b*) luonnehtima vulkaaninen osa, johon liittyy myös vähän kvartsiitteja, mustaliuskeita, dolomiitteja, serttejä ja rautamuodostumia. Vulkaanisen osan päällä on uudelleen grauvalkamuodostuma, mutta tämän on tulkittu kuuluvan suureen ylitöytälaataan ja edustavan samaa grauvalkayksikköä kuin vulkaniitin alla olevakin (Lundqvist ym. 1996).

Koska jakson kivet ovat loiva-asentoisia ja koska alueen rakennetta ei tunneta hyvin, ovat liuskesarjan kerrosjärjestys ja muodostumapaksuudet vielä osin tuntemattomia. Kyseessä on kuitenkin huomattavan paksu sarja. Utajärven konglomeraatti-arkosiitteenä 2 – 3 km paksu ja sen päällä olevan grauvalkavaltaisen osan paksuus on useita kilometrejä. Kvartsiittisen osan konglome-

Taulukko 6.1. Karjalaisten liuskealueiden kehityshistoria.

Ylä-Kaleva	1 870 – 1 920	miljoonaa vuotta
Ala-Kaleva	1 920 – 1 970	miljoonaa vuotta
Ofioliittirepeämä		
Jatuli	1 970 – $\geq 2\,200$	miljoonaa vuotta
Kainuu	$\geq 2\,200$ – ?	miljoonaa vuotta
Kemiallisen rapautumisen kausi		
Sariola	? – n. 2 350	miljoonaa vuotta
Fysikaalisen rapautumisen kausi		
Sumi	n. 2 350 – 2 440	miljoonaa vuotta
Arkeiset pohjakompleksit (>2 500 miljoonaa vuotta vanhoja)		

raatin happaman porfyryripallon on todettu uraani-lyijyiänmäärityksissä olevan 2 090 miljoonaa vuotta vanha, joten konglomeeraatin kerrostumisen täytyi tapahtua tämän ajankohdan jälkeen. Toisaalta sedimenttikiviä leikkaavan gabron iäksi on saatu 1 873 miljoonaa vuotta, joka siis samalla on sedimenttikivien minimi-ikä.

6.5. Karjalaisten muodostumien ajoitus

Geologia on luonnonhistoriallinen tiede, johon kuuluu keskeisenä kivilajeja synnyttävien ja muokkaavien prosessien tapahtumajankohtien määrittäminen. Magmatismi ja metamorfoosi voidaan ajoittaa näissä prosesseissa syntyneiden mineraalien ja kivilajien avulla. Sedimentaatiotapahtuman ajoittaminen on huomattavasti vaikeampaa, koska pääosa sedimenteistä koostuu klastisesta materiaalista. Niistä tehdyt iänmääritykset antavat vain lähtöaineksen iän. Tämän vuoksi sedimenttien kerrostumisajan määrittämisessä täytyy turvautua ”haarukointiin” eli pyritään selvittämään ko. sedimentaatiotapahtuman

maksimi- ja minimiaikarajat.

Jos sedimentti on kerrostunut sellaisen kiven päälle, jonka ikä tiedetään, tapahtui sedimentaatio luonnollisestikin tämän ajankohdan jälkeen eli tämä ikä antaa sedimentaatiolle enimmäisalakärajän. Itse sedimenttikivistä voidaan pyrkiä ajoittamaan kaikki detritaalisen zirkonin eri generaatiot. Tällöin nuorin zirconi-ikä on lähinnä sedimentaation todellista ajankohtaa eli se antaa tarkimman arvion alakärajästä. Koska juonikivet ovat nuorempia kuin se sedimenttikivi, jota ne leikkaavat, antavat ne sedimentaatiolle yläikärajän. Jos kuitenkin sedimenttipinkkaan liittyy saumattomasti laava- tai tuhkapatja, antaa sen ikä täsmällisen tiedon siitä, milloin sedimentaatioaltaassa tapahtui vulkaanista toimintaa.

Karjalaiset muodostumat ovat kerrostuneet noin 2 500 miljoonaa vuotta vanhan alustan päälle ja vanhimmat niihin tunkeutuneet syväkivet ovat n. 1 870 miljoonan vuoden ikäisiä. Nämä ikätiedot rajaavat sedimentaation ajanjaksoon 2 500 – 1 870 miljoonaa vuotta sitten. Tarkemmassa ikäjaottelussa tarjoavat karjalaisia jaksoja leikkaavat metadiabaasit ja välikerroksina olevat metalaavat tärkeän apukeinon (esim. Vuollo ym. 1992). Sumiin liittyvät metadiabaasit ovat 2 440 miljoonaa vuotta vanhoja. Tätä voidaan pitää myös Sumin vulkanismin ikänä, koska nämä juonet ovat ilmeisesti toimineen Sumin laavojen syöttökanavina. Mikäli hyväksytään Sturtin ym. (1994) esittämä näkemys, että Suomen karjalaisten muodostumien alaosassa tavattava fysikaalinen rapautumakuori edustaa samaa kuorta kuin Norjan Pasvikin regoliitti, voidaan Sariolan alarajana pitää n. 2 440 – 2 330 miljoonaa vuotta. Tähän viittaa myös 2 340 miljoonaa vuotta vanhan (Mustalammen tyyppisen) detritaalisen kvartsin esiintyminen Kiihtelysvaaran alimmissa Sariolan arkosiiteissa (Pekkarinen 1979).

Alimpia karjalaisia (kainuisia ja Jatulin alaosan) kvartsiitteja leikkaavat n. 2 200

miljoonaa vuotta vanhat metadiabaasi-juonet, joita kutsutaan myös karjaliiteiksi. Jatulisedimentit alkoivat siten kerrostua yli 2 200 miljoonaa vuotta sitten. Nuoremmat, n. 2 100 miljoonaa vuotta vanhat juonet ovat ilmeisesti toimineet kvartsiittisarjan yläosien (esim. Koljolan) laavojen syöttökanavina (Pekkarinen ja Lukkarinen 1991). Eräiden karjalaisia kvartsiitteja leikkaavien metadiabaasien ja Outokummun ja Jormuan ofioliitteihin liittyvien gabrojen uraani-lyijykien perusteella Jatulin ja Kalevan rajan ikä on vähintään 1 950 – 1 970 miljoonaa vuotta.

Ylä-Kalevasta määritetty nuorin detrittaalisen zirkonin uraani-lyijyikä on 1 920 miljoonaa vuotta (Claesson ym. 1993), joten Ylä-Kalevan kerrostuminen tapahtui tämän jälkeen, mutta kuitenkin ennen niitä leikkaavien n. 1 870 miljoonaa vuotta vanhojen syväkivien (Huhma 1986) kiteytymistä.

Taulukossa 6.1 ja Kuvassa 6.10 on esitetty karjalaisten muodostumien 500 – 600 miljoonaa vuotta kestänyt syntyhistoria.

6.6. Yhteenveto

Vaikka edellä onkin kuvattu karjalaiset muodostumat erillisinä alueina, on ilmeistä, että ne muodostivat alkuaan laajempia ja yhtenäisempiä kokonaisuuksia. Kolin ja Höytiäisen alueen kivet ovat ilmeisesti rinnastettavissa Kainuun liuskejakson itäreunan Jatuliin ja Kalevaan, Pisan - Keyrityn jakso Kajaanin eteläpuoleiseen parautoktoniseen sarjaan ja Salahmin jakso Pohjois-Pohjanmaan jaksoon. Kuopion alue saattaa kuitenkin edustaa omaa kokonaisuuttaan.

Suuri ongelma on se, missä Outokummun ja Jormuan ofioliittikompleksit sivukivineen ovat alunperin sijainneet. Yksi mahdollisuus on, että ne olisivat peräisin Iisalmen ja Kuhmon lohkojen välistä. Jos näin on, Kainuun tektoninen vyöhyke edustaa sutuurivyöhykettä, Kuhmon ja Iisalmen - Pudasjärven lohkoja aikoinaan erottaneen

muinaisen meren sulkeutumisarpea (Kontinen 1987). Toinen mahdollisuus on, että ofioliitit olisivat kulkeutuneet huomattavan kaukaa, ehkä Iisalmen lohkon lounaispuolelta ja edustaisivat näin Svekofennidien ja Iisalmen lohkojen väliin nipistettyjä merenkuoren kappaleita, jotka ylityöntyivät itään ja joutuivat sen jälkeen mukaan Kainuun ja Outokummun jaksojen poimuttumiseen (Peltonen ym. 1996). Kolmas vaihtoehto on, että ofioliitit ovat peräisin Svekofennidien ja karjalaisen kratonin väliin kehittyneestä kaarentausta-altaasta (esim. Park ym. 1984). On myös mahdollista, että Outokummun ja Jormuan ofioliitit edustavat eri paikoissa syntyneitä merellisen kuoren kappaleita.

Tässä luvussa käsiteltyjen karjalaisten muodostumien syntyä ei voida selvittää ilman, että ymmärretään niiden suhde Lapin vastaavanikäisiin muodostumiin. Tässä suhteessa nousee avaintekijäksi Kainuun Keski-Puolangan ryhmän rinnastus lapponiseen sarjaan. Tätä samoin kuin muidenkin jaksojen välisiä rinnastuksia vaikeuttaa se, että alkuperäiset jaksot ovat lyhentyneet huomattavasti ja liikkuneet poimutuksessa pitkiä matkoja lateraalisesti toisiinsa nähden.

Onkin todennäköistä, että nykyisin Kuusamon jakson tasolla oleva Peräpohjan liuskejakso sijaitsi ainakin vielä Jatulin kerrostumisen aikana jossain Vaasan korkeudella, jollei vieläkin kauempana lounaassa. Samaten Kainuun ja Pohjois-Karjalan jaksojen itä- ja länsireunat ovat voineet olla Kalevan kerrostuessa useiden kymmenien – satojen kilometrien päässä toisistaan. Vaikeutena on myös se, ettei Keski-Puolangan ryhmän kerrostumisikää tiedetä. Sen sedimenttimateriaali on selvästi arkeista, sen yläosan happamien metatuffien zirkonit antavat summittaisia 2 600 – 2 700 miljoonan vuoden iäkiä, joiden todellisen merkityksen selvittämiseksi tarvittaisiin ajoituksia yksittäisistä kiteistä (ks. Kontinen ym. 1996).

Karjalaisten liuskealueiden kehitystä ei

siten vielä täysin ymmärrettä ja eri tutkijoilla on asiasta hyvinkin erilaisia näkemyksiä. Seuraavassa esitetään malli, joka nojautuu paitsi tässä luvussa käsiteltyihin liuskevyöhykeisiin myös siihen käsitykseen, joka tekijällä on niiden suhteesta vastaaviin Kuusamon ja Lapin muodostumiin (*Kuva 6.10*):

(1) *Sumi: ensimmäinen allasvaihe*. Arkeinen kuori alkoi venyä ja revetä n. 2 500 miljoonaa vuotta sitten. Tässä vaiheessa syntyi lähinnä kaakkois-luoteissuuntaisia, suhteellisen kapeita repeämäaltaita, joihin kerrostuivat ja purkautuivat Sumin sedimentit ja laavat noin 2 450 miljoonaa vuotta sitten. Tämä vaihe on hyvin edustettuna Venäjän puolella Paanajärven alueella (Systra 1996) ja siihen lienevät luettavissa eräät Pohjois-Suomen kerrosintrusioiden kattopuolen pintakivet. Ei voida kuitenkaan varmasti sanoa, esiintyykö näitä nyt puheena olevalla alueella.

(2) *Fysikaalisen rapautumisen ja eroosion vaihe*. Sumi-vaiheen jälkeen seurasi ilmeisesti merkittävä fysikaalisen rapautuman vaihe kuivissa - puolikuivissa ilmasto-olosuhteissa n. 2 350 miljoonaa vuotta sitten (Sturt ym. 1994). Syvälle edennyt eroosio kulutti suurimman osan Sumin pintakivistä ja osia näihin liittyvien kerrosintrusioiden yläosista.

(3) *Sariola: toinen allasvaihe*. Noin 2 350 miljoonaa vuotta vanhan eroosiopinnan päälle kerrostuivat Sariolan jokisyntyiset polymiktiset konglomeraatit ja arkoosit. Paikoitellen altaat vajosivat merenpinnan alapuolelle ja näihin osiin kerrostui todisteita Sariolan laaja-alaisesta jäätiköitymisestä. Vulkaanista toimintaa esiintyi ainakin Kainuun jakson koillisosassa (esim. Kurkikylän ryhmä).

(4) *Kemiallisen rapautumisen kausi*. Sariolan loppuvaiheessa karjalaiset alueet sijaitsivat subtrooppisella - trooppisella ilmastovyöhykkeellä, mahdollisesti lähellä silloista päiväntasaajaa. Edellisessä vaiheessa syntyneet kivet joutuivat tällöin voimak-

kaan kemiallisen rapautumisen kohteeksi. Rapautumisen intensiteettiä lisäsi se, että tuohon aikaan ilmakehän happipitoisuus oli ilmeisesti alhainen ja vastaavasti hiilidioksidipitoisuus korkea (Karhu 1993; vrt. Ohmoto 1996). Rapautumiskausi tuotti kaoliinipitoisia maalajeja, jotka svekofennisessa orogeeniassa metamorfoituivat kyaniittipitoisiksi kvartsiiteiksi (esim. Hokkalampi).

(5) *Kainuu: kolmas allasvaihe*. Rapautumiskauden jälkeen jatkui kuoren venytys ja meri alkoi valloittaa luoteesta käsin silloista mannerta pitkin Sumi-Sariolan repeytymälaaksoja, jotka toimivat myös mantereelta käsin tapahtuvan jokisedimenttaation kerrostumisaltaina. Tämän seurauksena syntyi paikallisia joenuoman ja -suiston kerrostumia Kuhmon lohkon reunalle (esim. Kurkikylän ja Kolin paleokanavat) ja osin myös Iisalmen lohkolle. Merelliset hiekat, savet ja karbonaatit kerrostuivat kauemaksi mantereelta ehkä jonnekin nykyisen Vaasa - Kuusamo -linjan luoteispuolelle. Kokonaisuudessaan tämä sarja oli selvästi transgressiivinen ja sen aikana meri valloitti mannerta useaan eri otteeseen. Loppuvaiheeseen liittyi merkittävää vulkaanista toimintaa.

(6) *Jatuli: neljäs allasvaihe*. Kolmannen allasvaiheen jälkeen tapahtui maankuoren venytykseen liittyviä huomattavia pystyliikuntoja ja ehkä myös poimutusta, sillä kainuis-lapponiset sedimentit ja vulkaniitit joutuivat voimakkaan kulutuksen kohteeksi. Tämä uusi sedimenttikierto tuotti laaja-alaiset jatuliset muodostumat. Alkuvaiheessa kerrostui etupäässä jokisedimenttejä, mutta myöhemmin meri eteni jälleen kerran mantereeseen päälle ja syntyi laaja mannerreunus, jota luonnehtivat usein toistuvat merenpinnan vaihtelut, karbonaattien ja vähäisten hiekkojen kerrostuminen sekä lähinnä tuhkia tuottanut vulkaaninen toiminta. Tätä sarjaa voidaan pitää mannerprismana, joka kehittyi kainuisen altaan päälle. Todennäköistä on, että meri oli tässä vaiheessa jo laaja ja

avautui luoteeseen, mutta siitä pisti matalia meriväyliä mantereen sisälle. Transgressiot olisivat siten olleet myös tässä tapauksessa lähinnä luoteesta kaakkoon.

Mantereellinen kuori jatkoi repeilemistään myös Jatulin aikana. Tästä ovat todistuksena Jatulin sisäiset vulkaaniset kivet ja varsinkin sen loppuvaiheen runsas vulkaaninen toiminta, jonka tuotteet ovat parhaiten nähtävissä Kemin - Kalixin jaksossa.

(7) *Kaleva: viides allasvaihe ja uuden merenpohjan synty.* Jatulia seurasi merkittävin kuoren lohkoutumis-venytysvaihe, jonka alussa kerrostuivat Ala-Kalevan turbidiittivaltaiset klastiset ja kemialliset sedimentit (7a) ja syntyi uutta merellistä kuorta (Jormuan ja Outokummun ofioliitit, 7b). Jälkimmäisessä vaiheessa kerrostuivat Ylä-Kalevan turbidiitit (7c) Kuhmon ja Iisalmen - Pudasjärven lohkojen väliseen altaaseen ja/tai jälkimmäisen lounaisreunalle. Ainakin paikoin Ylä-Kaleva kerrostui Outokummun ja Jormuan 1 970 - 1 950 miljoonaa vuotta vanhan merellisen kuoren päälle. Tämän laajuutta ja sijaintia ei kuitenkaan tunneta. Yksi mahdollisuus on, että meri oli suhteellisen kapea ja ulottui Kainuusta Keski-Lappiin ja edelleen Finnmarkiin. Ainakin osa ofioliittimuodostuksesta (esim. Outokumpu) saattoi liittyä svekofennisiin subduktiovyöhykkeisiin. Kaleva edustaa näin sedimenttiseurantoja, jotka kuvastavat allaskehitystä erkaantuvan mannerreunan syvistä merialtaista kohoavan vuorijonon etusyvänne- ja etumaa-altaisiin.

Myös Kainuun - Pohjois-Karjalan Kalevan suhde Pohjois-Savon - Pohjois-Pohjanmaan jakson Kalevaan ja edelleen Svekofennidien koillisosan muodostumiin on vielä avoin. Ilmeistä on kuitenkin, että Kalevan kerrostumisen aikana oli useita erillisiä pienempiä altaita, jotka saivat sedimenttiainesta eri lähteistä, osa arkeeiselta mantereelta ja varhaisemmista proterotsooisista muodostumista, osa svekofennisen poimutuksen aikana kohonneista vuorialueista.

(8) *Svekofenninen vuorijononpoimutus eli orogenia.* Nykyisin katsotaan, että karjalaisten muodostumien poimutus voidaan selittää muinaisten litosfäärilaattojen törmäyksillä ja niihin liittyvillä ylityöntymisillä. Tätä monivaiheista tapahtumaa kutsutaan svekofenniseksi orogeniaksi (ks. lähemmin Luku 3). Ilmeisestä on, että tämän orogenian aikanaikin kerrostui sedimenttejä, mutta niiden mahdollisuus säilyä orogenian jälkeisessä eroosiossa oli pieni, koska ne sijaitsivat kerrospinkkojen ylimmissä osissa. Eräät Kainuun molassimaiset esiintymät (esim. Pyssykulju) saattavat kuulua tähän ryhmään ja voivat olla siten rinnastettavissa Lapin Kumpu-tyyppisiin esiintymiin.

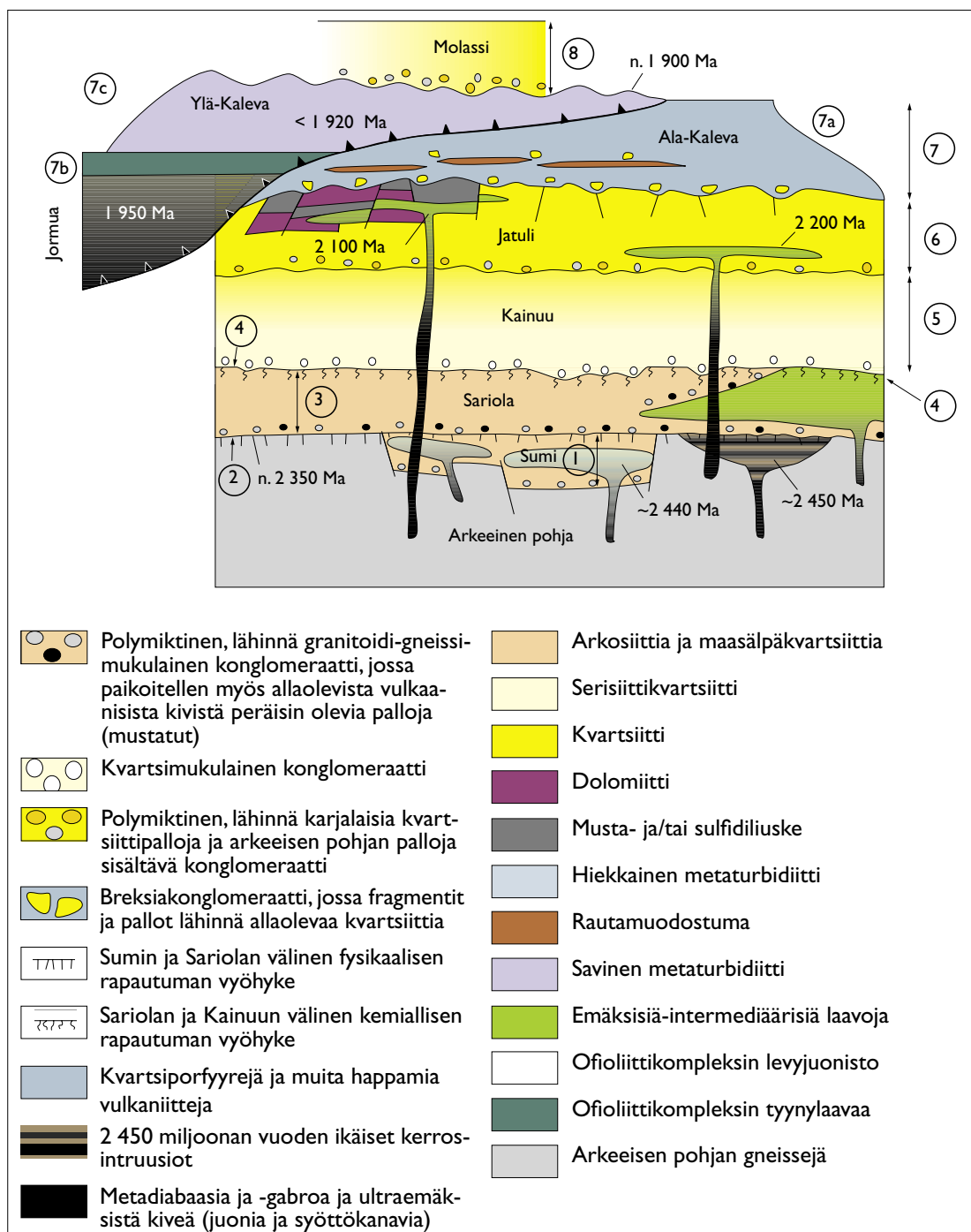
Svekofenninen orogenia poimutti, pilkkoi ja siirteli alunperin yhtenäiset liuskeyöhykkeet pienempiin osiin. Nämä kohosivat myöhemmin pystysuorien liikuntojen ansiosta vuorijonoksi, joka sittemmin kului nykyiseksi Itä- ja Pohjois-Suomen kuvankau- niiksi vaara- ja mäkimaismaksi.

Kiitokset

Kiitän Martti Lehtistä ja Tapani Rämöä käsikirjan kieliasuun ja sisältöön liittyvistä hyödyllisistä korjaus ehdotuksista, Mikko Honkamo, Paavo Härmä ja Kari Strandia heidän ottamistaan valokuvista, Peter Sorjonen-Wardia Kuvan 6.8 alkuperäiskappaleesta ja Kristiina Karjalaista piirrosten viivapiirroksista.

Painatusvaiheen lisäys

Käynnissä olevat isotooppitutkimukset viittaavat yhä enemmän siihen, että Keski-Puolangan ryhmän sedimentaatio ja vulkanismi saattaisivat olla iältään arkeisia (n. 2 700 miljoonaa vuotta). Mikäli näin on, tulee Suomen arkeisen kallioperän kehitys uuteen valoon. Tämä vaikuttaisi myös käsityksiimme varhaisproterotsooisten muodostumien synnystä. Kriittisen lukijan tulee siten pitää mielessään ne puutteellisesti paljastuneen, metamorfin ja deformatiivisen kallioperän tutkimiseen liittyvät vaikeudet ja epävarmuustekijät, joihin tässä luvussa on viitattu. Pyrkinessään totuuteen tiede korjaa itse itseään.



Kuva 6.10. Yhteenvedetökaavio karjalaisten muodostumien kehityksestä (ympyröidyt numerot viittaavat tekstissä kuvattuihin kehitysvaiheisiin 1 – 8). Ma = miljoonaa vuotta.

Viiteluettelo

- Aumo, R., 1983.* The Proterozoic metasedimentary and metavolcanic mantle of the Kuopio Domes. Sivut 86 - 99 teoksessa K. Laajoki & J. Paakkola (toim.) Exogenic processes and related metallogeny in the Svecokarelian geosynclinal complex. Geologinen tutkimuslaitos, Opas 11.
- Campbell, D.S., Treloar, P.J. & Bowes, D.R., 1979.* Metamorphism of staurolite-bearing schist from the Svecokareliides, near Heinävaara, eastern Finland. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar, 101, s. 105 - 118.
- Claesson, S., Hubma, H., Kinny, P.D. & Williams, I.S., 1993.* Svecofennian detrital zircon ages - implications for the Precambrian evolution of the Baltic Shield. Precambrian Research, 64, s. 109 - 130.
- Gebör, S. & Havola, M., 1988.* The depositional environment of the early Proterozoic Tuomivaara iron-formation and associated metasediments, eastern Finland. Sivut 109 - 133 teoksessa K. Laajoki & J. Paakkola (toim.) Sedimentology of the Precambrian formations in eastern and northern Finland. Geological Survey of Finland, Special Paper 5.
- Gebör, S. & Laajoki, K., 1987.* The Mineralogy and Regional Metamorphism of the Precambrian Iron-formations in Finland. Precambrian Iron-Formations. Theophrastus Publications, S.A. Greece, s. 393 - 419.
- Havola, M., 1981.* Suomen geologinen kartta. Kallioperäkartta 1 : 100 000, lehti 3433 Sotkamo. Geologinen tutkimuslaitos.
- Honkamo, M., 1985.* On the Proterozoic meta-sedimentary rocks of the Northern Pohjanmaa schist area, Finland. Geological Survey of Finland, Bulletin 331, s. 117 - 129.
- Hubma, A., 1975.* Outokummun, Polvijärven ja Sivakkavaaran kartta-alueiden kallioperä. Suomen geologinen kartta, 1 : 100 000. Kallioperäkartan selitykset, lehdet 4222 Outokumpu, 4224 Polvijärvi, 4311 Sivakkavaara. Geologinen tutkimuslaitos, Espoo, 151 s.
- Hubma, H., 1986.* Sm-Nd, U-Pb and Pb-Pb isotopic evidence for the origin of the Early Proterozoic Svecokarelian crust in Finland. Geological Survey of Finland, Bulletin 337, 48 s.
- Kangas, R., 1985.* Alaproterotsooisien Itä-Puolangan ryhmän länsiosan litostratigrafia, paleosedimentaatio ja rakenne. Puolanka. Abstract: The lithostratigraphy, palaeo-sedimentation and structure of the western parts of the Lower Proterozoic East Puolanka Group in Puolanka area, eastern Finland. Res Terrae, Series B, 8, 111 s.
- Karhu, J.A., 1993.* Paleoproterozoic evolution of the carbon isotope ratios of sedimentary carbonates in the Fennoscandian shield. Geological Survey of Finland, Bulletin 371, 87 s.
- Kobonen, J., 1995.* From continental rifting to collisional crustal shortening - Paleoproterozoic Kaleva metasediments of the Höytiäinen area in north Karelia, Finland. Geological Survey of Finland, Bulletin 380, 79 s.
- Kobonen, J. & Marmo, J., 1992.* Proterozoic lithostratigraphy and sedimentation of Sariola and Jatuli-type rocks in the Nunnanlahti - Koli - Kaltimo area, eastern Finland; implications for regional basin evolution models. Geological Survey of Finland, Bulletin 364, 67 s.
- Kobonen, J., Luukkonen, E. & Sorjonen-Ward, P., 1991.* Nunnanlahti and Holinmäki shear zones in North Karelia: evidence for major early Proterozoic ductile deformation of Archean basement and further discussion of regional kinematic evolution. Sivut 11 - 16 teoksessa S. Autio (toim.) Geological Survey of Finland, Current Research 1989 - 1990. Geological Survey of Finland, Special Paper 12.
- Koistinen, T.J., 1981.* Structural evolution of an early Proterozoic strata-bound Cu-Co-Zn deposit, Outokumpu, Finland. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences, 72, s. 115 - 158.
- Koistinen, T., 1993.* Heinäveden kartta-alueen kallioperä, Kallioperäkarttojen selitykset, Lehti 4221. Suomen geologinen kartta, 1 : 100 000, Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 64 s.
- Kontinen, A., 1986.* Early Proterozoic stratigraphy and sedimentation in the Hyrynsalmi area, eastern Finland. Sivut 75 - 103 teoksessa V.A. Sokolov & K. I. Heiskanen (toim.) Early Proterozoic of the Baltic Shield. Proceedings of the Finnish - Soviet Symposium held in Petrozavodsk 19-27th August, 1985. Committee for Scientific and Technical co-operation between Fin-

- land and Soviet Union, Petrozavodsk.
- Kontinen, A., 1987.* An early Proterozoic ophiolite - the Jormua mafic - ultramafic complex, northeastern Finland. Sivut 313 - 341 teoksessa G. Gaál & R. Gorbatshev (toim.) Precambrian geology and evolution of the Central Baltic Shield. Precambrian Research, 35.
- Kontinen, A., 1989.* Suomen geologinen kartta, Kallioperäkartta 1 : 100 000. Lehti 3443 Hyrynsalmi. Geologian tutkimuskeskus.
- Kontinen, A., 1993.* Suomen geologinen kartta, Kallioperäkartta 1 : 100 000. Lehti 3434 Paltamo. Geologian tutkimuskeskus.
- Kontinen, A., Hubma, H. & Laajoki, K., 1996.* Sm/Nd isotope data on the Central Puolanka Group, Kainuu Schist Belt, Finland; constraints for provenance and age of deposition. The 22nd Nordic Geological Winter Meeting, Turku - Åbo, 8-11 January 1996. Abstracts, s. 95.
- Korkiakoski, E. & Laajoki, K., 1988.* The paleosedimentology of the early Proterozoic Salahmi Schist Belt, central Finland. Sivut 49 - 73 teoksessa K. Laajoki & J. Paakkola (toim.) Sedimentology of the Precambrian formations in eastern and northern Finland. Geological Survey of Finland, Special Paper 5.
- Kärki, A., 1988.* Stratigraphy of the Kainuu Schist Belt and paleosedimentology of its Kalevian metasediments at Melalahti, northern Finland. Sivut 149 - 164 teoksessa K. Laajoki & J. Paakkola (toim.) Sedimentology of the Precambrian formations in eastern and northern Finland. Geological Survey of Finland, Special Paper 5.
- Kärki, A., Laajoki, K. & Luukas, J., 1993.* Major early Proterozoic shear zones of Central Baltic Shield. Precambrian Research, 64, s. 207 - 223.
- Laajoki, K., 1986.* The Central Puolanka Group - a Precambrian regressive metasedimentary sequence in northern Finland. Bulletin of the Geological Society of Finland, 58 (1), s. 179 - 193.
- Laajoki, K., 1988a.* Nenäkangas-type conglomerates - evidence of a major break in the sedimentation of the early Proterozoic (Karelia) quartzites in Kainuu, northern Finland. Sivut 91 - 107 teoksessa K. Laajoki & J. Paakkola (toim.) Sedimentology of the Precambrian formations in eastern and northern Finland. Geological Survey of Finland, Special Paper 5.
- Laajoki, K., 1988b.* The Pyssykulju Formation - a late Kalevian (early Proterozoic) ortho-quartzite phase in Kainuu, northern Finland. Sivut 135 - 147 teoksessa K. Laajoki & J. Paakkola (toim.) Sedimentology of the Precambrian formations in eastern and northern Finland. Geological Survey of Finland, Special Paper 5.
- Laajoki, K., 1991.* Stratigraphy of the northern end of the early Proterozoic (Karelian) Kainuu schist belt and associated gneiss complexes, Finland. Geological Survey of Finland, Bulletin 358, 105 s.
- Laajoki, K. & Korkiakoski, E., 1988.* The Precambrian turbidite-tempestitite transition as displayed by the amphibolite-facies Puolankajärvi Formation, Finland. Sedimentary Geology, 58, s. 195 - 216.
- Laajoki, K. & Luukas, J., 1988.* Early Proterozoic stratigraphy of the Salahmi - Pyhäntä area, central Finland, with an emphasis on applying the principles of lithodemic stratigraphy to a complexly deformed and metamorphosed bedrock. Bulletin of the Geological Society of Finland, 60 (2), s. 79 - 106.
- Laajoki, K. & Saikkonen, R., 1977.* On the geology and geochemistry of the Precambrian iron formations in Väyrylänkylä, South Puolanka area, Finland. Geological Survey of Finland, Bulletin 292, 137 s.
- Laajoki, K., Strand, K. & Härmä, P., 1989.* Lithostratigraphy of the early Proterozoic Kainuu Schist Belt in the Kurkikylä-Siikavaara area, northern Finland, with emphasis on the genetic approach. Bulletin of the Geological Society of Finland, 61 (1), s. 65 - 93.
- Loukola-Ruskeenieniemi, K. & Heino, T., 1996.* Geochemistry and genesis of the black shale-hosted Ni-Cu-Zn deposit at Talvi-vaara, Finland. Economic Geology, 91, s. 80 - 110.
- Lundqvist, T., Bøe, R., Kousa, J., Lukkarinen, H., Lutro, O., Roberts, D., Solli, A., Stephens, M. & Weibed, P., 1996.* Bedrock Map of Central Fennoscandia, Scale 1: 1 000 000. Geological Surveys of Finland (Espoo), Norway (Trondheim) and Sweden (Uppsala).
- Marmo, J.S., 1992.* The Lower Proterozoic Hokkalampi paleosol in North Karelia,

- eastern Finland. Sivut 41 - 66 teoksessa M. Schildowski, S. Golubic, M.M. Kimberley & P.A. Trudinger (toim.) *Early Organic Evolution; Implications for Mineral and Energy Deposits*, Springer-Verlag.
- Marmo, J.S. & Ojakangas, R.W., 1983.* Varhaisproterotsooinen Urkkavaara-muodostuma Kontiolahdella - glasigeeninen meta-sedimenttisarja Sariolaryhmän yläosassa. *Geologi*, 35, No. 1, s. 3 - 6.
- Marmo, J.S. & Ojakangas, R.W., 1984.* Lower Proterozoic glaciogenic deposits, eastern Finland. *Geological Society of America, Bulletin* 95, s. 1055 - 1062.
- Marmo, J., Kohonen, K., Sarapää, O. & Äikäs, O., 1988.* Sedimentology and stratigraphy of the lower Proterozoic Sariola and Jatuli Groups in the Koli-Kaltimo area, eastern Finland. Sivut 11 - 28 teoksessa K. Laajoki & J. Paakkola (toim.) *Sedimentology of the Precambrian formations in eastern and northern Finland*, Geological Survey of Finland, Special Paper 5.
- Melezbik, V.A., Sturt, B.A., Mokrousov, V.A., Ramsay, D.M., Nilsson, L.P. & Balashov, Yu.A., 1994.* The early Proterozoic Pasvik-Pechenga Greenstone Belt: 1:200,000 geological map, stratigraphic correlation and revision of stratigraphic nomenclature. *Norges Geologiske Undersøkelse, Special Publication* 7, s. 81 - 91.
- Obmoto, H., 1996.* Evidence in pre-2.2 Ga paleosols for the early evolution of atmospheric oxygen and terrestrial biota. *Geology*, 24 (12), s. 1135 - 1138.
- Paavola, J., 1984.* Nilsin kartta-alueen kallioperä. Kallioperäkarttojen selitykset, Lehti 3334. Suomen geologinen kartta, 1 : 100 000. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 57 s.
- Park, A.E., Bowes, D.R., Halden, N.M. & Koistinen, T.J., 1984.* Tectonic evolution at an early Proterozoic continental margin: The Svecokareliides of Eastern Finland. *Journal of Geodynamics*, 1, s. 359 - 386.
- Pekkarinen, L.J., 1979.* The Karelian formations and their depositional basement in the Kiihtelysvaara - Värtsilä area, East Finland, Geological Survey of Finland, Bulletin 301, 141 s.
- Pekkarinen, L.J. & Lukkarinen, H., 1991.* Paleoproterozoic volcanism in the Kiihtelysvaara - Tohmajärvi district, eastern Finland. Geological Survey of Finland, Bulletin 357, 30 s.
- Peltonen, P., Kontinen, A. & Hubma, H., 1996.* Petrology and geochemistry of metabasalts from the 1.95 Ga Jormua Ophiolite, Northeastern Finland. *Journal of Petrology*, 37, s. 1359 - 1383.
- Rundqvist, D.V. & Mitrofanov, F.P., 1992.* Precambrian Geology of the USSR. Elsevier, Amsterdam, 544 s.
- Simonen, A., 1980.* Suomen kallioperä 1 : 1 000 000. Geologinen tutkimuslaitos.
- Strand, K., 1988.* Alluvial sedimentation and tectonic setting of the lower Proterozoic Kurkikylä and Kainuu Groups in Northern Finland. Sivut 75 - 90 teoksessa K. Laajoki & J. Paakkola (toim.) *Sedimentology of the Precambrian formations in eastern and northern Finland*. Geological Survey of Finland, Special Paper 5.
- Strand, K., 1993.* Sedimentation in a Palaeoproterozoic (Karelian) rift to cratonic margin transition, Finland. *Acta Universitatis Ouluensis, Series A*, 35 s.
- Strand, K. & Laajoki, K., 1993.* Palaeoproterozoic glaciomarine sedimentation in an extensional tectonic setting: the Honkala Formation, Finland. *Precambrian Research*, 64, s. 253 - 271.
- Sturt, B.A., Melezbik, V.A. & Ramsay, D.M., 1994.* Early Proterozoic regolith at Pasvik NE Norway: palaeoenvironmental implications for the Baltic Shield. *Terra Nova*, 6, s. 618 - 633.
- Systra, Y.J., 1996.* The Paanajärvi National Park: an outstanding example of early Proterozoic crustal evolution. *Oulanka Reports*, 16, s. 17 - 22.
- Tuisku, P. & Laajoki, K., 1990.* Metamorphic and structural evolution of the early Proterozoic Puolankajärvi Formation, Finland. Part II. The pressure-temperature-deformation-composition path. *Journal of Metamorphic Geology*, 8, s. 375 - 391.
- Vuollo, J., 1994.* Palaeoproterozoic basic igneous events in Eastern Fennoscandian Shield between 2.45 Ga and 1.97 Ga, studied by means of mafic dyke swarms and ophiolites in Finland. *Acta Universitatis Ouluensis, Series A*, 250, 47 s.
- Ward, P., 1988.* Early Proterozoic Kalevian lithofacies and their interpretation in the Hammaslahti - Rääkkylä area, eastern Finland. Sivut 29 - 48 teoksessa K. Laajoki & J. Paakkola (toim.) *Sedimentology of the Precambrian formations in eastern and northern Finland*. Geological Survey of Finland, Special Paper 5.



Mitä metamorfoituneesta kallioperästä voidaan saada selville sedimenttirakenteiden avulla?

Sedimenttirakenteiden tunnistus on prekambristen sedimenttisyntyisten kivien tutkimuksessa tärkeää, koska rakenteiden avulla voidaan mm.

- (1) *tehdä päätelmiä niistä prosesseista ja olosuhteista, joissa kyseiset sedimentit kerrostuivat,*
- (2) *selvittää kerrosten nuoremmisen eli topin suunta ja näin poimuttuneiden kivilajikerrosten kerrostumisen järjestys, ja*
- (3) *rinnastaa kaukanakin toisistaan sijaitsevia kivilajityksiköitä.*

Esimerkkinä voidaan tarkastella yllä olevaa kuvaa, jonka Kauko Laajoki on ottanut karjalaisen Jalka-Ahon muodostuman metasedimentistä. Kuvan keskellä olevan, n. 20 cm paksun kerroksen alaraja on selvästi erosionaalinen; se leikkaa alla olevan peliittisen osan pieni-piirteistä kerroksellisuutta. Tästä voidaan päätellä, että topin suunta on valokuvassa ylös (luonnossa itään). Matalan eroosiokourun täytteenä on karkeahkoa hiekkaa, joka vaihtuu ylöspäin keskirakeiseksi hiekaksi ja tämä lopulta saviraitoja sisältäväksi hienorakeiseksi hiekaksi. Raekoko pienenee siten tasaisesti mentäessä ylöspäin. Keskirakeisessa hiekassa näkyvien virtakareiden epäsymmetrisyydestä voidaan päätellä, että vesi virtasi oikealta vasemmalle. Kuvan kerros sisältää kaikki ns. Bouma-sarjan osat (ks. tarkemmin Luku 2), joten se voidaan tulkita turbidiitiksi. Turbidiittivirtaus on ollut myrskyn laukaisema, näin kyseessä on matalan meren myrskysyntyinen sedimentti.