Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

KEMIN ELIJÄRVEN KAIVOKSEN SERPENTINIITTIYTYNEISTÄ PERIDOTIITTISISTA SAUNAN KIUASKIVISTÄ ILMAAN IRTOAVAT KUITUMAISET SILIKAATTIMINERAALIT

Pro gradu- tutkielma
Max Allan Forsman
Geotieteiden ja tähtitieteen laitos
Oulun yliopisto
1997

OULUN YLIOPISTO
Geotieteiden laitos
Geologian osasto

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

SISÄLLYSLUETTELO

TUTKIMUKSEN TARKOITUS 2

ALUEEN YLEISGEOLOGIAA 3

Kallioperän yleispiirteet 4

KEMIN INTRUUSIO 6

Intruusion rakenne 6

Elijärven kaivos 8

Leikkaavat juonet 9

ALUEEN METAMORFOOSI 10

PERIDOTIITIN LUOKITTELU 12

ASBESTI 14

Historiaa 14

Yleistä 15

Asbestimineraaliryhmät 16

Serpentiiniasbesti 16

Amfiboliasbesti 17

Työhygieeniset raja-arvot 19

Euroopan yhteisön direktiivin säännökset asbestista .20

Asbestin esiintyminen Suomessa 20

Esiintyminen kivessä 21

ASBESTI JA TERVEYSHAITAT 22

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

ASBESTIN TUNNISTUS 24

Yleistä 24

Valomikroskoopilla 24

Elektronimikroskoopilla 25

Röntgendiffraktiometrillä 26

MINERALOGISEN JA LOHKEAMALLA SYNTYNEEN ASBESTIN EROTTAMINEN 26

PETROGRAFINEN TUTKIMUS 28

Tutkimusaineisto 28

Serpentiniittiytynyt peridotiitti 28

Yleistä 28

Kumulusterminologia 30

Rakenne 32

Peridotiitti 34

Yleistä 34

Rakenne 35

Oliviinidiabaasi 36

KUITUMAISTEN SILIKAATTIMINERAALIEN TUTKIMUSMENETELMÄT LÄMPÖOLOSUHDELABORATORIO 38

Esivalmistelut 38

Mittausmenetelmät ja -olosuhteet. 39

KUITUJEN LUOKITTELUPERUSTEET 40

KIVEN KUITUPITOISUUDEN MÄÄRITTÄMINEN 42

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

ANALYSOINTI 45

MITTAUSTULOKSET 46

Kota tl Lapintehtaan peridotiitti. 48

Eräjärven oliviinidiabaasi 61

Elijärven serpentiiniperidotiitti 53

Muotosuhdediagrammit 57

Kuitupitoisuudet 53

YHTEENVETO 60

Saunan ilman laadun parantaminen 61

Jälkitoimenpiteitä 62

KIITOKSET 62

KIRJALLISUUSVIITTEET 63

LIITTEET 70

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

TIIVISTELMÄ

Forsman Max Allan, 1997. Kemin Elijärven kaivoksen serpentiniittiytyneistä peridotiittisista saunan kiuaskivistä ilmaan irtoavat kuitumaiset silikaattimineraalit. Geologian ja mineralogian Pro gradu- tutkielma. 69 sivua ja 3 liitettä. Oulun yliopisto geotieteiden ja tähtitieteen laitos.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää irtoaako Elijärven serpentiniittiytyneistä peridotiitisista saunan kiuaskivistä saunomisen aikana ilmaan asbestia tai muita kuitumaisia silikaattimineraaleja.

Mittaukset suoritettiin Oulun Aluetyöterveyslaitoksen lämpöolosuhdelaboratoriossa. Saunomisen aikana ilmaan irronnut pöly kerättiin polykarbonaattisuodattimille imupumppujen avulla. Suodattimia oli saunassa aina kaksi, 170 cm ja 200 cm korkeudella. Kuitumaiset partikkelit laskettiin suodattimilta elektronimikroskoopin avulla. Laskennassa huomioitiin vain kuitumaiset silikaattimineraalit ja muu mineraalipöly jätettiin huomioimatta.

Kokeessa oli osallisena Elijärven serpentiiniperidotiitti, Kota tl Lapintehtaan peridotiitti ja Eräjärven oliviinidiabaasi. Saunan ilmalle ei ole annettu erillistä kuitupitoisuuden maksimiarvoa, joten käytimme vertailuarvona puhtaalle huoneilmalle annettua maksimiarvoa 0,01 kuitua/cm^3 ilmaa. Kivistä irronneet tremoliittiasbestipitoisuudet ovat: Kodan peridotiitilla tulokset vaihtelivat 0,25 - 0,82 kuitua/cm^3 välillä, Elijärven serpentiiniperidotiitilla 0,06 - 0,09 kuitua/cm^3 ja Eräjärven oliviinidiabaasilla 0,01 - 0,04 kuitua/cm^3. Serpentiiniperidotiitille suoritetussa uusinta kokeessa 20 saunomiskerran jälkeen olivat tremoliittiasbestipitoisuudet alle 0,01 kuitua/cm^3 .

Tutkimustuloksista käy ilmi että, tämän kaltainen tutkimus asbestipitoisuudesta tulisi tehdä kaikista markkinoilla olevista saunankiuaskivistä ja tulos tulisi liittää pakkaukseen eräänlaisena tuoteselosteena.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

"Ei mikään liiallinen ruumista
ylen rasittava hiostuminen
kuitenkaan ole terveellinen.
Siinä on kylliksi, kun saadaan hienlähtö
kohtuullisesti enennetyksi ja ruumis alkaa rauweta."

E Lönnrot

"Tule nyt löylyhyn, Jumala,
ilo ilman, lämpimähän
tekemähän terveyttä,
rauhoa rakentamahan"

Kalevala

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

KEMIN ELIJÄRVEN KAIVOKSEN SERPENTINIITTIYTYNEISTÄ PERIDOTIITTISISTA SAUNAN KIUASKIVISTÄ ILMAAN IRTOAVAT KUITUMAISET SILIKAATTIMINERAALIT

TUTKIMUKSEN TAVOITE

Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään irtoaako Elijärven serpentiniittiytyneistä peridotiittisista saunan kiuaskivistä saunomisen aikana ilmaan mahdollisesti asbestia tai muita kuitumaisia silikaattimineraaleja. Kiuaskiven mineraaliominaisuuksia ei ole juuri Suomessa aikaisemmin selvitetty. Tutkimuksessa käytetyt kivet ovat markkinoilla myytäviä saunan kiuskiviä.

Kuitumaiset silikaattimineraalit, kuten asbesti, ovat terveydelle vahingollisia, etenkin ne voivat aiheuttaa keuhkosairauksia. Muotonsa puolesta nämä mineraalit eivät poistu keuhkoista ja aiheuttavat siten haittavaikutuksia hengityselimistölle. Laajan käytön vuoksi kuitumaisten silikaattimineraalien aiheuttamia terveyshaittoja on tutkittu viime aikoina paljon.(Laitinen 1990).

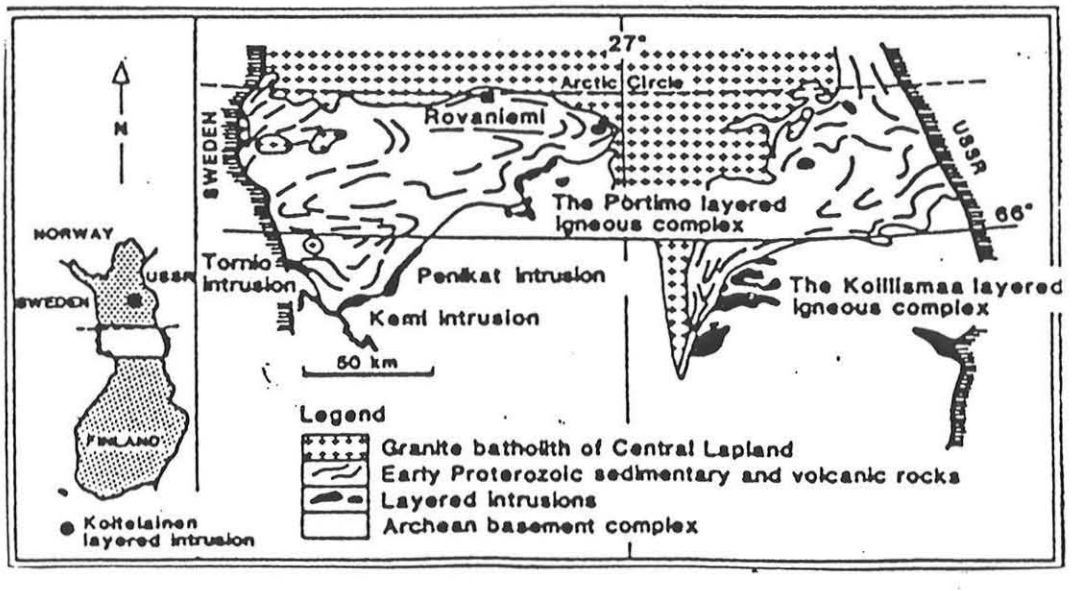
Oulun Aluetyöterveyslaitoksen lämpöolosuhdelaboratoriossa eli koesaunassa selvitettiin saunakivistä ilmaan irtoavan pölyn kuitupitoisuus. Koeolosuhteet vastasivat normaalia kylpemistä. Ilmassa oleva pöly kerättiin polykarbonaattisuodattimille ja kuitumaiset partikkelit laskettiin suodattimilta elektronimikroskoopin avulla. Suodattimilta ei havannoitu muuta kuin kuitumaiset silikaattimineraalit ja muuhun mineraalipölyyn ei kiinnitetty huomiota.

Kivien kuitupitoisuus (p-%) määritettiin elektronimikroskoopilla, jonka avulla identifioitiin kivissä mahdollisesti olevat mineralogiset kuitumaiset silikaattimineraalit, jolloin tutkittavan fraktion raekoko vakioitiin nestesedimentoinnilla kokoluokkaan alle 20 mikrometriä

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

ALUEEN YLEISGEOLOGIAA

Kemin intruusio kuuluu varhaisproterotsooisiin kerrosintruusioihin ja on iältään noin 2440 Ma. Tällaisia intruusioita tavataan laajalla alueella Fennoskandian kilven keski- ja itäosissa; Suomessa, Ruotsissa ja Neuvostoliitossa. Saman ikäisiä kerrosintruusioita tai laajoja juoniparvia esiintyy muualla eri puolilla maapalloa, ja ne ovat saaneet syntynsä proterotsooisen kauden alussa purkautuneen emäksisen magman kiteytyessä. Merkittäväksi Kemin intruusion tekee se, että sieltä on löydetty kromiittia, jota Outokumpu yhtiö on menestyksellisesti louhinut vuodesta 1966 lähtien (Alapieti *et al* 1990).



Kuva 1. Varhaisproterotsooiset kerrosintruusiot Pohjois-Suomessa (Alapieti *et al* 1989).

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Kallioperän yleispiirteet

Kemin ympäristön kallioperästä voidaan erottaa kolme eri geologista yksikköä (Perttunen 1991);

1) Pudasjärven arkeeinen graniittigneissikompleksi, joka muodostaa kerrostumisalustan nuoremmille kiville.

2) Kerrosintruusiot.

3) Varhaisproterotsooiset Peräpohjan alueen liuskeet.

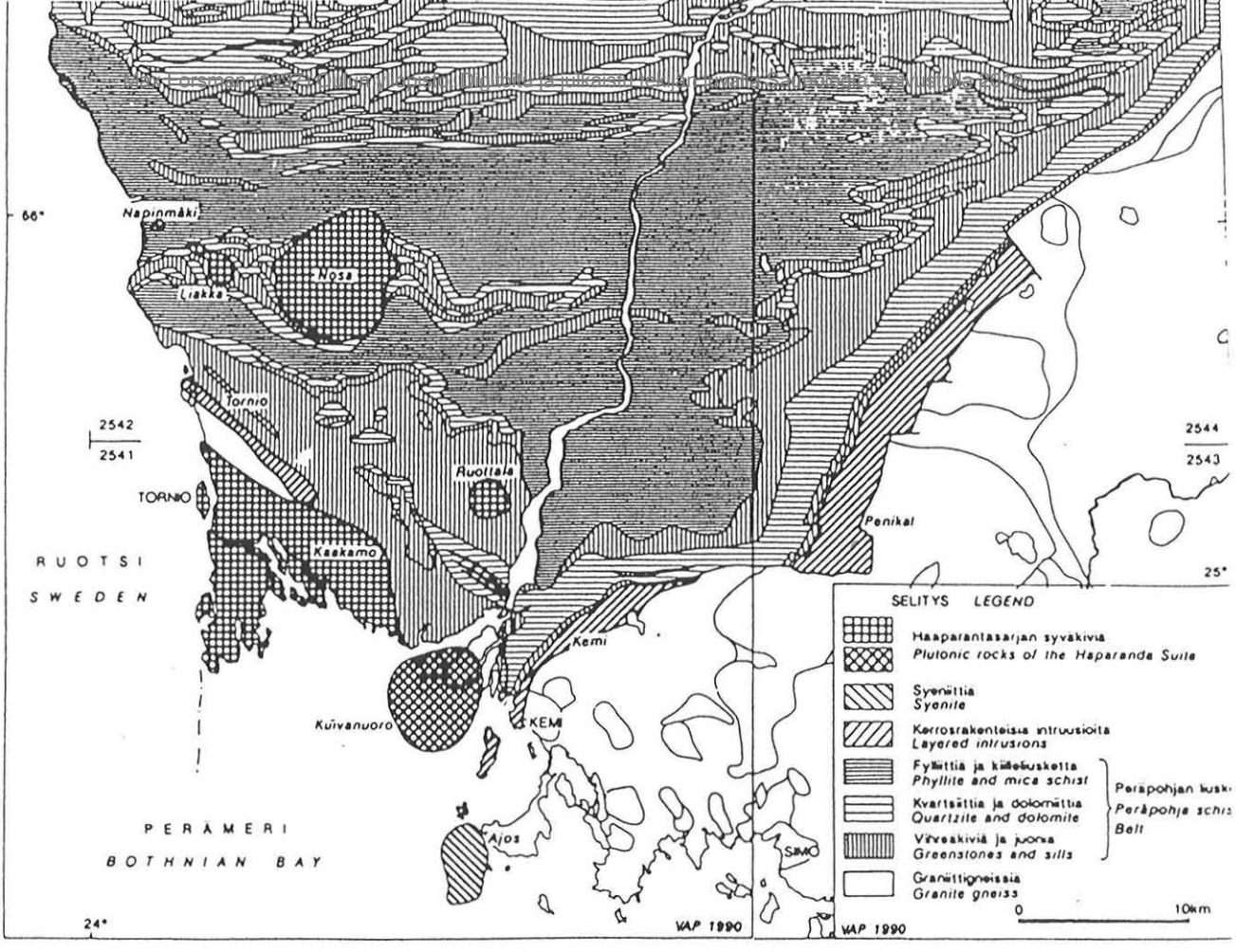
4) Happamat-intermediääriset syväkivet.

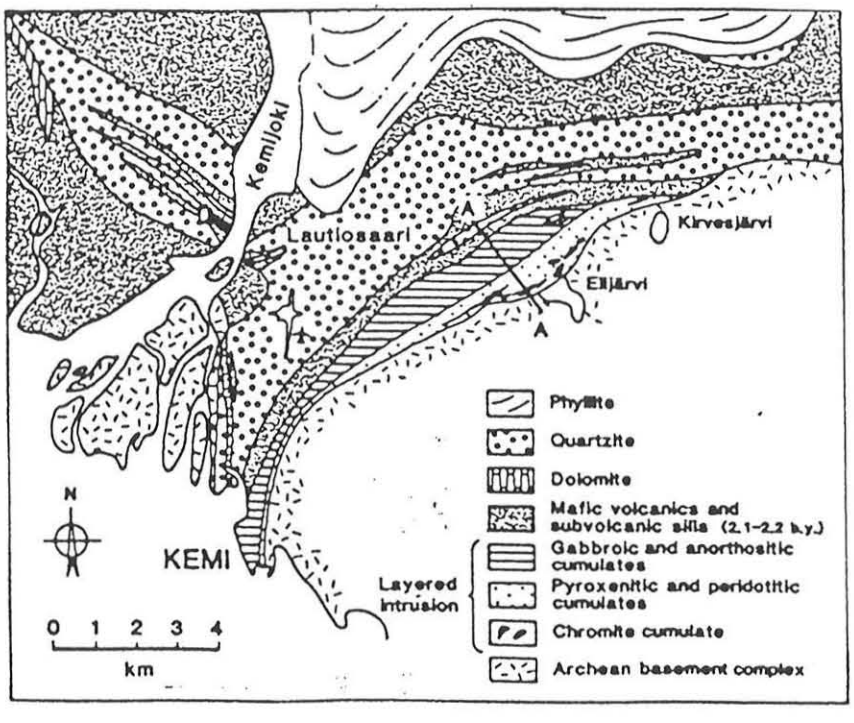
Peräpohjan liuskeiden ja Pudasjärven graniittigneissikompleksin saumassa on kolmen varhaisproterotsooisen kerrosrakenteisen intruusion jono, johon Kemin intruusion lisäksi kuuluvat myös Tornion ja Penikkain intruusiot (Perttunen1991).

Kaakkoisosassa sijaitsevan, myöhäisarkeeisen, 2662 Ma ikäisen Pudasjärven graniittigneissikompleksin (eli pohjangneissin) pääkivilajeja ovat keski-karkearakeiset, syväkivimäiset gneissit. Kompleksi on läpikäynyt amfiboliittifasieksen metamorfiset olosuhteet. Se on poimuttunut ja migmatisoitunut ennen syväkivien intrudoitumista ja Peräpohjan liuskeiden kerrostumista. Pudasjärven graniittigneissikompleksin vanhimpia kiviä ovat vihreäkivet.

Peräpohjan liuskeet ovat kerrostuneet varhaisproterotsooisena aikana intruusioiden ja Pudasjärven graniittigneissikompleksin päälle. Fylliitin ja dolomiitin lisäksi Peräpohjan liuskealueen sedimenttikerrosten välissä esiintyy vulkaniitteja. Liuskealueen kivet ovat metamorfoituneet pääosin vihreäkivifasieksessa.

Happamat-intermediääriset syväkivet koostuvat pääosin Haaparantasarjan syväkivistä ja syeniitistä. Suurin osa Haaparantasarjan syväkivistä on mineraalikoostumukseltaan kvartsimontsodioriitteja, tonaliitteja, granodioriitteja, kvartsidioriitteja ja dioriitteja. Syväkivien iäksi on saatu 1890 Ma. (Perttunen 1991)





Kuva 2. Kemin intruusion ja sen lähiympäristön geologinen yleiskartta.(Alapieti *et al* 1989, Perttunen 1991)

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

KEMIN INTRUUSIO

Kemin intruusio on muodoltaan linssimäinen. Se on pituudeltaan noin 15 km leveyden vaihdellessa 200 metristä 2 kilometriin, ja se ulottuu alaspäin aina noin 2 km syvyyteen (Lerssi 1990). Myöhemmissä tektonisissa liikunnoissa, Svekokarjalaisessa orogeniassa 1900-1700 Ma, intruusio on kallistunut siten, että kerroksellisuuden kaade on nyt noin 70 astetta luoteeseen (Alapieti *et al* 1989).

Intruusion alapuolella on happamia, Pudasjärven graniittigneissikompleksiin kuuluvia kivilajeja, jotka muodostavat epäsäännöllisen kontaktin intruusion kanssa. Ne ovat intruusion lähellä metasomaattisesti muuttuneet albiittirikkaiksi kivilajeiksi (Perttunen 1991). Intruusiota leikkaavat albiittijuonet ovat näitä metasomaattisesti muuttuneita albiittikivilajeja nuorempia (Reino 1973). Myös pohjasta peräisin olevat happamat ksenoliitit, jotka ovat tyypillisiä intruusion reunavyöhykkeelle, ovat osoitus pohjan ja intruusion välisestä voimakkaasta vuorovaikutuksesta (Alapieti *et al* 1990).

Kattopuolella on intruusiota nuorempia mafisia vulkaniiteja tai hybabyssisia kerrosjuonia, iältään 2150 Ma (Saukko 1971). Heti intruusion päällä on intruusiota nuorempaa polymiktistä konglomeraattia (Sompujärven muodostuma), jonka tarkkaa ikää ei tunneta (noin 2300 Ma). Ennen konglomeraatin kerrostumista erodoituivat alkuperäiset kattopuolen kivet ja intruusion yläosat pois.

Intruusion rakenne

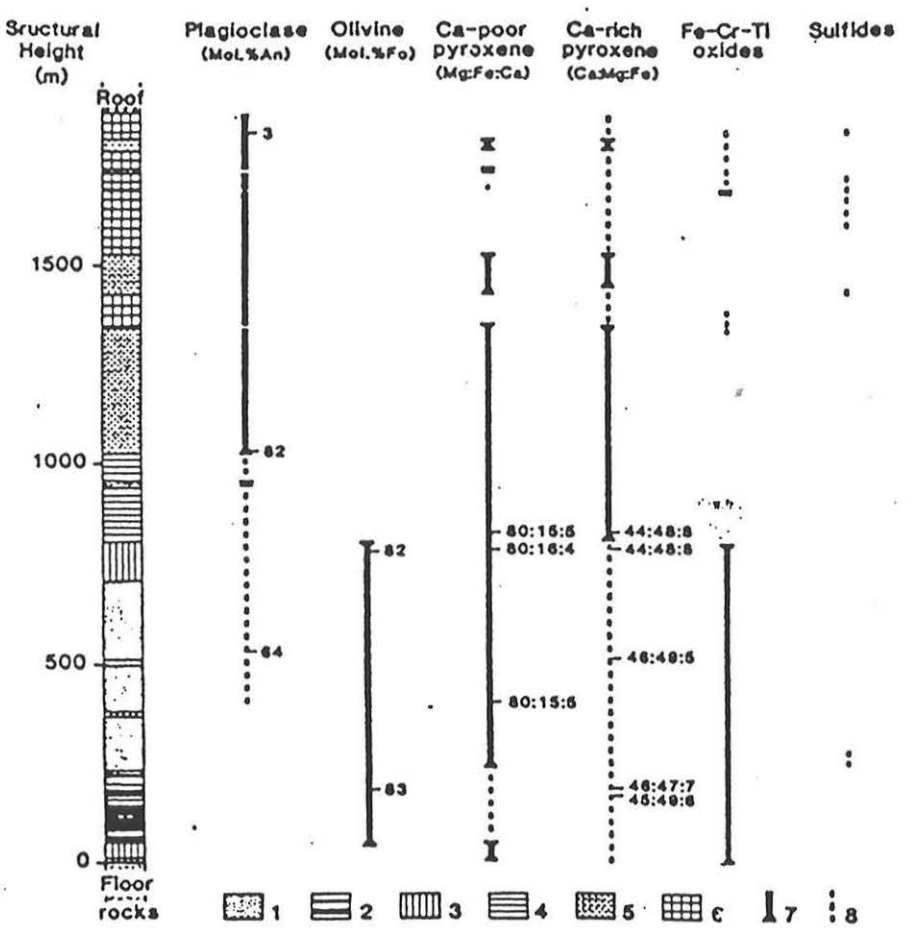
Kemin kerrosintruusiossa on magmaattinen kerrosrakenne. Sen alaosissa on ultramafisia ja mafisia kivilajeja (Alapieti *et al* 1989), koostuen peridotiitti- ja pyrokseenikumulaateista. Kumulusmineraaleina alemmissa osissa ovat: oliviini, kromiitti ja paikoin bronziitti. Intruusion keskivaiheilla tulevat augiitti ja bronziitti kumulusmineraaleiksi. Yläpuolen gabbromaisemmissa osissa on plagioklaasi kumulusmineraalina (Alalpieti *et al* 1989). Interkumulusfaasiin kuuluu lisäksi myös alkalimaasälpää ja kvartsia (Alapieti *et al* 1989). Intruusion yläosat ovat leukokraattisempia (Alapieti *et al* 1989).

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Svekokarjalaisen orogenian aikana Kemin intruusioalue läpikävi amfiboliittifasiesasteen metamorfoosin. Tällöin alkuperäiset kivet muuttuivat kokonaan intruusion alimmissa ja ylimmissä osissa, kun taas keskiosa säilyi lähes muuttumattomana.

Muuttumisen johdosta ala- ja yläosan mafiset mineraalit muuttuivat kloriitiksi, serpentiiniksi, talkiksi, amfiboliksi ja karbonaateiksi (Alapieti *et al* 1989). Karttalehdellä on yleisesti huomioitavissa alueen länsiosissa metamorfoosiasteen kasvu, joka johtunee osaksi Haaparantasarjan syväkivien intrudoitumisen aikaisen lämpötilan kohoamisesta (Perttunen 1991).

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.



Kuva 3. Kemin intruusion stratigrafia ja mineraaleissa tapahtuva kryptinen vaihtelu. 1. Peridotiitti. 2. Kromiitti. 3. Bronziitti ja oliviini-bronziitti. 4. Websteriitti ja diallagiitti. 5. Gabronoriitti ja gabro. 6. Leukogabro ja anortosiitti. 7. Kumulusmineraali. 8. Interkumulusmineraali. (Alapieti *et al* 1989).

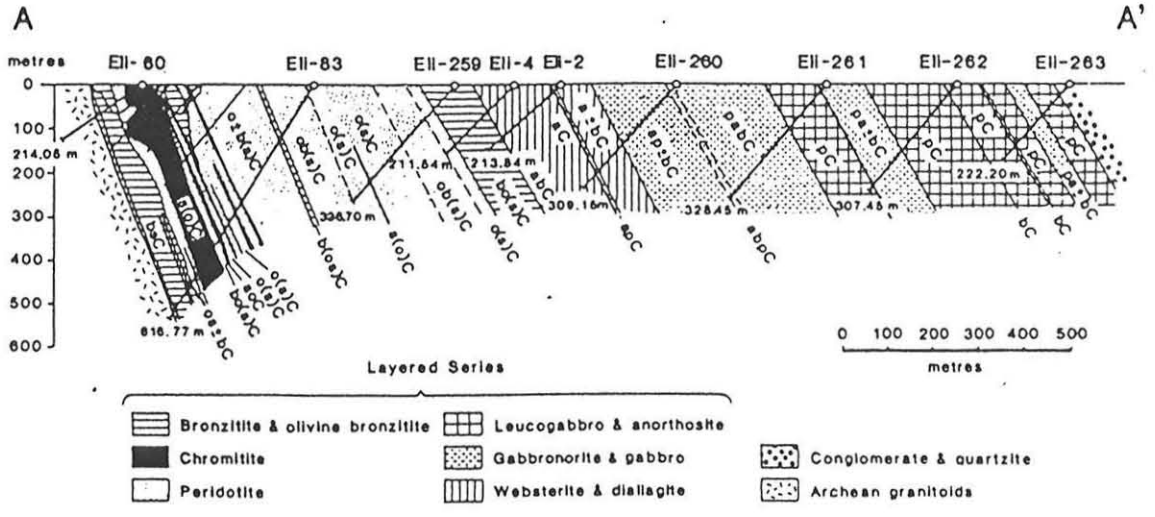
Elijärven kaivos

Intruusion ja Pudasjärven graniittigneissin kontaktissa on myloniittinen talkki-kloriittiliuske, vahvuudeltaan 5-50 m (Alapieti *et al* 1989). Tämä edustaa alinta kivilajia intruusiossa. Sen yläpuolella on heterogeeninen ultramafiitti, jossa vaihtelevat peridotiittiset-, pyrokseniittiset-, duniittiset- ja kromiittimalmikerrokset (Grönholm 1992). Kromiittimalmikerroksen yläpuolella on 550 m metaperidotiittia, jossa on

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

oliviinia, kromiittia ja bronziittia kumulusmineraaleina. Peridotiitissa on noin 15 kromiittirikasta kerrosta, paksuudeltaan 5 cm:stä 2,5 m:iin (Alapieti *et al* 1989). Ylin kromitiitti sijaitsee noin 370 m pääkromiitin yläpuolella. Kromimalmin ympärillä on metaperidotiittinen vyöhyke, jossa peridotiitti on muuttunut serpentiniitti- ja talkki-karbonaattikiviksi (Alapieti *et al* 1989). Tästä vyöhykkeestä louhitaan tutkittavat kiuaskivet.

Muodostuman yläosa koostuu amfiboliutuneista, anortosiittisia välikerroksia sisältävistä pyrokseenigabroista. Pyrokseenigabrot ovat muodostuman ultraemäksisten osien lähellä terveitä ja koostumukseltaan noriitteja. Kuvassa 4 näkyvä gabrohorisontti on paksuimmillaan noin kilometrin paksuinen.



Kuva 4. Läpileikkaus A-A′ Kemin intruusiosta perustuen kairausprofiileihin. (Alapieti *et al* 1989)

Leikkaavat juonet

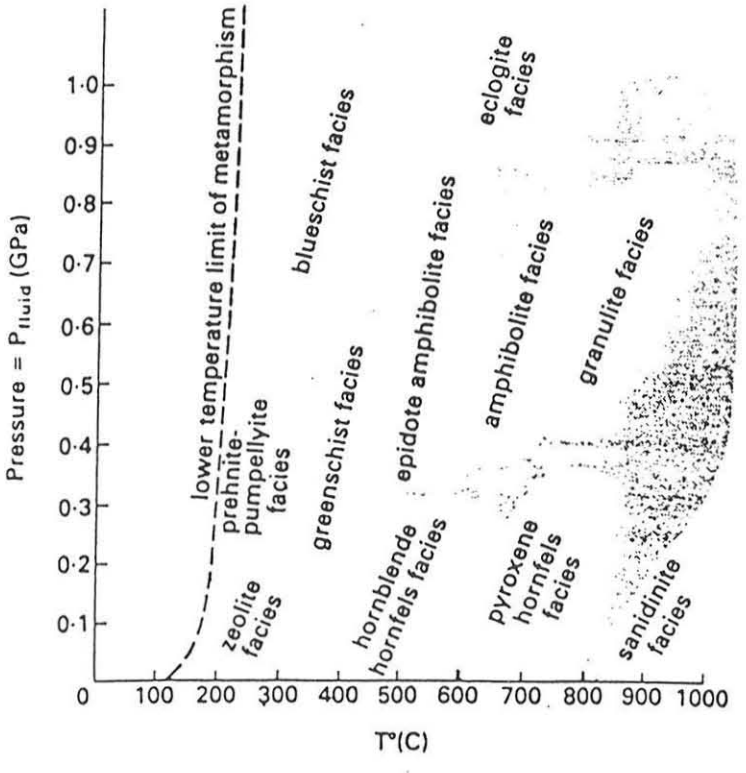
Intruusiota leikkaavat albiittidiabaasijuonet ovat paksuudeltaan muutamasta cm:stä noin 20 metriin. Paksuimpien juonten reunaosat ja ohuemmat juonet ovat kauttaaltaan kloriittituneet. Hienommat ja tasarakeisemmat albitiittijuonet ovat paksuudeltaan metristä 10 metriin paksuja. Ohuita graniittisia juonia esiintyy runsaimmin pohjan kontaktin läheisyydessä.(Alapieti *et al* 1989)

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Muita harvinaisempia juonikiviä ovat kvartsikeratofyyri- ja kvartsijuonet sekä kiisuja ja kultaa sisältävät karbonaatti-maasälpäjuonet (Grönholm 1992).

Alueen metamorfoosi

Kemin intruusio on läpikäynyt alhaisen asteen amfibolifasieksen metamorfoosin Svekokarjalaisen orogenian aikana (Alapieti *et al* 1989), 1900-1700 Ma (Simonen 1980), jonka vaikutuksesta lähinnä intruusion ylä- ja alaosat ovat olleet muuutoksen vaikutuksen alaisia. Amfibolifasieksessa paine vaihtelee noin 2-12 kbar välillä ja lämpötila 500-700 asteen välillä, syvyyden vaihdellessa 10 km:sta ja 45 km:iin (Yardley 1989). Amfibolifasieksen olosuhteet saavutetaan tosin myös matalammilla syvyyksillä, koska päällä olevat kivet aiheuttavat paineen kasvua alempiin kerroksiin omalla massallaan, tällöin puhutaan litologisesta paineesta.



Kuva 5. Metamorfiset asteet ja fasiekset (Miyashiro 1973 mukaan).

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

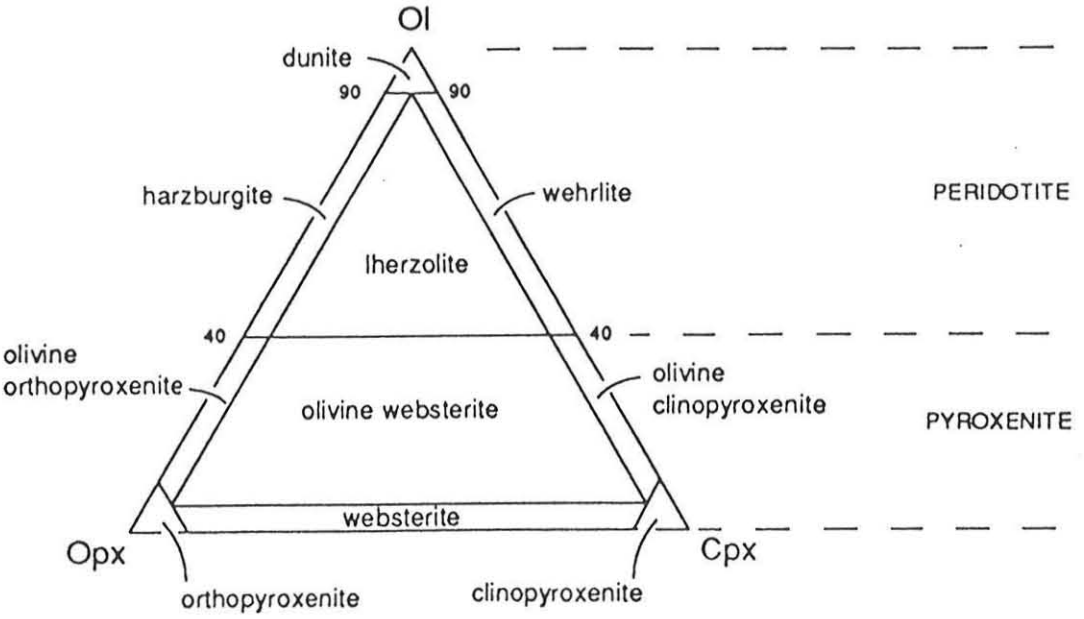
Kloriitin, joka on syntynyt metamorfoosin yhteydessä eli on sekundäärinen, voidaan katsoa indikoivan alhaisemman asteen metamorfoosia (Winkler 1979). Muuttuneiden kivien runsaat karbonaattimäärät osoittavat, että muuttumistapahtumaan osallistui ulkopuolelta tulleita fluideja (Alapieti *et al* 1989). Veden mukana olo metamorfoosissa alentaa myös osaltaan kivien sulamislämpötiloja (Mason & Moore 1982), mikä puolestaan mahdollistaa matalammat syvyydet. Samalla alenevat kivien kiteytymislämpötilat, mikä mahdollistaa kiteytymisen alhaisemmissa lämpötiloissa. Näin saavutetaan amfibolifasieksen olosuhteet aikaisemmin.

Metamorfoosin takia intruusion alkuperäiset magmaattiset silikaatit ovat kokonaan muuttuneet sekundäärisiksi mineraaleiksi; serpentiiniksi (joksi oliviini muuttuu alemmassa lämpötilassa veden vaikutuksesta), kloriitiksi, amfiboliksi (pyrokseenit muuttuvat helposti amfiboliksi), talkiksi (ortopyrokseenin muuttuminen, kun hiilidioksidia on läsnä) ja karbonaateiksi. Muuttuminen on ollut voimakkainta juuri intruusion ylä- ja alaosissa, kun taas keskiosa on säilyttänyt alkuperäisen koostumuksensa. Muuttumisesta huolimatta kivet ovat säilyttäneet kumulusrakenteensa suhteellisen hyvin ja monia primäärisiä mineraaleja voidaan hyvin tunnistaa pseudomorfien avulla (Alapieti *et al* 1989).

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

PERIDOTIITIN LUOKITTELU

Peridotiitti on yleisnimitys ultramafisille kiville, jotka koostuvat pääasiassa oliviinista ja pyrokseenista ja/tai amfibolista (Le Maitre1989), eli tummien mineraalien osuus on 85 - 95 %. Lisäksi ne voivat sisältää malmimineraaleja 10 - 3 %. Peridotiittiluokan kiville on tunnusomaista hyvä lämmönvarastointikyky ja lämmönkestävyys, ja ne ovat kiisuvapaina sopivia saunan kiuaskiviä.



Kuva 6. Peridotiitti ja pyrokseeni erotetaan toisistaan oliviinin (Ol), ortopyrokseenin (Opx) ja kliinopyrokseenin (Cpx) määrien perusteella (Streckeisen 1973).

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Peridotiitit sisältävät oliviinia enemmän kuin 40% (Le Maitre 1989) ja ne jaetaan duniitteihin, harzburgiitteihin, lherzoliitteihin ja wherliitteihin.

Duniitti on peridotiitti, joka koostuu melkein yksinomaan oliviinista.
Harzburgiiti koostuu pääasiassa ortopyrokseenista ja oliviinista.
Lherzoliitissä on oliviinia, klinopyrokseenia ja ortopyrokseenia.
Wherliitti koostuu pääasiassa oliviinista ja klinopyrokseenista.

Serpentiniitti on syväkivi, joka koostuu miltei yksinomaan serpentiinistä. Alkuperäisistä oliviineista ja pyrokseeneista voi olla jäänteitä ja kromiitti tai kromispinellit ovat tavallisia. Serpentiniitti on siis muuttunutta peridotiittia (Le Maitre 1989). Rapautumispinta on tumma tai tumman vihreä ja mattamainen.

Metamorfoosissa tapahtuu kiinteiden kivilajien mineraloginen ja rakenteellinen "uudelleen" järjestely niissä fysikaalisissa ja kemiallisissa olosuhteissa, jotka vallitsevat syvällä rapautumis- ja iskostumispintakerrosten alapuolella ja jotka poikkeavat kyseisten kivilajien alkuperäisistä olosuhteista. Rapautuminen tai sedimenttiaineksen iskostuminen ei siis ole metamorfoosia.

Kiven nimeen voidaan liittää etuliite meta, kuvaamaan sitä että kivi on läpikäynyt jonkin asteisen metamorfisen muutoksen. Tässä tapauksessa voidaan muuttuneesta peridotiitista käyttää nimeä metaperidotiitti. Kemin intruusiossa on kuitenkin useita eri peridotiitin muuttumisvyöhykkeitä, jotka voidaan erottaa toisistaan mineraalikoostumuksensa perusteella. Jatkossa tulen käyttämään Elijärven metaperidotiitista nimitystä serpentiiniperidotiitti, josta käy samalla ilmi päämineraalin nimi eli serpentiini.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

ASBESTI

viite / peikko

Asbesti Glossary of Geolygyn määrittelemänä:

a) Asbesti on kaupallinen termi silikaattimineraaliryhmälle, jolle on ominaista hajoaminen ohuiksi, vahvoiksi kuiduiksi jotka ovat joustavia, lämmönkestäviä ja kemiallisesti reagoimattomia. Ne soveltuvat hyvin käyttökohteisiin, joissa vaaditaan tulen kestävyyttä, sähkön eristyskykyä tai kemiallista kestävyyttä.

b) Asbestimineraaliryhmä; krysotiili ja tiettyjä amfibolin kuituisia muunnoksia (esim. amosiitti, antofylliitti ja krokidoliitti).

c) Termi, joka käsittää vain aktinoliitin kuitumaisen muunnoksen. Synonyymeja; asbestus, amianthus, earth flax, mountain flax.

Historiallinen katsaus

Arkeologisten tutkimusten avulla on selvitetty, että Itä-Suomessa, Juojärven alueella, on käytetty asbestia jo 2500 e.Kr. Asbestia käytettiin saviastioiden vuoraamiseen, koska se on kuitumaisen rakenteensa vuoksi hyvä sidosaine savelle. Vuoraamiseen käytetty asbesti oli koostumukseltaan antofylliittiasbestia. Kivikaudelta lähtien asbestin käyttö on jatkunut läpi pronssi ja rautakauden aina nykypäivään saakka. Sen käyttö lisääntyi voimakkaasti aina 1920-luvulle. Samaan aikaan tehtiin myös ensimmäiset havainnot asbestin terveydellisistä haitoista ihmiseen.(Laitinen 1990)

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Yleistä asbestista

Asbesti on yleisnimitys luonnossa esiintyville epäorgaanisille kuitumaisille silikaattimineraaleille, jotka koostuvat piin ja hapen muodostamista ketjurakenteista (Junttila *et al* 1994). Asbestin palamattomuus, hyvä lämmön- ja sähköneristyskyky ja kemiallinen kestävyys (Bates & Jacson 1987) tekevät siitä halutun materiaalin kohteisiin, joissa vaaditaan hyvää kulutuskestävyyttä (Riala 1995). Asbestin tunnusomainen piirre on taipumus hajota aktiivisesti yhä pienempiin osasiin, vahvoiksi, ohuiksi ja taipuisiksi kuiduiksi säilyttäen silti kuitumaisen muotonsa. Kuitujen ollessa joustavia, ne säilyttävät kuitumaisuutensa myös mekaanisessa käsittelyssä. Nämä poikkeukselliset ominaisuudet johtuvat kiderakenteesta.(Laitinen 1990)

Valtioneuvoston päätöksessä asbestityöstä (VnP 1380/94) asbestilla tarkoitetaan seuraavia kuitumaisia silikaattimineraaleja:

-Aktinoliitti	CAS No 77536-66-4
-Amosiitti	CAS No 12172-73-5
-Antofylliitti	CAS No 77536-67-5
-Krysotiili	CAS No 12001-29-5
-Krokidoliitti	CAS No 12001-28-4
-Tremoliitti	CAS No 77536-68-6

Kuitumaisia asbesteja terveysvaikutuksiltaan muistuttava silikaattimineraali on:

-Erioniitti CAS No 12150-42-6

Suomen standardoimisliiton standardin SFS 3868 (28.9.1981) mukaan valomikroskoopilla tutkittaessa kuiduksi lasketaan kuitu, jonka pituus on vähintään 5 mikrometriä, läpimitta korkeintaan 3 mikrometriä ja pituuden suhde läpimittaan on vähintään 3:1 (SFS 3868).

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Asbestimineraaliryhmät

Mineralogisena terminä asbesti tarkoittaa eri mineraalien asbestimuotoisia tyyppejä eli asbestikuidut ovat muodostuneet kiteytymällä (Campbell *et al* 1977, Wylie 1988). Lohkeilemalla muodostuneet kuidut eivät näin ollen ole mineralogiselta perusteeltaan asbestia (Campbell *et al* 1977, Wylie 1988).

Asbestin mineraloginen määritelmä perustuu osittain mineraalin ulkoasuun, geologiseen syntytapaan ja yksittäisen kuidun lujuusominaisuuksiin (Junttila *et al* 1994). Asbestimineraalit voidaan jakaa kahteen ryhmään: serpentiini- ja amfiboliasbestiin.

Serpentiiniasbesti

Krysotiili eli kuituinen serpentiini on serpentiiniryhmän asbesti.
Sen kemiallinen kaava on:

$$(Mg,Fe,Ni)_3Si_2O_5(OH)_4$$

ja se kuuluu verkkosilikaatteihin. Kuitumaisen ulkoasunsa se on saanut kerrosmaisten levyjen kääriytyessä rullalle, jolloin syntyy putkimaisia ja taipuisia säikeitä (Ross 1981). Krysotiilin kulutuskestävyys ja taipuisuus johtuu sen säikeiden pintaosien kovuudesta ja kestävyydestä, sisäosien ollessa huomattavasti pehmeämpiä (Laitinen 1990). Pintaosien lujuus johtuu sidosten lujuudesta (lyhyempiä) ja ne ovat kaksiulotteisia (Zoltai 1981).

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Amfiboliasbesti

Amfibolien yleinen kemiallinen kaava on:

$$A_{0-1}B_2C_5T_8O_{22}(OH,F,Cl)_2$$

missä A=Na,K,Ca
B=Na,Li,Ca,Mn,Fe^{2+},Mg
C=Mg,Fe^{2+},Mg,Fe^{3+},Ti,Cr
T=Si,Al,Ti.

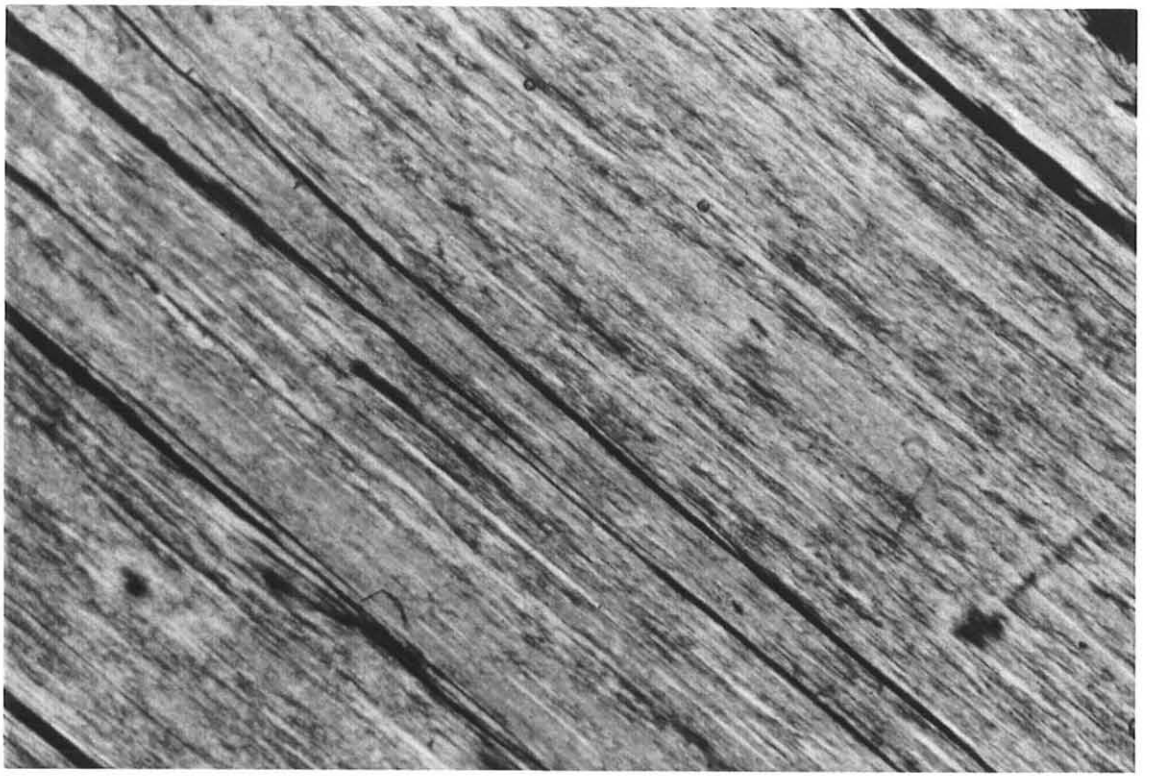
Amfibolit kuuluvat nauhasilikaatteihin, niiden kiderakenteen muodostuessa rakenneyksiköistä, jotka sitoutuvat toisiinsa happiatomein muodostaen jatkuvan kaksoisketjurakenteen. Amfiboliasbestien kiderakenne on periaatteessa amfibolien kaltainen, siinä on paljon enemmän katkoksia, siirtymiä ja vaihteluja kiteytymistasossa. Jotta amfibolista kehittyisi asbestimainen rakenne, tarvitaan kiderakenteeseen voimakasta puristusta tai kiteytymisen on tapahduttava nopeasti.

Amfiboliasbesteihin kuuluvat; amosiitti eli kuituinen kummingtoniitti-gruneriitti, krokidoliitti eli kuituinen riebekiitti ja kuituinen antofylliitti sekä tremoliitti ja aktinoliitti (McCrone 1980, Ross ym. 1984). Krysotiili, krokidoliitti ja amosiitti ovat kyseisten mineraalien asbestimuunnoksia, kun taas antofylliitti, tremoliitti ja aktinoliitti voivat esiintyä rakeisessa, sälöisessä ja kuituisessa muodossa (Junttila *et al* 1994).

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Teoksessaan "Discriminating amphibole cleavage fragments from asbestos: rationale and methodology" (1990) Wylie nimittää mineralogisesti asbestimaisiksi kuiduiksi

1. kuituja, joiden pituus on yli 5 mikrometriä ja pituuden suhde leveyteen on yli 20:1,
2. kuituja, jotka ovat hyvin ohuita fibrillejä, läpimitaltaan yleensä alle 5 mikometriä,
3. kuituja, joilla on seuraavista ominaisuuksista ainakin kaksi:
    a) kimppuina esiintyvät yhdensuuntaiset kuidut
    b) tasapäiset kuitukimput
    c) ohuet neulasmaiset kuidut
    d) yksittäiset mattomaisina massoina esiintyvät kuidut
    e) taipuisilta näyttävät kuidut



Kuva 7. Mikroskooppivalokuva tremoliittiasbestijuonesta.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Työhygieeniset raja-arvot

Työhygieenisiä mittauksia ja mikroskooppista kuitulaskentaa varten käytetään toisenlaisia asbestin- ja mineraalikuidun määritelmiä. Niissä otetaan ensisijaisesti huomioon pölyhiukkasen kemiallinen koostumus ja mikroskooppisesti määritettävissä olevat hiukkasten muodot ja dimensiot (Chatfield 1984, Kelse & Thompson 1989).

Kuitupitoisuuksia verrataan työsuojeluhallituksen turvallisuus tiedotteessa 25 "HTP-arvot 96" annettuihin haitallisiksi tunnettuihin pitoisuuksiin (HTP), jotka on ilmoitettu 8 tunnin keskipitoisuuksina (Työministeriö 1996). Asbestille HTP-arvo on 0,3 kuitua/cm^3 ilmaa sisätiloissa, mikä on myös valtioneuvoston päätös (Vnp 1380/94). Louhosten HTP-arvo on 0,5 kuitua/cm^3. Perustuen valomikroskooppisiin laskelmiin standardin SFS 3868 mukaisesti. Ruotsin työhygieeninen raja-arvo on 0,2 kuitua/cm^3 ilmaa, koskien muita asbestilaatuja paitsi krokidoliittia (AFS 1990).

Materiaaleista peräisin olevan asbestin pitoisuusrajoista ei Suomessa ole annettu määräyksiä. Lääkintöhallituksen suosituksen mukaan tulee ryhtyä toimenpiteisiin asbestin poistamiseen asuinrakennusten sisäilmasta, jos ilma sisältää enemmän kuin 0,01 kuitua/cm^3 yli 5 mikrometrin pituisia kuituja. Samaa pitoisuutta on asbestikomitea ehdottanut myös normiksi sisäilman asbestipitoisuudeksi asunnoissa ja julkisissa rakennuksissa. Saunan ilmaa koskevaa asbestipitoisuuden määrää ei ole erikseen määritetty. Tulosten vertailussa tutkimuksessa käytettiin puhtaalle saunan ilmalle samaa kuitupitoisuusrajaa kuin puhtaalle huoneilmalle eli 0,01 kuitua/cm^3.

Suomessa asbestin tai asbestipitoisten tuotteiden valmistus ja maahantuonti on kielletty valtioneuvoston päätöksen (Vnp 852/92) mukaan 1. tammikuuta 1993 lähtien, koskien myös myymistä ja käyttöönottamista 1. tammikuuta 1994 lähtien. Asbestilla tarkoitetaan serpentiini- ja amfibolimineraalien kuitumaisia muotoja. Valtioneuvoston päätökset eivät koske sellaisten kivilajien louhimista tai jalostamista, jotka sisältävät asbestia epäpuhtautena. Päätös sallii myös näistä valmistettujen tuotteiden käytön maarakennus- ja maanparannustarkoituksiin (Vnp 852/1992).

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Euroopan unionin direktiivin säännökset asbestista

Euroopan yhteisön direktiivissä (91/659/EEC) kielletään asbestia (krokidoliittia, amosiittia, antofylliitti-, aktinoliitti- ja tremoliittiasbestia) sisältävien tuotteiden markkinointi ja käyttö, joihin asbestikuidut on tarkoituksella lisätty (EC 1991b). Krysotiilin käyttö tienpäällystemateriaalissa on sallittu, jos sen pitoisuus materiaalissa on alle 2 %. Työpaikkailmassa krysotiilin raja-arvo on 2,6 kuitua/cm^3 ilmaa, muille asbestilaaduille ja -seoksille raja-arvo on 0,3 kuitua/cm^3 ilmaa (direktiivi 91/382/EEC).

Asbestin esiintyminen Suomessa

Suomessa varsinaisen asbestin esiintyminen kallioperässä on suhteellisen harvinaista, paikoin havaitaan kuitenkin runsaita tremoliitti-aktinoliitti esiintymiä lähinnä amfiboliiteissa, emäksisissä vulkaniiteissa tai muissa ns. tummissa kivissä. Asbestin luonnollisia isäntäkiviä ovat Mg- ja Fe-rikkaat kivilajit kuten esim. ultraemäksiset ja ultramafiset kivilajit. Suomessa nämä kivilajit ovat usein muuttuneita, joko serpentinisoituneet, amfibolisoituneet tai metasomaattisesti muuttuneita karbonaattikiviä. Kalkkikiven yhteydessä esiintyvät ns. karsikivet, jotka ovat syntyneet kalkkikiven ja silikaattikiven kontaktivyöhykkeeseen sekä raitaiset rautamuodostumat, ovat koostumukseltaan myös sopivia asbestimineraalien isäntäkiviä. (Junttila *et al* 1994)

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Taloudellisesti hyödynnettävät asbestiesiintymät voidaan geologisesti jakaa seuraavasti (Ross 1981):

1. Alppilais tyyppiset ultramafiset esiintymät, kuten ofioliitit
- krysotiili, antofylliitti, tremoliitti
2. Ultramafiset kerrosintruusiot
- krysotiili, tremoliitti
3.serpentiiniytyneet kalkkikivet
- krysotiili
4. Raitaiset rautaesiintymät
- amosiitti, krokidoliitti

Kemin Elijärven kaivos edustaa ryhmää 2 eli ultramafiset kerrosintruusiot.

Esiintyminen kivessä

Asbesti voi olla kivessä poikittais- tai vinokuituisina juonina, verkkomaisesti kasvaneina mattoina, säteettäisesti tai massiivisesti (Zoltai 1981). Sitä voi esiintyä myös kuiduttomassa kivessä sen muuttumisvyöhykkeissä, raontäytteenä, juonina, pesäkkeinä, siirrospinnoilla ym. paikoissa.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

ASBESTI JA TERVEYSHAITAT

Mineraalipölyistä aiheutuvat pölykeuhkosairaudet eli pneumokonioosit voidaan taudin kuvan mukaan jakaa kahteen luokkaan; keuhkokudosta arpeuttavaan eli fibrosoivaan ja ei-fibrosoivaan luokkaan. Tavallisimmat pölykeuhkosairaudet on yleensä nimetty taudin aiheuttaneen mineraalin mukaan esim. asbestoosi, silikoosi, talkoosi jne.

Ihmisen ylemmät hengityselimet suodattavat tehokkaasti 10 mikrometriä suuremmat hiukkaset. Keuhkojen oma puolustusmekanismi puolestaan toimii tehokkaasti sitä pienempiä hiukkasia vastaan, siirtäen hiukkaset keuhkoputkiin takaisin nieluun kuljetettavaksi. Kuitumaiset mineraalit mm. asbestit ovat jo pelkän asunsa vuoksi hengityselimille hankalia puhdistettavia. Kuitumaiset hiukkaset viipyvät olomuotonsa takia kauemmin keuhkokudoksessa ja näin mahdolliset muut haittavaikutukset voimistuvat. (Hwang 1983, Laitinen 1990)

Asbestipöly, joka kuuluu keuhkokudosta arpeuttavaan eli fibrosoivaan luokkaan, aiheuttaa keuhkokudoksen sidekudoslisää eli asbestoosia, keuhkosyöpää, mesotelioomaa eli keuhkopussin pahalaatuinen kasvain (Vainio 1991). Asbestoosi on pölykeuhkosairauksista pahin, sillä taudin eteneminen jatkuu, vaikka altistuminen pölylle olisikin jo loppunut (Laitinen 1990). Aikaa, joka kuluu altistumisen ja taudiksi puhkeamisen välillä kutsutaan latenssiajaksi. Asbestin aiheuttamille sairauksille se on yleensä 20 - 25 vuotta (Laitinen 1990). Asbestista johtuvat syöpäsairaudet johtavat yleensä kuolemaan 1 - 2 vuoden kuluttua taudin toteamisesta (Vainio 1991). Työterveyslaitos pitää työpaikka-altistumistapahtumista yllä ASA-rekisteriä, johon kerätään altistumistapahtumat Valtioneuvoston (583/85) ja Työsuojeluhallituksen (6/85) päätöksien mukaan. Vuonna 1993 ASA-rekisterin mukaan 3217:llä altistumistapauksella Suomessa kolmanneksi yleisin syöpää aiheuttava altiste oli asbesti.(ASA 1993)

Asbestikuidun poistuminen hengityselimistöstä on hidasta ja vaikeaa. Kuidun ollessa terävä päästään, kuten krysotiilikuiduilla on tapana, voi se puhkaista kudoksen pinnan ja työntyä osittain tai kokonaan kudoksen sisään, jolloin se voi jäädä lopullisesti kiinni

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

kudokseen. Elimistön omat puolustusmekanismit yrittävät poistaa tällaista kiinnijäänyttä vierasta esinettä. Poisto-operaation venyessä kasvaa myös riski terveen kudoksen vaurioitumisesta. Samalla kuitumaisesta partikkelista saattaa asbestilaadusta riippuen liueta elimistöön Mg, Fe, Mn, Ca, Na, Li tai Ni. Näistä aineista ainakin Ni, jota krysotiili saattaa sisältää, on karsinogeeninen. (Laitinen 1990)

Altistumisessa ei voida määrittää mitään kynnysarvoa, jonka jälkeen pitoisuudet olisivat selvästi haitallisia, vaan terveyshaitta kasvaa altistumisen lisääntyessä. Altistuminen ja siitä seuraavat terveydelliset haitat ovat hyvin yksilöllisiä (Vainio 1991). Myös lyhyt aikainen, voimakas altistuminen voi jo aiheuttaa sairastumisen (Laitinen 1990).

Usean eri asbestilaadun esiintyessä yhdessä ovat niiden aiheuttamat terveydelliset haittavaikutukset suuremmat kuin jos esiintyisi vain yhtä asbestilaatua. Asbestin kuitukoko on suoraan verrannollinen mesoteliooman kehittymiselle, ohuet kuidut tai pitkät ja ohuet ovat Hwang`n (1983) mukaan kaikkein karsinogeenisimpiä. Stanton on puolestaan havainnut, tutkimuksissaan eläinkokeilla, korkeampia syöpäasteita halkaisijaltaan alle 0,25 mikrometriä ja pituudeltaan yli 8 mikrometriä olevilla kuiduilla.

Kansainvälinen syöväntutkimuslaitos on luokitellut eräiden kuitumineraalien karsinogeenisuuden seuraavasti (IARC 1987b, Junttila 1994):

-asbesti, luokka 1 (aiheuttaa syöpää ihmiselle)
-erioniitti, luokka 1 (aiheuttaa syöpää ihmiselle)
-talkki, asbestimaisia kuituja sisältävä, luokka 1(aiheuttaa syöpää ihmiselle)
-talkki, luokka 3 (syöpävaarallisuus ei ole luokiteltavissa)
-wollastoniitti, luokka 3 (syöpävaarallisuus ei ole luokiteltavissa)
-sepioliitti, luokka 3 (syöpävaarallisuus ei ole luokiteltavissa)
-attapulgiitti, luokka 3 (syöpävaarallisuus ei ole luokiteltavissa)

Eläinkokeissa on kaikkien asbestimineraalien lisäksi todettu erioniitin, sepioliitin, palygorskiitin eli attapylgiitin ja wollastoniitin aiheuttavan kasvaimia vatsakalvon tai

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

keuhkopussin sisäisen altistuksen kautta (Hartikainen 1995). Antofylliittiasbestista aiheutuvaa mesotelioomariskiä ei ole vielä tieteellisesti voitu todentaa (Laitinen 1990).

ASBESTIN TUNNISTUS

Yleistä

Asbestin mikroskooppinen tunnistaminen perustuu yksin omaan sen ulkomuotoon. Pelkkään 3:1 muotosuhteeseen perustuva tunnistus voi olla joskus huono perusta, sillä monet muut mineraalit esim. amfibolit, pyrokseenit ja alumiinisilikaatit (sillimaniitti) lohkeavat helposti samaan 3:1 muotosuhdeluokkaan kuin varsinaiset mineralogiset asbestit.

Asbestin tunnistus faasikontrasti-mikroskoopin avulla vaati kuitenkin jonkinlaisen muotosuhteen tunnistuksen perusteeksi. Ongelman ratkaisemiseksi onkin ehdotettu käyttöön otettavaksi muotosuhde 20:1 tunnistuksen perusteeksi, myös valomikroskoopissa. Suurin osa asbesteista menee tähän luokkaan ja sen käyttö pois sulkisi ei-kuitumaisten silikaattien väärin tulkitsemisen. On kuitenkin syytä painottaa ettei asbestin tunnistaminen saa yksin omaan perustua mineraalin muotosuhteeseen.(Wylie 1979)

Tunnistus valomikroskoopilla taitekertoimia apuna käyttäen

Asbestin tunnistaminen valomikroskopiassa perustuu kuitumaiseen ulkonäköön sekä kuitujen optisiin ominaisuuksiin (Hartikainen 1995) kuten taitekertoimiin, mineraalin pituussunnan optiseen luonteeseen, pleokroismiin ja sammumiskulmaan (Vainio 1991). Valomikroskoopilla voidaan 500-kertaisella suurennoksella erottaa noin 0,3 mikrometrin paksuiset kuidut (NIOSH Manual of Analytical Methods 1989) ja tunnistaa noin 1 mikrometrin paksuiset kuidut (Berglund och Lundgren 1988). Jotta tutkittavaa näytettä (joko materiaali- tai pölynäyte) voidaan tutkia valomikroskoopilla,

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

on siitä tehtävä immersiopreparaatti, jonka jälkeen asbestin tunnistaminen voidaan suorittaa (Vainio 1991).

Immersiomenetelmässä kuitujen taitekertoimia voidaan dispersion avulla tarkastella tavallisella petrografisella polaarisaatiomikroskoopilla, faasikontrasti eli vaihesiirto-optiikalla tai pimeäkenttäoptiikalla varustetulla polaarisaatiomikroskoopilla (McCrone 1980, Berglund & Lundgren 1988, NIOSH 1989, Hartikainen 1995). Pimeäkenttä ja faasikontrastioptiikka hyödyntävät valonsäteisiin muodostuvia vaihe-eroja, joihin tunnistaminen perustuu (Vainio 1991).

Asbestipitoisuuden ollessa materiaalinäytteessä yli 1 % voidaan käyttää hyväksi pistelaskumenetelmää, jolloin laskeminen tapahtuu valomikroskoopilla. (Perkins 1990, Webber et al 1990)

Oliviinipitoisista materiaaleista asbestikuitupitoisuus analysoidaan seulomalla näyte eri fraktioihin ja tutkimalla alle 37 mikrometrin fraktiot elektronimikroskoopilla ja karkeammat fraktiot valomikroskoopilla (Svingen 1991).

Tunnistus elektronimikroskoopilla

Usein valomikroskoopin suurennos ei riitä tai saatu suurennos ei ole riittävän tarkka, jolloin kuitujen tunnistaminenkaan ei varmuudella onnistu. Tällöin otetaan käyttöön elektronimikroskooppi, missä asbestin tunnistaminen tapahtuu kuitumaisen ulkonäön ja kemiallisen koostumuksen perusteella, mikä määritetään mikroanalyyttisesti (Hayashi *et al* 1978, Hartikainen 1995).

Pyyhkäisyelektronimikroskoopilla pystytään havaitsemaan 0,03 mikrometrin paksuiset kuidut ja mikroanalysaattorilla 0,1 mikrometrin paksuiset kuidut (Vainio 1991). Näissäkin tunnistus tapahtuu ulkonäön ja alkuainesuhteiden perusteella.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Tunnustus röntgendiffraktiometrillä

Materiaalinäytteiden asbestipitoisuuden määritys voidaan tehdä röntgendiffraktiometrillä, kun asbestia on näytteessä yli 2 % ja näyte ei sisällä kyseessä olevan asbestimineraalin vastaavaa ei-kuitumaista muotoa. Tämä edellyttää asbestipitoisuuden ja -mineraalien tuntemista etukäteen, mikä on voitu tehdä esim. kiven sedimentaatiolla. Näytteiden tulisi olla raekooltaan myös riittävän pieniä, homogeenisia eikä niissä tulisi esiintyä orientaatiota (suuntautuneisuutta). (Hartikainen 1995)

Vaikka näytteen alkuperää ja koostumusta ei tunnettaisikaan, voidaan tunnistus silti tehdä röntgendiffraktiometrillä. Laitteella kyetään korkeintaan havaitsemaan kuitenkin vain amfiboli- tai serpentiiniryhmän mineraalien esiintyminen, mutta ei tunnistamaan mineraalia, eikä sen kuitumaisuutta (Thompson 1984, Hartikainen 1995).

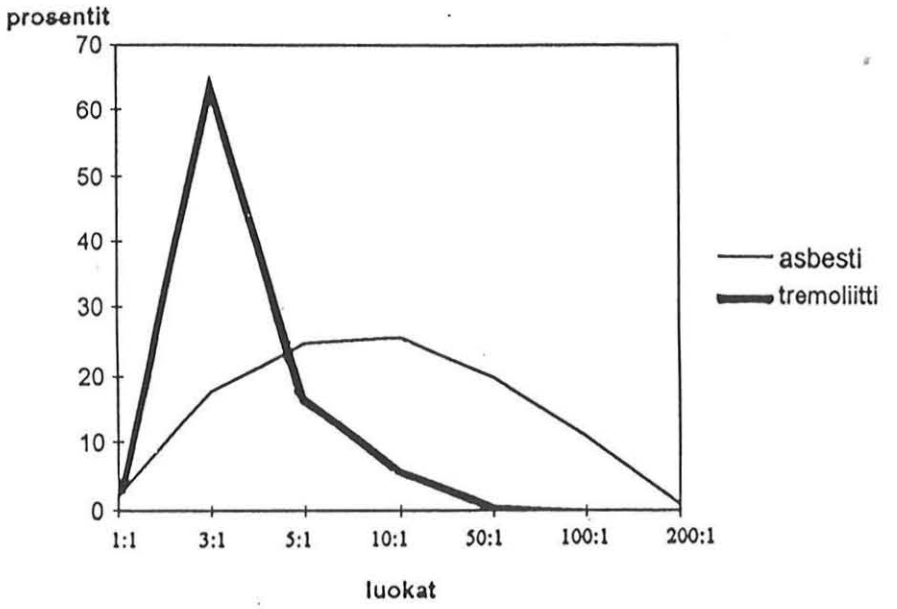
KUITUMAISTEN SILIKAATTIMINERAALIEN JA ASBESTIN MUOTOSUHTEIDEN VERTAILU MUOTOSUHDEDIAGRAMMIN AVULLA

Eräs keino mineralogisen ja lohkeamisen kautta syntyneiden kuitumaisten kappaleiden tunnistamiseen on verrata niiden muotosuhdearvoja muotosuhdediagrammissa. Siinä on esitetty y-akselilla eli pystyakselilla kappaleiden laskettu prosenttiosuus ts. tietyn muotosuhteen omaavien kuitumaisten kappaleiden osuus kaikista koe-erän kuiduista. Tässä kokeessa laskettiin 100 kappaletta kuituja aina yhdestä koe-erästä. X-akselilla on eri muotosuhdeluokat eli pituuden suhde leveyteen.

Mineralogisesti syntyneen asbestin jakautuminen diagrammissa on selvästi erilainen kuin lohkeamalla syntyneen kuitumaisen kappaleen. Mineralogisen asbestin muotosuhdehuippu sijoittuu diagrammissa 1:10 tai suurempiin muotosuhdeluokkiin.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Lohkeamalla muodostuneet kuitumaiset kappaleet ovat runsainmin edustettuina alle 1:10 muotosuhdeluokissa.



Diagrammi 1.

Diagrammi havainnollistaa mineralogisen tremoliitin (asbesti) ja lohkeamalla syntyneen tremoliitin (tremoliitti) kuitujen jakaantumista eri muotosuhdeluokkiin. Tremoliittiasbestin kuidut ovat keskittyneet suurempiin muotosuhdeluokkiin kuin lohkeamalla syntyneet tremoliittikuidut, joista huomattava määrä (yli 60 %) on alle 3:1 muotosuhdeluokissa.

Tällä tunnistuskeinolla ei kuitenkaan yksistään tule määrittää partikkelin alkuperää kuin erittäin karkeasti ja suuntaa antavasti. Menetelmä toimii parhaiten, kun sitä käytetään yhdessä muiden tunnistuskeinojen kanssa määritettäessä kuitupartikkelin alkuperää.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

PETROGRAFINEN TUTKIMUS

Tutkittavista kivistä valmistettiin kiillotetut ohuthieet, joista valomikroskoopin avulla määritettin kivilajin rakenne, mineraalikoostumus, mineraalien raekoko, muoto ja mineraalien muuttumistulokset. Erityistä huomiota kiinnitettiin kuitumaisiin mineraaleihin. Mikroskopoinnin perusteella tunnistetut mineraalit varmennettiin vielä Oulun yliopiston elektronioptiikan laitoksen EPMA/EDS (mikroanalysaattorilla) Jeol JCXA-733/Link QX 200 -laitteella (analyysitulokset s. 45 koskien serpentiiniperidotiittia).

TUTKIMUSAINESTO

Tutkimuksissa käytettiin seuraavia markkinoilla myytäviä kiuaskiviä:

-Elijärven louhoksen metaperidotiitti.

-Kota tl Lapintehtaan peridotiitti.

-Eräjärvidiabaasi oliviinidiabaasi.

Joista peridotiitti ja diabaasi toimivat vertailukivinä metaperidotiitille.

KEMIN ELIJÄRVIEN SERPENTINIITTIYTYNYT PERIDOTIITTI

Yleistä

Serpentiniitti on muodostunut hydrotermisen muuttumisen tuloksena vulkaanisista tai ultramafisista kivistä, kuten peridotiitista, joka on oliviini rikas kivi (Le Maitre 1989, Yardley 1989). Elijärvelle ovat tyypillisiä peridotiiteista syntyneet serpentiniitit (Grönholm 1992). Retrogradinen metamorfoosi (laskeva paine ja lämpötila) ja pseudomorfinen korvautuminen suosivat yleensä lizardiitin muodostumista, kun taas progradinen metamorfoosi (nouseva paine ja lämpötila) suosii antigoriitin

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

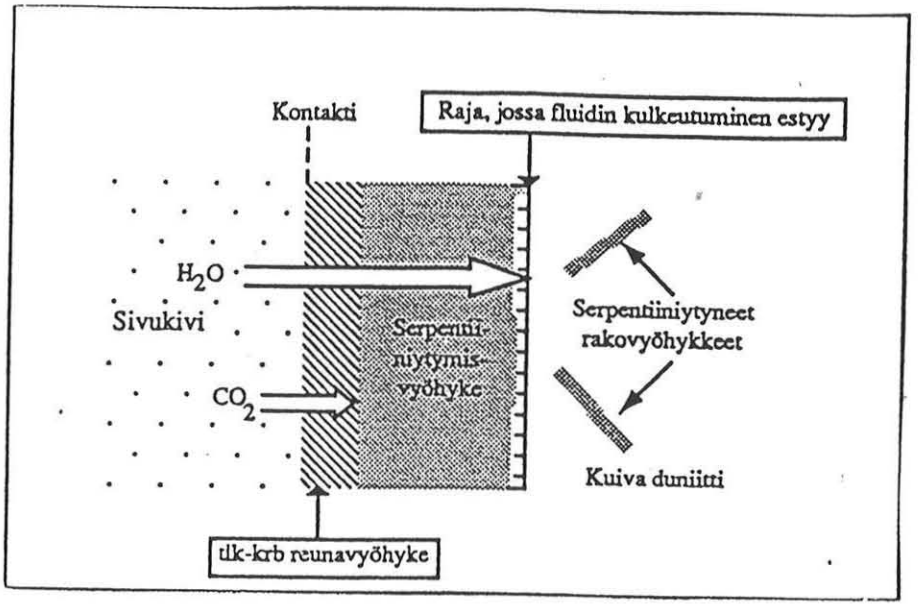
muodostumista (Veblen & Wylie 1993). Analyysit osoittivat Elijärven serpentiinin olevan antigoriittia, minkä tuloksen Grönholm (1992) sai myös lisentiaattityössään, ja mikä näin ollen indikoisi progradista metamorfoosia. Antigoriitin syntyminen ei vaadi korkeaa CO_2 määrää fluidissa. Suuremmat CaO ja Al_2O_3 määrät fluidissa puolestaan aikaansaavat tremoliitiin ± aktinoliitin ja kloriitin muodostumisen (Hill et al 1994). Haaparantasarjan myöhäiskinemaattisten graniittien, noin 1800 Ma, synnyllä on osaltaan voinut olla vaikutusta metamorfoosiin. Se on voinut toimia lämpötilan ja paineen nostattajana.

Muuttumisen jälkeen serpentiinin määrä on yli 60 % ja sitä on enemmän kuin kloriittia. Serpentiini on suurimmaksi osaksi oliviinin muuttumistulosta, mutta myös pyrokseenit, lähinnä bronziitti on voinut muuttua serpentiiniksi. Oliviini onkin herkkä muuttumaan alhaisen asteen hydrotermisissä metamorfisissa reaktioissa serpentiiniksi, kloriitiksi, talkiksi, karbonaatiksi tai iddingsiitiksi (Gribble & Hall 1985).

Pyrokseenille ja etenkin bronziitille on tyypillistä sen muuttuminen kloriitiksi tutkittavissa kivissä. Augiitin tai diopsidin muuttuessa tremoliitiksi sekä myöskin kloriitiksi. Tästä muuttumisesta jää ylimääräistä Ca, mikä voi mahdollistaa oliviinin muutumisen tremoliitiksi. Kuvatun kaltainen muuttuminen voisi selittää oliviinissa olevat lohkomaiset tremoliitit. Hieessä esiintyy sekä orto- että klinopyrokseenia jäänteinä.

Sivukiven ja intruusion välille syntynyt talkki-karbonaatti-vyöhyke (Alapieti *et al* 1989) on voinut suurelta osin syntyä CO_2-fluidien vaikutuksesta metamorfoosin yhteydessä. Cole *et al* (1987) mukaan merkittävin osa CO_2 pitoisista fluideista jää tähän rintamaan. H_2O-fluidien jatkaessa matkaa syvemmälle kiveen missä niidenkin matka lopulta estyy (kuva 8). Tämän kaltainen malli voisi selittää miksi intruusion keskiosat ovat säilyneet terveinä. Penikoiden intruusioissa kuvatun kaltainen tilanne on juuri toisin päin, joten mikään vakiomalli tämä ei ole, vaan jokaisessa intruusiossa on sovellettava tapakohtaista mallia.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.



Kuva 8. Alueellisen metamorfoosin vyöhykkeellisyys; pre-alueellinen metamorfoosi (Cole *et al* 1987).

Kumulusterminologia

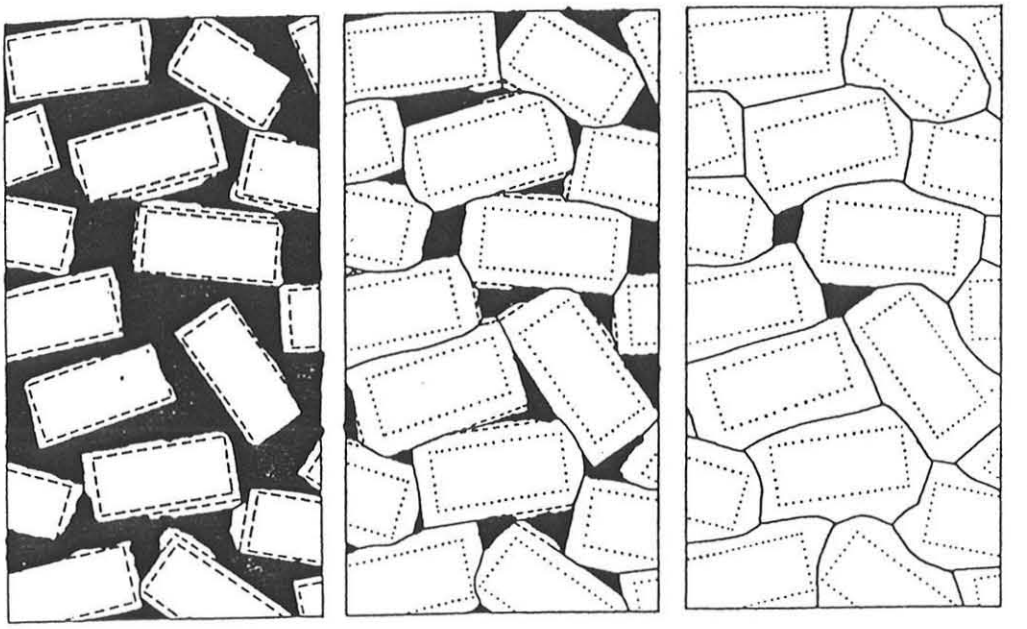
Kemin Elijärven serpentiniitistä pystyy metamorfoosista huolimatta vielä havaitsemaan intruusioille tyypillisen kumulusrakenteen. Rakenteella tarkoitetaan aiemmin kiteytyneiden mineraalien ja niiden välissä olevaa myöhäisemmän kiteytymisen tulosta eli postkumulusmateriaalia. Jos kiteytymispaikalla vallitsee rauhallinen olotila ts. virtausolosuhteet ovat heikkoja ja esiintyessään laminaarisia, jää kiteytyvien kiteiden väliin ja mahdollisiin huokostiloihin sulaa, mikä kiteytyy myöhemmin muodostaen interkumulusmineraaleja. Voimakas alijäähtyminen suosii nukleaatiota ja täten uusien kiteiden kasvua kidepatjan alaosissa. (Irvine 1982)

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Kun muodostuneet kumuluskiteet koskettavat hiukan toisiaan ja ovat enimmäkseen omanmuotoisia, kutsutaan rakennetta ortokumulukseksi (kuva 9a). Ortokumulaatti sisältää 25-50 til.-% interkumulusmateriaalia (Irvine 1982).

Mesokumulaatissa kiteytyneillä kiteillä voi olla joitakin pintoja kosketuksessa toisiinsa (kuva 9b). Interkumulusmateriaalin määrä on 7-25 til.-% (Irvine 1982). Kiteytymisympäristö on jokseenkin samankaltainen kuin ortokumulusfasieksessa ja mesokumulaattien katsotaankin edustavan siirtymävaihetta orto- ja adkumulaatin välillä.

Adkumulaatissa välitilat ovat kadonneet mineraalien ylikasvettumisen johdosta ja virtaus on vienyt ylimääräisen postkumulusaineksen mennessään. Tässä tilassa kiteillä on runsaasti yhteisiä pintoja (kuva 9b). Interkumulusaineksen määrän ollessa 0-7 til.-% (Irvine 1982).



A B C

Kuva 9. Kumulusvaiheet: a) ortokumulaatti b) mesokumulaatti ja c) adkumulaatti.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Tutkittavista ohuthiestä pystyy havaitsemaan oliviinin olevan kumulusmineraalina ja pyrokseenin, sekä orto- että klinopyroseenin, interkumulusmineraalina. Elijärven serpentiiniperidotiitti on ortokumulus-rakenteinen.

Serpentiiniperidotiitin rakenne

Makroskooppisesti serpentiiniperidotiitit ovat rakenteeltaan suuntautumattomia, tiiviitä ja hienorakeisia kiviä, väriltään tummia ja hieman vihertäviä.

Tyypillinen piirre on oliviinin muuttuminen hyvin hienosälöiseksi, viuhkamaiseksi serpentiiniksi, joka analysoitiin antigoriitiksi. Muuttuminen on ollut lähes täydellistä, vain hieman oliviinia on säilynyt joidenkin kumulusrakeiden keskiosissa. Serpentiinin seassa on tremoliittia, joka esiintyy pääosin lohkomaisina kappaleina antigoriitin ja kloriitin rajalla. Valomikroskoopilla pystyi havaitsemaan yksittäisiä kuitumaisia kappaleita lohkomaisten tremoliittikappaleiden seassa. Näitä kuitukappaleita ei mikroskoopin avulla pystynyt identifioimaan. Lohkomaiset tremoliitit tunnisti helposti niiden lohkeavuuden ja vinon sammumiskulman perusteella

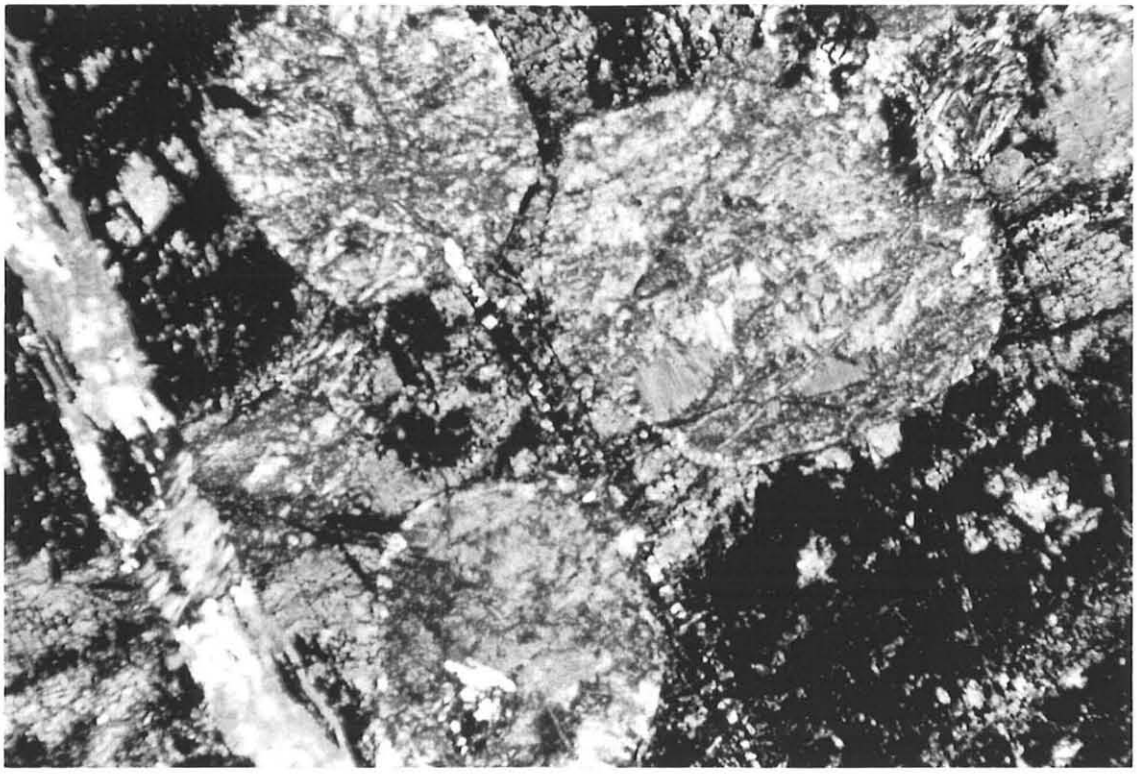
Interkumulusmineraalina oleva pyrokseeni on pääosin bronziittia myös augiittia esiintyy harvakseltaan. Pyrokseeni on valtaosin muuttunut kloriitiksi, joka analyysin perusteella on Mg-rikasta. Usein entisen oliviinin ja pyrokseenin rajat on selkeästi havaittavissa, mutta siellä missä pyrokseenikin on muuttunut serpentiiniksi on niiden välistä rajaa vaikea havaita. Tälläisia tiloja ovat esim. kumulusrakeiden väliset ohuet tilat.

Myöskin iddingsiittiä esiintyy, tosin yksittäisinä kappaleina ja vain yhdessä ohuthieessä. Magnetiittia esiintyy paikoitellen jopa runsaasti. Se on pääosin keskittynyt pyrokseeniin, mutta paikoin myös oliviinin lohkorakoihin.

Karbonaatti esiintyy sekä juonina että massamaisina kappaleina. Sen määrä vaihtelee ohuthieiden kesken. Samoin omanmuotoisen kromiitin määrä vaihtelee. Kromiitin raekoko on keskimäärin 0,5 mm. Antigoriitin raekoko vaihtelee 1-2 mm, ollen

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

yleisimmin 1,5 mm ja se esiintyy omanmuotoisena. Kloriitin raekoko on keskimäärin noin 1 mm, myös yli 2 mm rakeita esiintyy.



Kuva 10. Serpentiiniperidotiitissa oleva kumulusrakenne, kumulusmineraalina oliviini ja interkumuluksessa augiitti.

Vii Hanksot kuvia puuttuvat !

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Kuva 11. Sälömäistä tremoliittia serpentiiniperidotiitissa. Bästä tyyny? Sumrannos.? + pol.

KOTA tl LAPIN TEHTAAN PERIDOTIITTI

Yleistä

Makroskooppisesti katsottaessa Kota tl Lapin tehtaan peridotiitti on karkearakeinen ja hauraan tuntuinen. Silmämääräisesti pystyy erottamaan noin 0,5 cm suuruisia rakeita. Väriltään kivi on tumman harmaa melkein musta.

Kota tl Lapin tehtaan peridotiittina myymä pyrokseniitti on täysin metamorfoitunut. Kivi on alunperin sisältänyt orto- ja kliinopyrokseenia sekä oliviinia (pyrokseeniluokan kivi). Metamorfoosissa pyrokseeni on muuttunut pääasiassa tremoliitiksi, kummingtoniitiksi ja vähäisemmässä määrin kloriitiksi. Paikoitellen pyrokseenia on säilynyt muuttumattomana.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Hieessä on hieman karbonaattia sekä kiillettä, flogopiittia. Metamorfoosiaste on ollut vihreäkivifasiesta tai alhaista amfibolifasiesta. Kloriitti ja tremoliitti molemmat indikoivat alhaista metamorfoosiastetta.

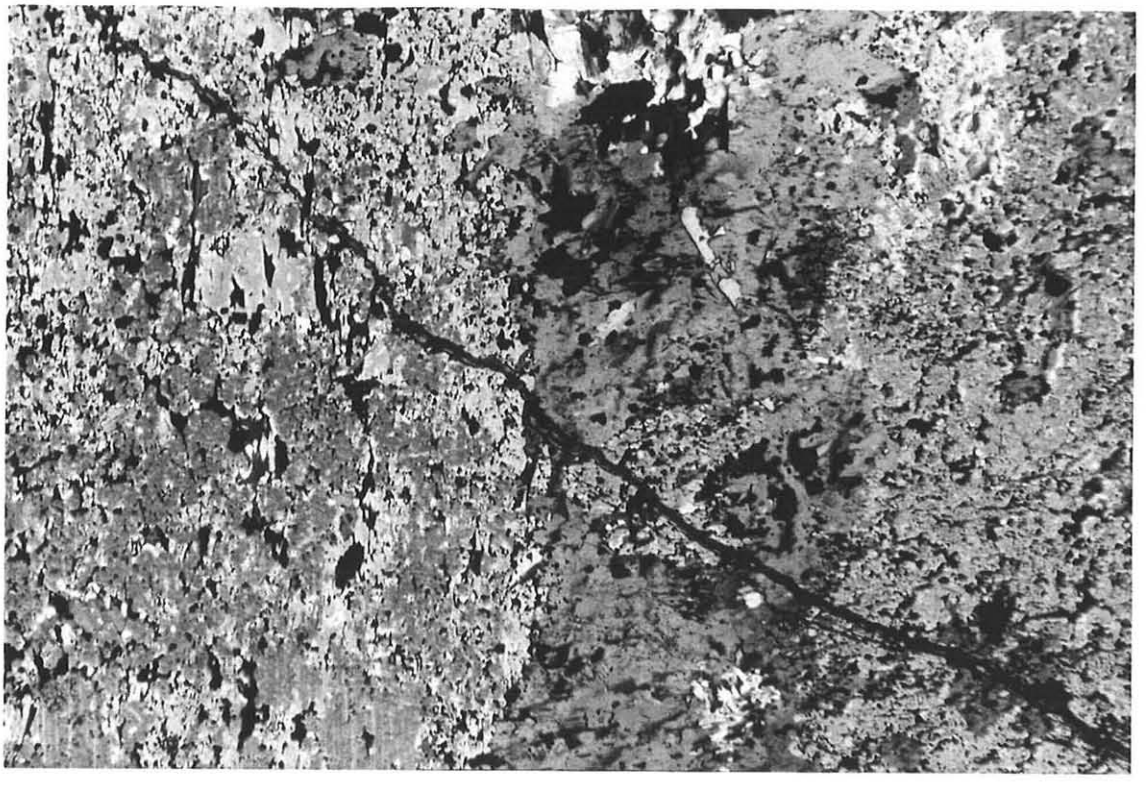
Kivessä oleva kloriitti näkyy ohuthieessä juonina, joita on varsin runsaasti, ja omanmuotoisina paloina. Pyrokseenissa esiintyy myös krysotiilijuonia.

Pyrokseniitin rakenne

Pyrokseenin raekoko ohuthieessä on 1,5 - yli 2 mm, tavallisimmin noin 2 mm. Rakeet ovat omanmuotoisia. Oliviinirakeet ovat kooltaan 0,5 - 1,5 mm ja omanmuotoisia. Oliviinin erottaminen on helppoa, muodon ja epäsäännöllisten lohkorakojen perusteella. Kiille esiintyy omanmuotoisina, suorakulmaisina, rakeina. Karbonaatti on pieninä noin 0,5 mm suuruisin paloina tai pitkinä "rihmastoina" kloriittijuonten vierellä. Asultaan peridotiitti on massamaista ja suuntautumatonta.

Muuttunut pyrokseniitti rapautuu selvästi oliviinidiabaasia ja serpentiniittiytynyttä peridotiittia helpommin, eikä näin ollen ole kovinkaan kestävä kiuaskivi.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.



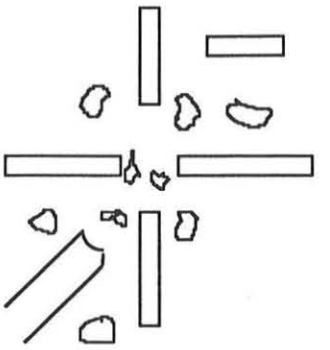
Kuva 12. Krysotiilijuoni leikkaa amfiboliksi muuttunutta pyrokseenia.

ERÄJÄRVEN OLIVIINIDIABAASI

Oliviinidiabaasi on erittäin tiivisrakeinen kivi ja on juonikivi. Siitä pystyy silmämääräisesti erottamaan tummat osueet (pyrokseenia tai olivinia) ja vaaleammat osueet (plagioklaasia).

Mikroskooppisessa tutkimuksessa havaitaan oliviinidiabaasin rakenteen olevan intergranulaarinen ts. pyrokseeni on plagioklaasi listakkeiden välissä.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.



Kuva 13. Pyrokseenirakeet plagioklaasilistakkeiden välissä.

Plagioklaasi ei ole suuntautunut, kuten eivät muutkaan mineraalit. Kivi sisältää lähinnä plagioklaasia, noin 70 %, sekä oliviini ja pyrokseenia. Kivi on pääosin terve, jonkin verran plagioklaasia on muuttunut saussuriitiksi ja pyrokseenia tremoliitiksi, myöskin hieman kloriittia ja talkkia esiintyy. Plagioklaasin koostumus sijoittuu välille andesiini - labradoriitti (plagioklaasin symmetrinen sammuminen on 28 astetta). Plagioklaasia esiintyy omanmuotoisina kappaleina, joista osa on vyöhykkeellistä.

Oliviini ja pyrokseeni rakeet ovat lähes saman kokoisia vaihdellen 0,5 -1,5 mm keskikoon ollessa 1 mm. Plagioklaasi rakeet ovat 1 mm yli 2 mm.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

KUITUMAISTEN SILIKAATTIMINERAALIEN TUTKIMUSMENETELMÄT

LÄMPÖOLOSUHDELABORATORIO

Kuitumittaukset tehtiin Oulun aluetyöterveyslaitoksen lämpöolosuhdelaboratoriossa eli koesaunassa. Mittaukset suoritettiin Sakari Junttilan johdolla, joka muutoinkin vastasi kokeen onnistumisesta ja valvomisesta.

Esivalmistelut

Saunomisen aikana kivistä ilmaan irtoavien kuitujen määrä määritettiin lämpöolosuhdelaboratoriossa, ja ilmassa olevat kuidut kerättiin kiinteistä mittauspisteistä polykarbonaattisuodattimelle imupumpun avulla. Saunassa oli kaksi suodatinta eri korkeuksilla, alempi 170 cm ja ylempi 200 cm korkeudella lattiasta, sijoittuen ylälauteella istuvan saunojan hengitysvyöhykkeelle. Näytettä kerättiin suodattimille noin 2 h, imuilman määrän vaihdellessa 309-887 litran välillä. Vaihtelu johtui siitä, että kuumuus "litisti" imuputkia ja täten vähensi imutehoa, joka näkyy ylemmän pumpun alentuneena imutehona alempaan verrattuna, eroa on noin vajaat 100 litraa.

Kaikki kivet pestiin huolellisesti ennen kokeen alkua samoin kuin sauna, joka myös tuuletettiin kuivaksi.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Mittausmenetelmät ja -olosuhteet

Lämpöolosuhdelaboratorion koko oli 400*400*200 kuutiosenttimetriä. Kiukaana toimi sähkökiuas, joka lämpeni sähkövastusten avulla. Kivet punnittiin ennen saunomista elektronisella vaa'alla.

Jokaisen eri kivilaadun jälkeen koesauna pestiin vedellä ja kuivattiin ennen seuraavaa lämmityskertaa.

Ilman kuitupitoisuus mitattiin ensin kylmästä saunasta, jotta varmistuttiin, että saunan ilma olisi puhdas. Tämä mittaus suoritettiin aina ennen lämmitysmittauksia.
Varsinaisen saunomisen aikana tehtiin kaksi mittausta. Ensimmäinen saunan lämmitysvaiheessa, jolloin ei heitetty vettä kiville vaan annettiin saunan lämmetä noin 90 asteeseen (mittaus elohopealämpömittarilla). Ilmankosteus oli säädetty 50 %:iin. Lämmitysvaiheessa suodattimien läpi imettiin ilmaa noin 300-500 litraa.

Lämmitysvaiheen jälkeen vaihdettiin uudet suodattimet ja aloitettiin heittää vettä kiville. Vettä heitettiin 4 desilitraa viiden minuutin välein kahden tunnin ajan. Veden heitto tapahtui normaalisti kauhan avulla, eikä saunasta poistuttu mittauksen aikana. Näin haluttiin varmistaa, ettei saunan ilmaan tule mahdollisia lisäyksiä ulkopuolelta ja lämpötila pysyisi mahdollisimman tasaisena.
Yllä kuvatut toimenpiteet suoritettiin kaikille saunakiville.

Saunomisen jälkeen kuidut laskettiin polykarbonaattisuodattimilta elektronikroskoopilla 3000-kertaisella suurennoksella. Kuidut määritettiin standardin SFS 3868 mukaisesti hiukkaseksi, jonka pituuden suhde paksuuteen on yli 3:1. Kuiduksi laskettiin yli 5 mikrometriä pitkät ja alle 3 mikrometriä paksut hiukkaset.

Kemin Elijärven metaperidotiitille tehtiin alkumittausten lisäksi vielä yksi ylimääräinen mittaus 20 saunomiskerran jälkeen. Testillä pyrittiin selvittämään kiven mahdollinen "kuluminen ja rapautuminen" saunottaessa, eli irtoaisiko siitä nyt mahdollisesti vähemmän kuitumaisia silikaattimineraaleja ilmaan kuin aiemmin.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Kota peridotiitille suoritetuissa mittauksissa, näyte n:o 4 ja 5, löylyn heitto tapahtui putken avulla. Hylkäsimme kuitenkin tämän tavan, koska siinä vesi tippui aina samaan kohtaa, mikä mielestämme ei vastaa normaalia löylyn heittoa. Näytteissä 6 ja 7 löylynheitto on suoritettu peridotiitille niinkuin muillekin kiville.

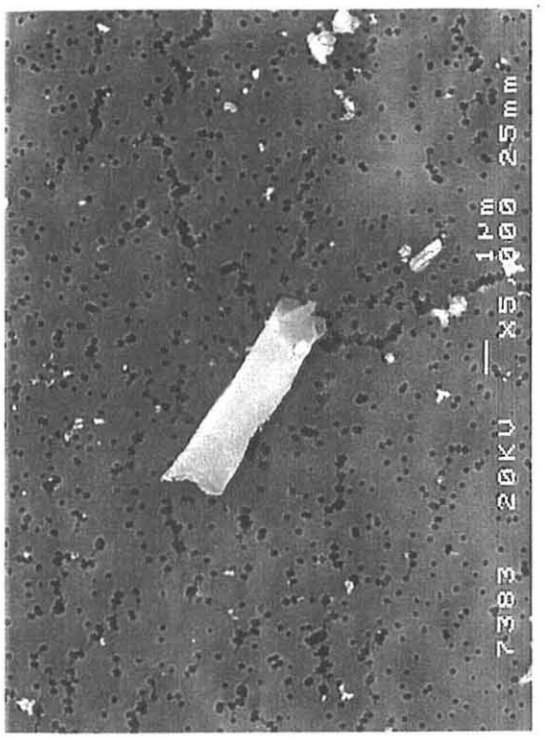
Kemin Elijärven serpentiiniperidotiitille ei enää uusintamittauksessa (20 saunomiskerran jälkeen) tehty näytteen ottoa saunan lämmityksen aikana vaan tehtiin ainoastaan mittaukset saunomistilanteen aikana.

KUITUJEN LUOKITTELUPERUSTEET

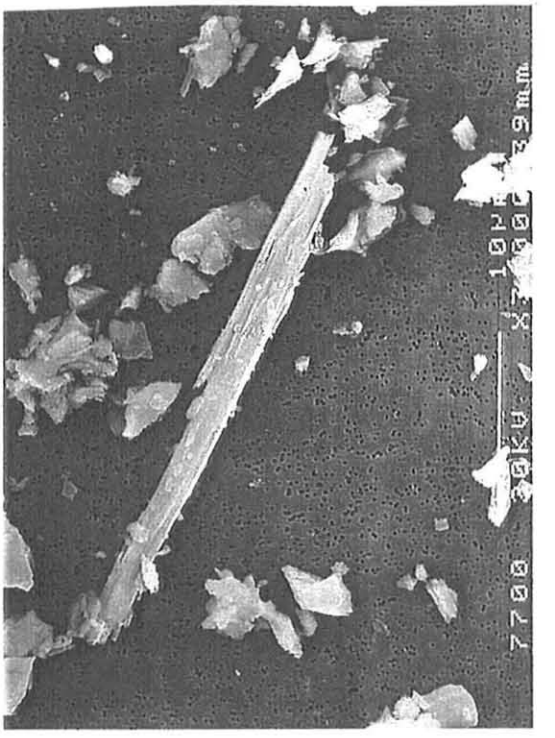
Kuidut voidaan ulkonäön perusteella luokitella varsinaisiksi kuiduiksi, kuitumaisiksi lohkokappaleiksi ja lohkokappaleiksi (Junttila *et al* 1994). Luokitustyypeistä ovat valokuvat seuraavalla sivulla. Varsinaisiksi kuiduksi luokiteltaan fibrilleistä koostuvat kimput sekä yksittäiset hiukkaset, joiden molemmat päät ovat suorat ja sivut yhdensuuntaiset. Lohkokappaleiksi luokiteltaan sellaiset hiukkaset, joiden päät ovat vinot ja sivu tai sivut epämääräisesti lohkeilleet ja joiden sivut eivät ole yhdensuuntaiset. Kuitumaisia lohkokappaleita ovat hiukkaset, joilla on niin kuidun kuin lohkokappaleenkin piirteitä, esim. toinen pää on vino ja toinen pää suora ja sivut yhdensuuntaiset.

Kuitupitoisuus ilmoitettiin mineraaleittain ilmamäärästä riippuen tarkkuudella, 0,1 - 0,01 kuitua kuutiosenttimetrissä ilmaa. Laskiessamme suodattimelta olevien kuitujen määrää emme kiinnittäneet huomiota niiden mahdolliseen syntytapaan eli siihen ovatko ne lohkeamalla syntyneitä vaiko mineralogista kuitua, vaan laskimme kaikki kuitumaiset mineraalit. Kuitujen alkuperää on hieman pohdittu muotosuhdediagrammin avulla aiemmassa kappaleessa.

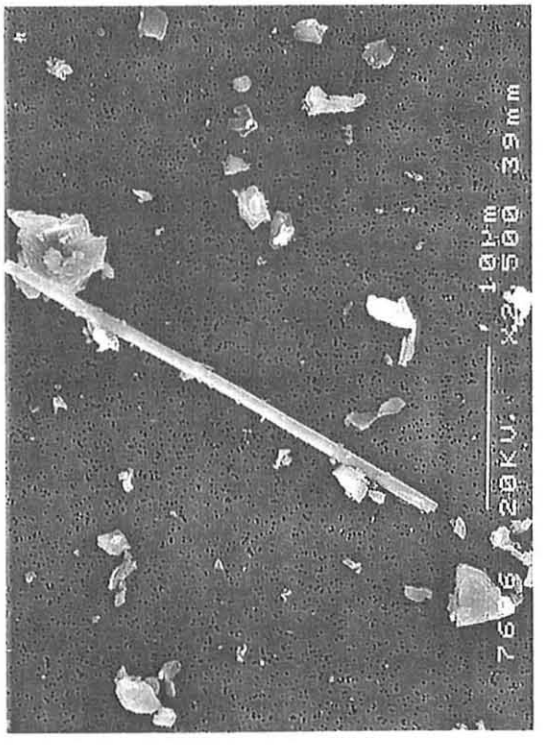
Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.



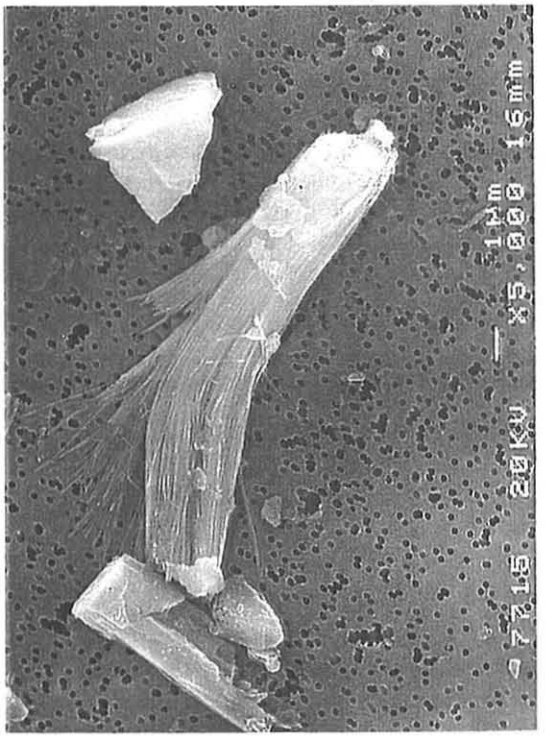
a)



b)



c)



d)

Kuva 14. Kuitutyyppien luokittelu: a) lohkokappale, b) kuitumainen lohkokappale, c) kuitu, d) kuitukimppu. Valokuvat T. Hartikainen (Junttila *et al* 1994).

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Amerikassa ollaan erityisen tarkkoja siitä, mikä on kuitumaisen partikkelin alkuperä. Siellä lohkomaisesta partikkelista lohkeamalla syntyneet kuitumaiset kappaleet ja mineralogisesti syntynyt asbesti eivät ole saman arvoisia kun puhutaan terveysriskeistä, vaikkakin ei-mineralogiset kuidut täyttäisivät asbestille annetun muotosuhteen 3:1. Mineralogisesti syntyneille kuiduille on toisenlaiset altistumisrajat ja yleensäkin altistumisrajoista puhuttaessa tarkoitetaan minaralogista asbestia.

KIVEN KUITUPITOISUUDEN MÄÄRITTÄMINEN

Kiven kuitupoitoisuuden määritys tapahtuu ns. sedimentaatiolla. Kokeessa kivet jauhetaan niin että saavutetaan fraktioille tietty vakiokoko. Jauhatuksessa tulee olla tarkkana, koska eri mineraalit ja kivilajit jauhautuvat hyvinkin toisistaan poikkeavalla tavalla. Jauhe ei saa rikastua minkään mineraalin suhteen, eikä sinne saa syntyä suuria karkeuseroja kovien ja pehmeiden mineraalien suhteen ts. jauheen tulee olla kutakuinkin raekooltaan homogeeninen. (Langer *et al* 1978, Spurny *et al* 1979, Pang *et al* 1987)

Kuten edellä käy ilmi, liittyy jauhatusmenetelmään monia huomioon otettavia seikkoja, jotta se onnistuisi täysin. Tutkimuksessa näytteenotto kivistä suoritettiin vasaroimalla kiviä ja tutkimalla niistä irtoava pöly. Menetelmä on yhtä hyvä ja luotettava kuin jauhatusmenetelmäkin. Loput tutkimustoimenpiteistä on samat kuin jauhatusmenetelmässä.

Näytteestä suoritettava elektronimikroskooppitutkimuksen vertailukelpoisuudelle ja luotettavuudelle on tärkeää, että tutkittava fraktion mineraalikoostumus on sama kuin näytteellä. Aiemmin mainittu fraktioiden tietty vakiokoko saadaan aikaan nestesedimentoinnilla. Raekoko vakioidaan kokoluokkaan alle 20 mikrometriä, vasaroidusta pölystä tutkitaan vain tämän suuruusluokan fraktiot. Jauhatusmenetelmää käytettäessä yli 20 mikrometriä suuremmat fraktiot jauhetaan uudelleen. Vasaroimalla saadusta pölystä ei yli 20 mikrometriä suurempia fraktioita oteta huomioon. Eri

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

fraktioista saadut kuitupitoisuudet summataan painottamalla tulokset fraktioiden massojen osuuksilla. (Junttila *et al* 1994).

Näytteet tutkittiin elektronimikroskoopilla, jonka kuvaruudun mitta-asteikon avulla mitattiin kuitujen pituudet ja läpimitat. Olettamalla kuidut lieriömäisiksi voitiin laskea niiden tilavuudet. Massa saatiin kertomalla tilavuus mineraalin keskimääräisellä tiheydellä

Taulukko 1. Mineraalien keskimääräiset tiheydet (Tröger 1979).

Mineraali	Tiheys g/cm3	Mineraali	Tiheys g/cm3
aktinoliitti	3,2	augiitti	3,4
biotiitti	3,0	diopsidi	3,3
dolomiitti	2,9	epidootti	3,4
kalimaasälpä	2,6	kalsiitti	2,7
kloriitti	2,8	krysotiili	2,5
kummingtoniitti	3,4	kvartsi	2,7
muskoviitti	2,8	plagioklaasi	2,7
sarvivälke	3,2	serpentiini	2,5
talkki	2,8	titaniitti	3,5
tremoliitti	3,0	wollastoniitti	2,9

Kuitupitoisuudet määritettiin painoprosentteina ja kuitujen määränä mikrogrammassa kiveä. Tulokset ilmoitettiin mineraaleittain. Kuitupitoisuudet laskettiin kaavojen 1 - 4 avulla. Määritysraja on 0,01 - 0,001 painoprosenttia ja noin 1 - 10 kuitua/mikrogramma kiveä. (Junttila *et al* 1994)

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

$$(1) \quad F_n = \frac{\sum_{k=1}^{k} \left(\pi \times \frac{d_k^2}{4} \times l_k \right) \times \delta \times A}{m \times n_a \times a} \times 100$$

$$(2) \quad K_n = \frac{\sum k \times A}{m \times n_a \times a}$$

$$(3) \quad F_{tot} = F_1 \times M_1 \times F_2 \times M_2$$

$$(4) \quad K_{tot} = K_1 \times M_1 \times K_2 \times M_2$$

F_n = fraktion n kuitupitoisuus painoprosentteina
d_k = kuidun läpimitta
l_k = kuidun pituus
δ = mineraalin tiheys
A = suodattimen tehollinen pinta-ala
m = suodattimen kuitukuorma
n_a = laskettujen näkökenttien lukumäärä
a = näkökentän pinta-ala
K_n = fraktion n kuitujen määrä milligrammassa kiveä
k = laskettujen kuitujen määrä
F_{tot} = koko näytteen kuitupitoisuus painoprosentteina

F_1 = alle 20 µm fraktion kuitupitoisuus painoprosentteina
F_2 = yli 20 µm fraktion kuitupitoisuus painoprosentteina
M_1 = alle 20 µm fraktion massan osuus koko näytteen massasta
M_2 = yli 20 µm fraktion osuus koko näytteen massasta
K_{tot} = koko näytteen kuitupitoisuus kuituja / µg kiveä
K_1 = alle 20 µm fraktion kuitupitoisuus kuituja / µg kiveä
K_2 = yli 20 µm fraktion kuitupitoisuus kuituja / µg kiveä

Kuva 15. Materiaalinäytteiden tulosten laskukaavat (Junttila *et al* 1994).

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

ANALYSOINTI

Kivistä analysoitiin mikroanalysaattorilla (SILI-ohjelmaa käyttäen) vain Elijärven serpentiniittiytynyt peridotiitti ja sekin lähinnä tarkastusmielessä. Saatuja tuloksia verrattiin Grönholmin (1992) saamiin tuloksiin. Analyysitulokset olivat täsmälleen samat kuin Grönholmin serpentiiniperidotiitista saamat tulokset, joten katsoimme tämän riittävän. Tutkimuksen pääpaino on enemmän painottunut tarkastelemaan ilmaan irronneita kuitumaisia mineraaleja ja ne tutkittiin pyyhkäisyelektronimikroskoopilla suodattimilta käsin ja materiaalinäytteistä tehdyistä sedimentaatiosta.

Elijärven peridotiitin mineraalia

Taulukot mikroanalysaattorianalyyseista

Taulukko 2.

Näyte	Cr-pit. augiitti	Cr-pit. augiitti	augiitti	augiitti	tremoliitti
SiO_2	51,81	52,05	51,06	54,07	58,16
TiO_2	0,25	0,18	0,88	0,04	0,01
Al_2O_3	3,16	2,81	2,54	0,25	0,22
FeO	3,98	4,29	3,97	1,81	2,75
MnO	0,06	0,13	0,00	0,02	0,01
MgO	16,29	16,26	16,40	17,59	23,11
CaO	22,10	21,89	21,93	24,92	13,32
Na_2O	0,54	0,59	0,48	0,09	0,24
K_2O	0,00	0,01	0,01	0,03	0,00
Cr_2O_3	1,19	1,14	0,73	0,22	0,00
ZnO	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
NiO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Summa	99,39	99,35	98,00	99,05	97,86

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Taulukko 3.

Näyte	kloriitti	serpentiini	serpentiini	serpentiini	oliviini
SiO_2	32,07	44,10	45,30	44,50	39,79
TiO_2	0,03	0,02	0,00	0,02	0,00
Al_2O_3	13,28	1,70	0,09	1,14	0,00
FeO	5,72	4,81	5,39	4,73	14,94
MnO	0,16	0,13	0,15	0,14	0,24
MgO	32,64	38,31	38,38	38,78	45,07
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
Na_2O	0,01	0,03	0,03	0,06	0,03
K2O	0,13	0,03	0,00	0,02	0,00
Cr_2O_3	0,07	0,00	0,01	0,09	0,02
ZnO	0,03	0,00	0,00	0,00	0,08
NiO	0,19	0,00	0,02	0,12	0,03
V_2O_3	0,02	0,03	0,00	0,02	0,00
Summa	84,32	89,16	89,37	89,7	100,3

Kloriitin ja serpentiinin alhaiset analyysien loppusummat johtuvat mineraalien sisältämästä vedestä, jota analysaattorilla ei määritetty.

MITTAUSTULOKSET

Ilmanäytteiden tulokset

Kuten jo aiemmin on todettu mittauskohteena oli kiuaskivistä saunomisen aikana ilmaan irtoavat kuitumaiset silikaattimineraalit, jotka imettiin polykarbonaattisuodattimille. Suodattimet laskettiin Työterveyslaitoksen työhygenian ja toksikologian osastolla. Näytteiden laskeminen ja analysoiminen tapahtui laboratoriopäällikkö Antti Tossavaisen valvonnassa.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Ilmanäytteistä määritettiin asbestipitoisuus, joka kaikissa tapauksissa on tremoliittia, (kuitua/cm^3) sekä muut kuitumaiset silikaattimineraalit. Suodattimelta lasketut partikkelit tunnistettiin SEM/EDS -mikroanalysaattorilla. Suodatinnäytteet numeroitiin seuraavasti:

- Kota tl Lapintehtaan peridotiitti, näytteet 4,5,6 ja 7.
- Eräjärven oliviinidiabaasi, näytteet 10 ja 11.
- Kemin Elijärven serpentiiniperidotiitti, näytteet 14,15,1 ja 2.

Jokaisesta saunomisesta on kaksi suodatinta eri korkeuksilta (200 cm'stä näytteet: 4,6,10,14 ja 1 ja 170 cm'stä näytteet: 5,7,11,15 ja 2).

Seuraavassa taulukossa on mittaustulokset käsitelty suodatin kohtaisesti.

Taulukko 4. Ilmanäytteiden kuitupitoisuudet.

Kivilaji	Näyte n:o	Tremoliittias-besti kuitua/cm^3	muut silikaattikuidut kuitua/cm^3
Peridotiitti	4	0,57	0,02
Peridotiitti	5	0,25	
Peridotiitti	6	0,54	0,02
Peridotiitti	7	0,82	0,02
Oliviinidiabaasi	10	0,04	0,02
Oliviinidiabaasi	11	0,01	0,02
Serpentiiniperi-dotiitti	14	0,06	0,07
Serpentiiniperi-dotiitti	15	0,09	0,27
Serpentiiniperi-dotiitti	1	<0,01	0,01
Serpentiiniperi-dotiitti	2	<0,01	0,03

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Kuten tuloksista käy ilmi, ylittyi puhtaalle huoneilmalle annettu suositusarvo 0,01 kuitua/cm^3 kaikilla saunankivillä jo ensi löylyssä, lukuunottamatta oliviinidiabaasin alempaa mittauskorkeutta, mistä näyte 11. Kemin serpentiiniperidotiitille suoritettussa uusintakokeessa (20 saunomiskerran jälkeen), näytteet 1 ja 2, alitettiin tremoliittiabestissa suositusarvot molemmilla korkeuksilla.

Kota tl Lapintehtaan peridotiitti

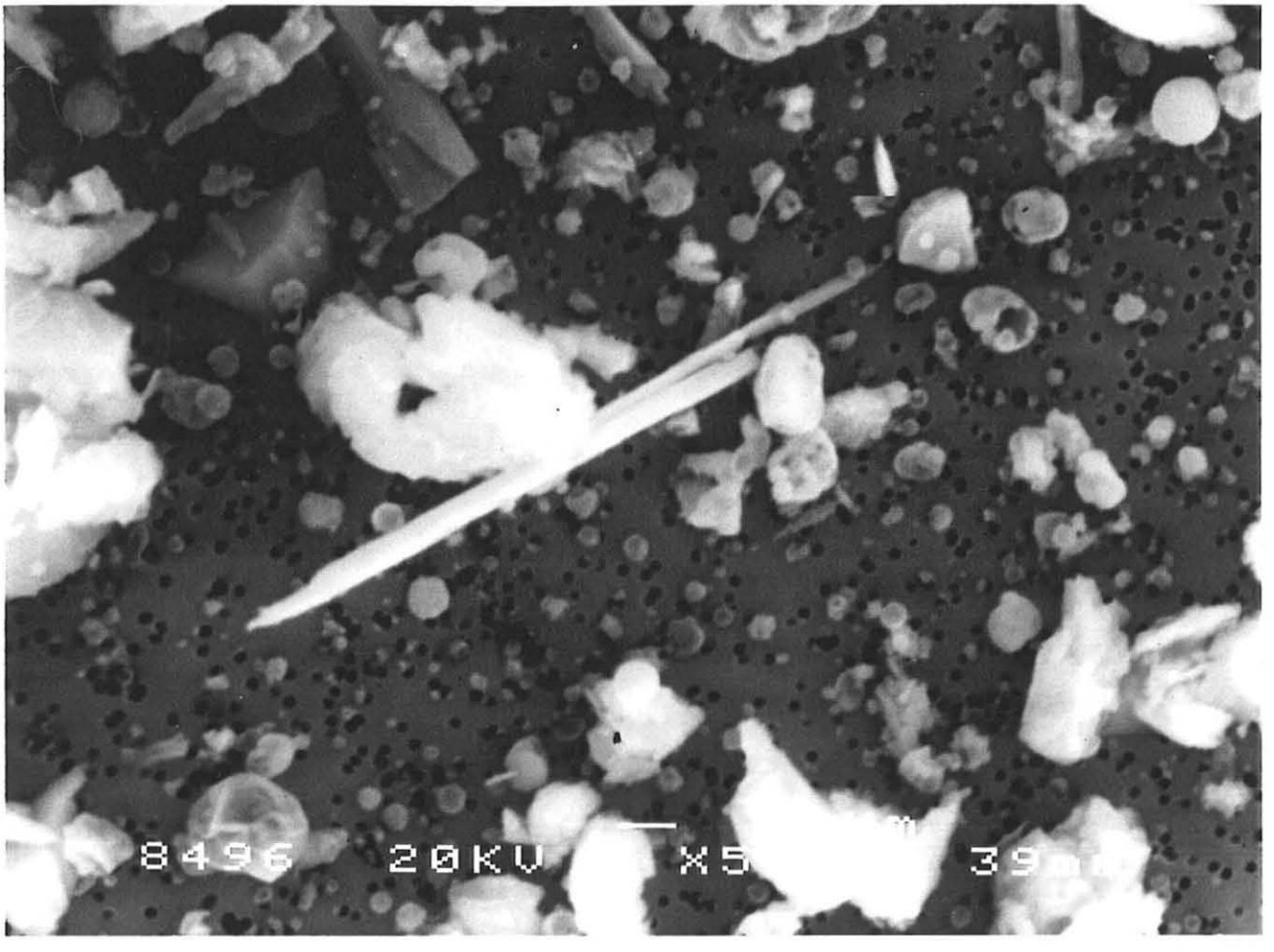
Suurimmat ylitykset olivat peridotiitilla. Suositusraja ylittyi jopa 80 kertaisesti. Kivistä irronneet kuidut olivat enimmäkseen tremoliittiasbestia. Kivelle suoritettiin kaksi eri koetta. Toisessa vesi heitettiin kivien päälle kauhalla, josta näytteet 6 ja 7 ja toisessa vesi johdettiin kiukaalle letkun avulla, josta näytteet 4 ja 5. Tämä suoritustapa hylättiin kuitenkin siksi, että siinä vesi tippui aina saamaan kohtaan eikä se täten vastaa toden mukaista löylynheittotilannetta, jossa vesi lentää laajemmalle alalle.

Peridotiitista irtosi tremoliittiasbestin lisäksi ilmaan kuitumaista kloriittia ja diopsidia. Näiden määrät jäivät kuitenkin vähäisiksi, 0,02 ja 0,01 kuitua/cm^3, eivätkä ne vaikuta merkitsevästi lopputulokseen.

Kota lt Lapin tehtaan peridotiitn suodatin kuvat

Kodan peridotiitissa, kuvat 8496-8498, tremoliitti esiintyy kuitumaisena lohkokappaleina ja kuituina.

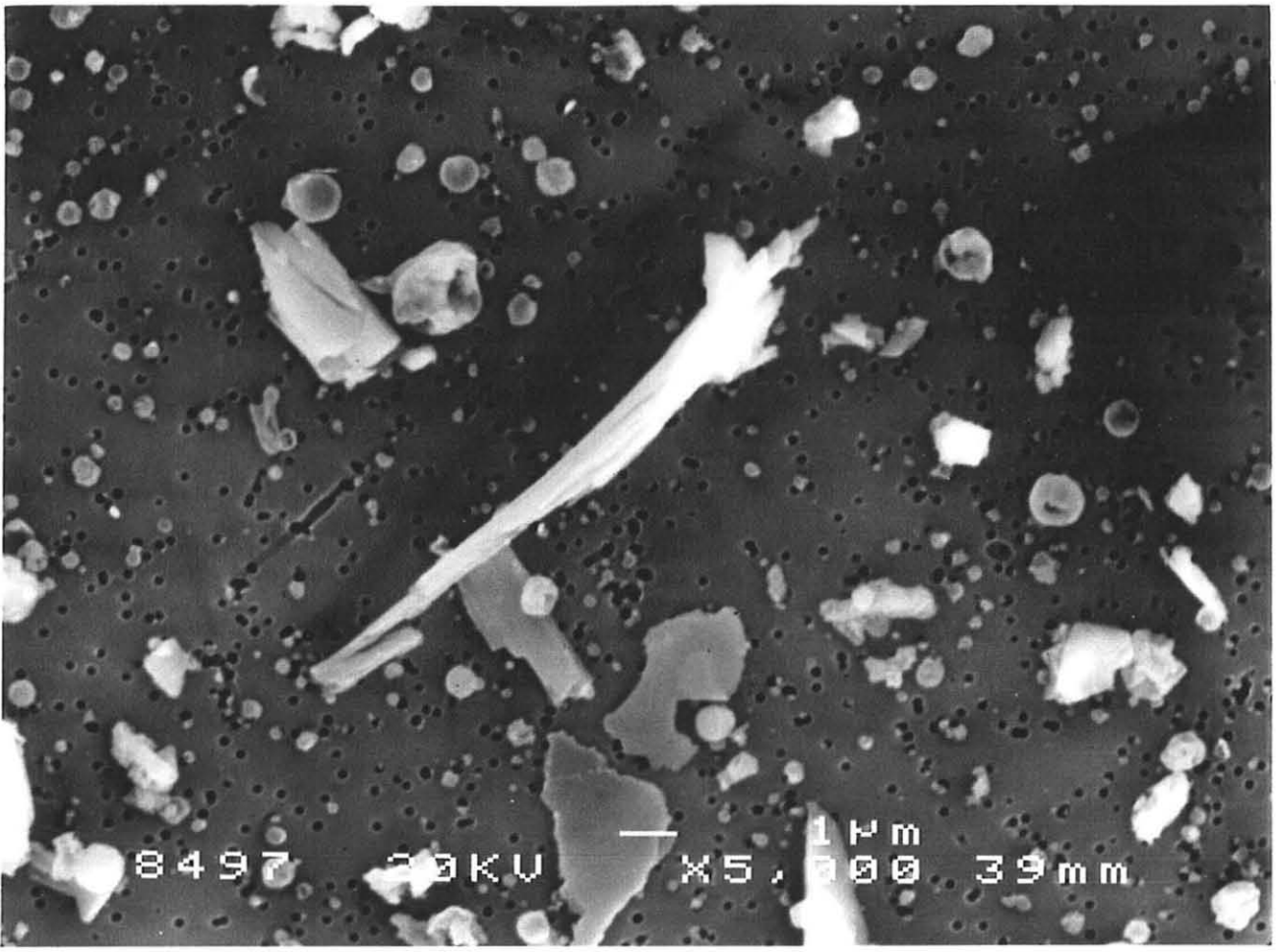
Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.



Kuva 16. Kuitu (tremoliitti).

Näyte ?
+ vähäns

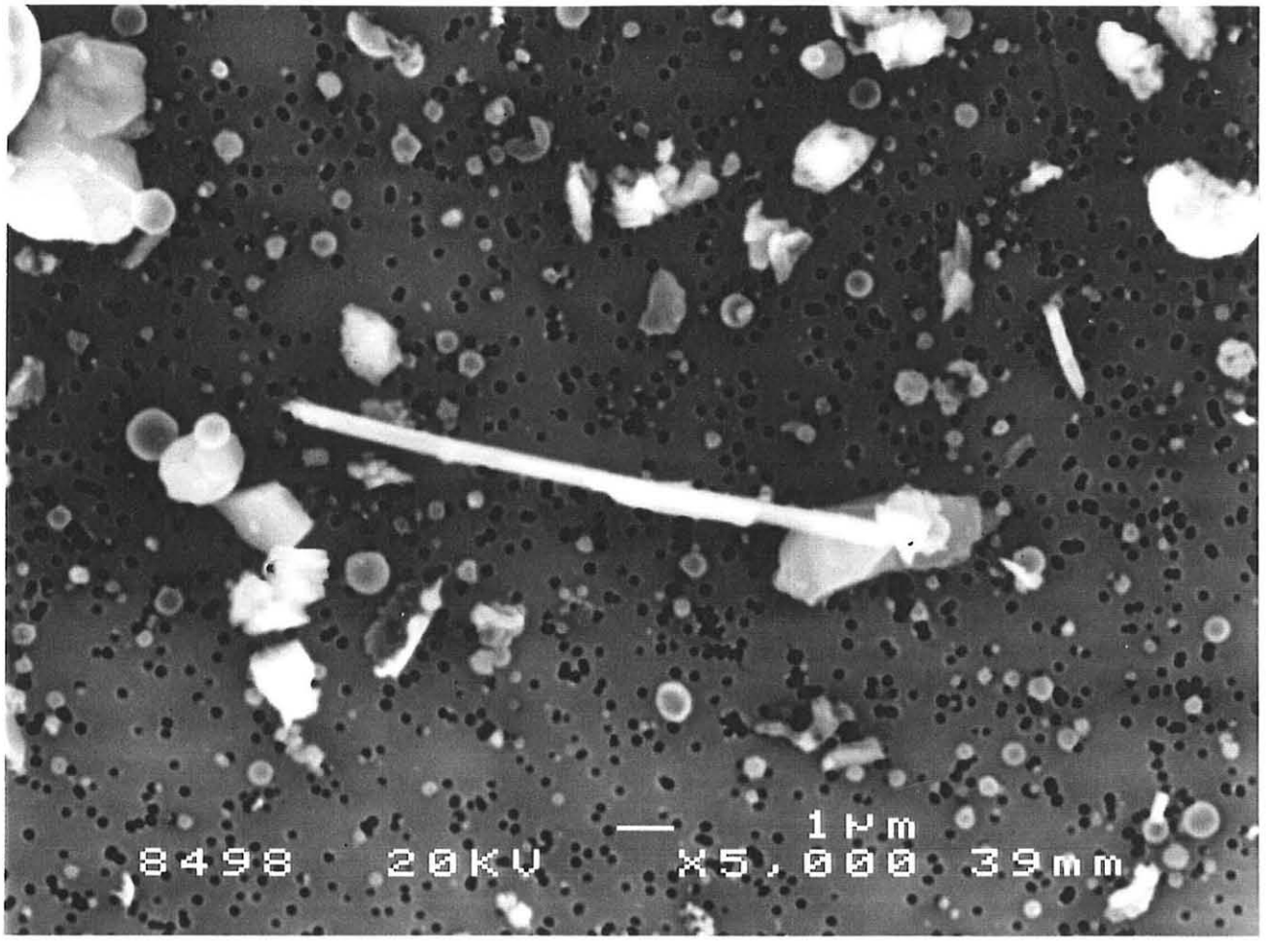
Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.



Kuva 17. Kuitumainen lohkokappale (tremoliitti).

Näyte ?

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.



Kuva 18. Kuitu (tremoliitti).

Eräjärven oliviinidiabaasi

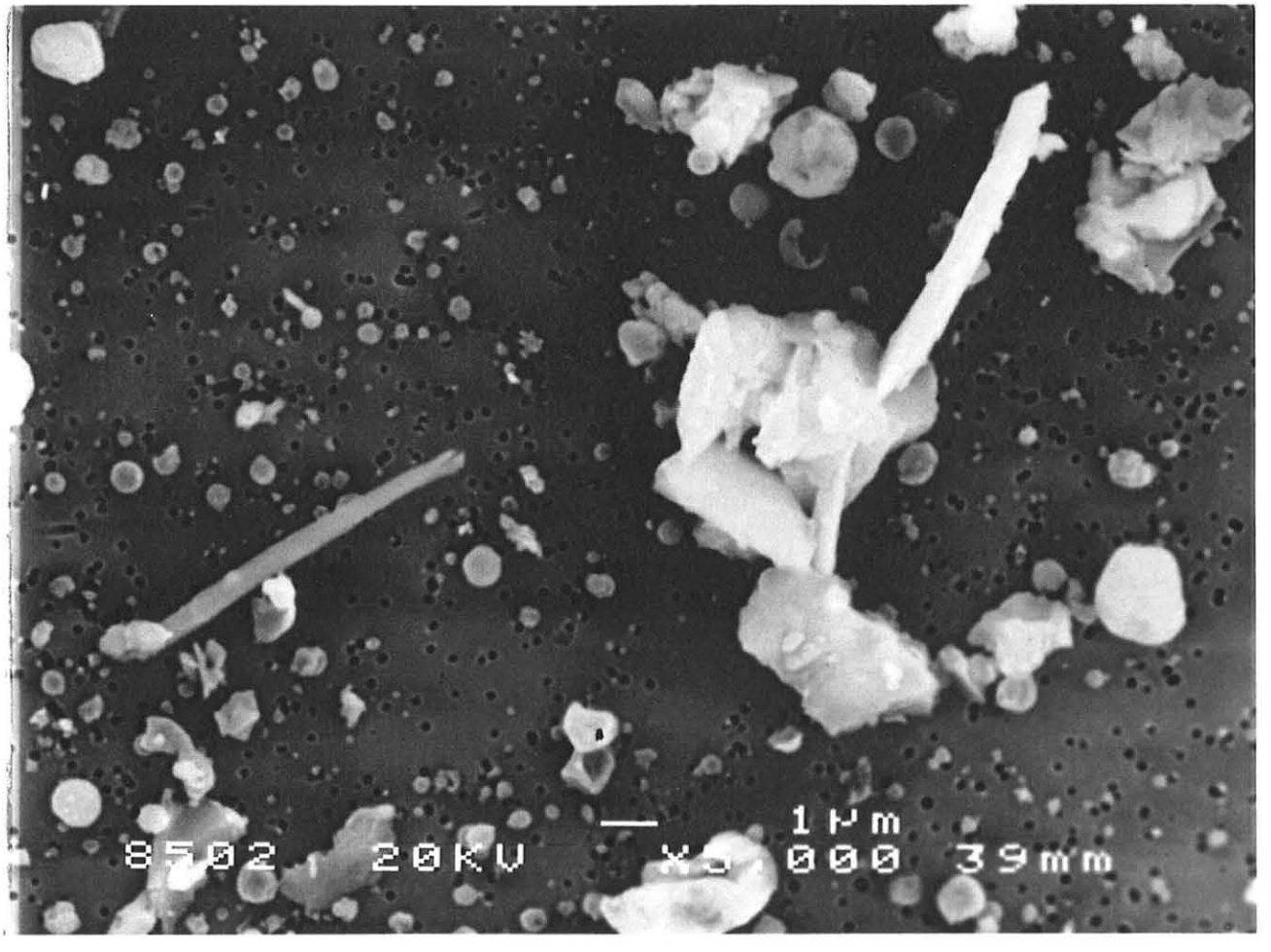
Alhaisimmat arvot tulivat oliviinidiabaasilta mikä oli ennakoitavissa, koska kivi oli kaikkein vähiten muuttunut. Laskettujen tremoliittiasbestien määrät 0,01 ja 0,04 kuitua/cm^3 ovat vain hieman suositusarvoa korkeammat, ja muiden silikaattikuitujen määrät 0,02 kuitua/cm^3 molemmissa suodattimissa ovat myös alhaiset. Oliviinidiabaasi

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

oli muita raekooltaan tasarakeisempi, mikä tekee kivestä rapautumiskestävän (Vähäsarja 1976). Kyseinen kivi rapautui myös saunonnan aikana silmämääräisesti kaikkein vähiten.

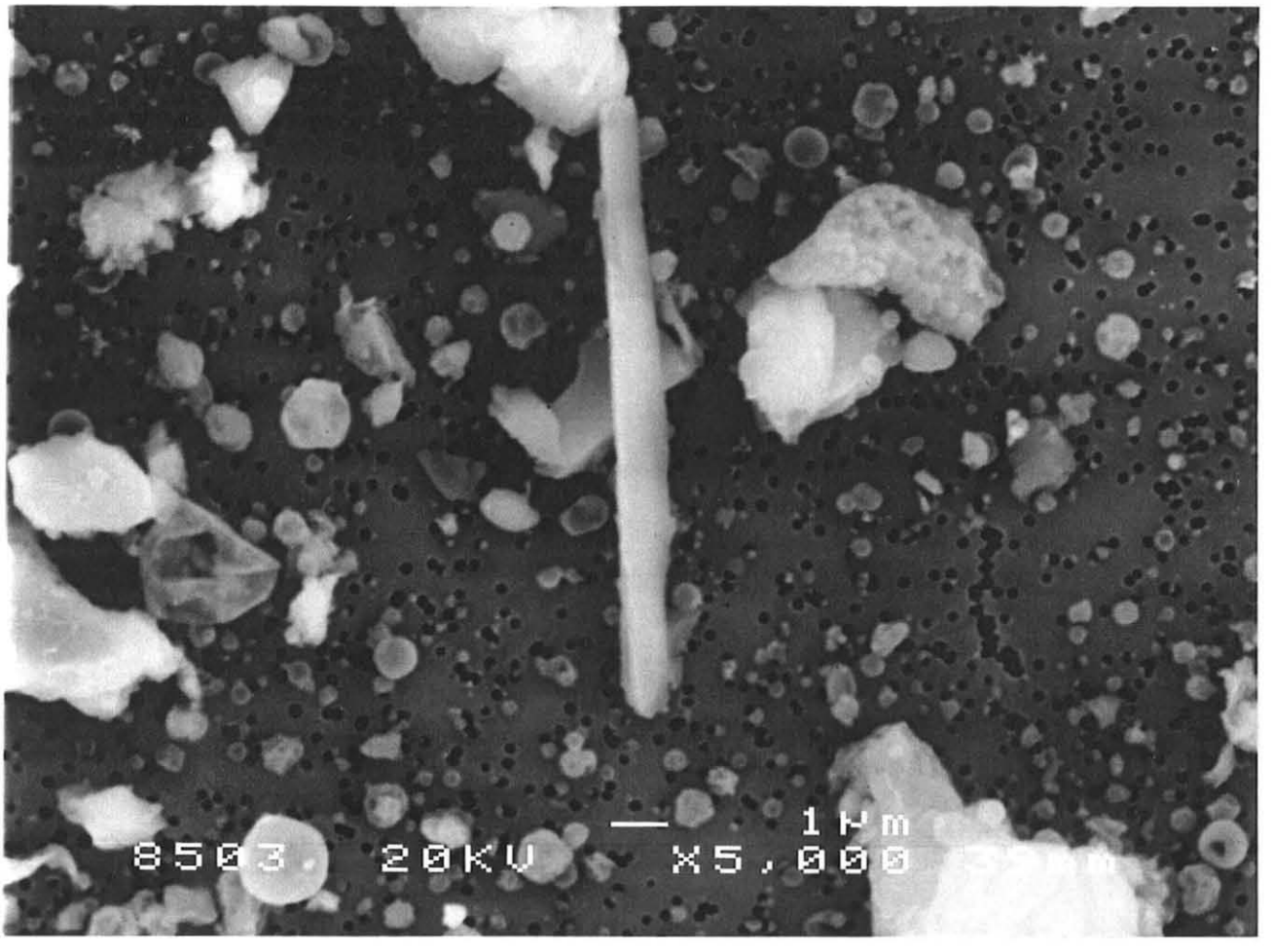
Eräjärven oliviinidiabaasin suodatinkuvat

Oliviinidiabaasissa, kuvat 8502-8503, esiintyy kuituja ja kuitumaisia lohkokappaleita.



Kuva 19. Vasemmalla kuitu (tremoliitti) ja ylhäällä oikealla kuitumainen lohkokappale.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.



Kuva 20. Kuitu (tremoliitti).

Kemi Elijärven serpentiiniperidotiitti

Kivestä irtosi tremoliittiasbestia 0,06 ja 0,09 kuitua/cm^3. Lukemat ylittävät hieman puhtaalle huoneilmalle annetun suositusarvon 0,01 kuitua/cm^3.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

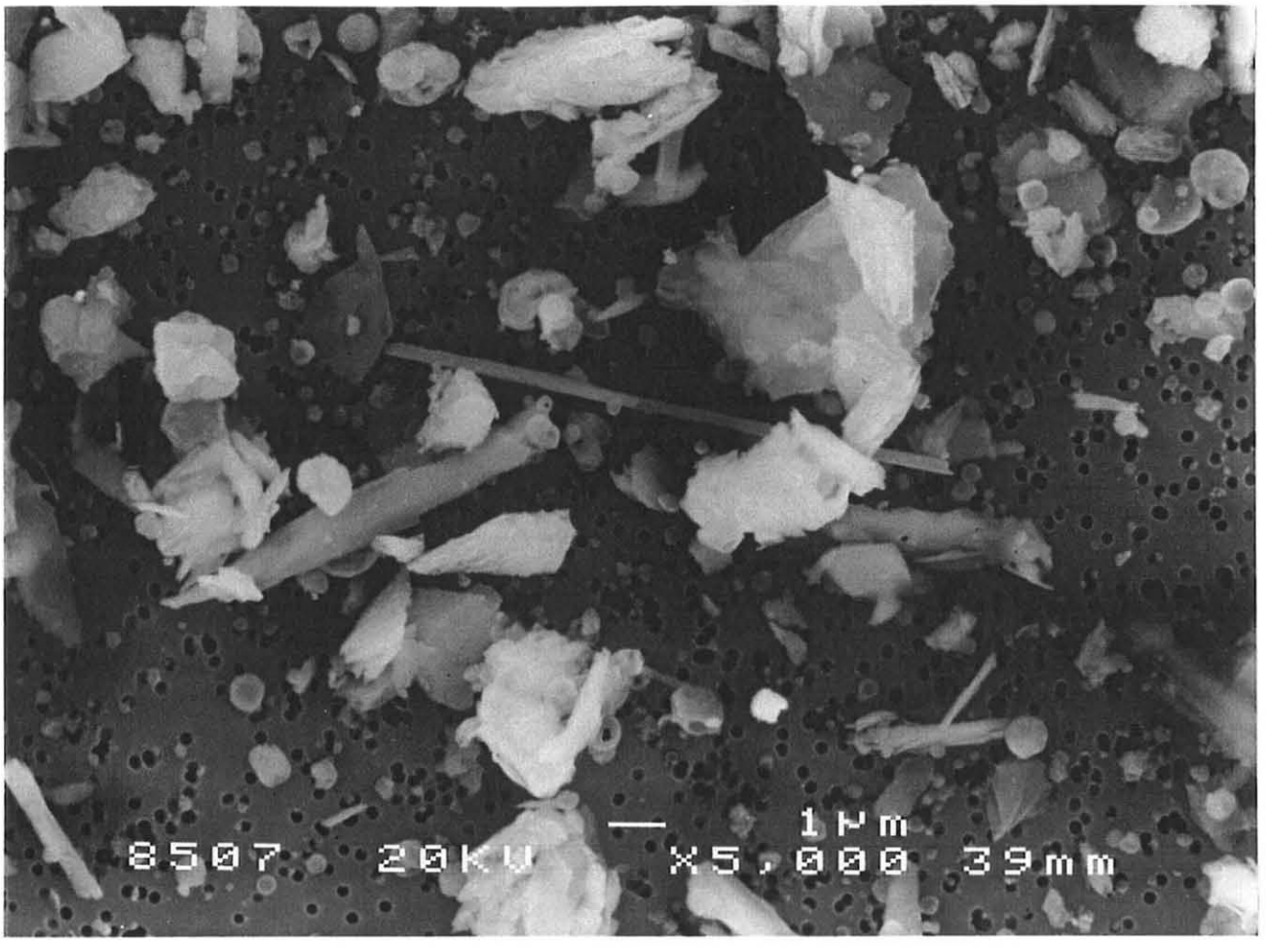
Asbestin lisäksi serpentiiniperidotiitista irtosi lähinnä antofylliitti-kummingtoniittia 0,03 ja 0,16 kuitua/cm^3. Serpentiiniä mitattiin alemmalta mittauskorkeudelta suhteellisen runsaasti (0,1 kuitua/cm^3) ylemmän korkeuden (0,04 kuitua/cm^3) tulokseen verrattuna. Nämä yhdessä kloriitin (0,01 kuitua/cm^3) kanssa nostavat serpentiiniperidotiitista irronneiden muiden kuitumaisten silikaattimineraalien määrän suhteellisen korkeaksi, näytteeltä 14: 0,07 ja 15: 0,27 kuitua/cm^3.

Serpentiiniperidotiitille uusitussa kokeessa (näytteet 1 ja 2), 20 saunomiskerran jälkeen, asbestikuitupitoisuus oli alle 0,01 kuitua/cm^3. Muita irronneita silikaattikuituja olivat serpentiini ja diopsidi, joiden määrät vaihtelivat 0,01-0,02 kuitua/cm^3. Tämä todistaisi sen että kivi "puhdistuu" käytön aikana.

Kemin Elijärven serpentiiniperidotiitin suodatinkuvat

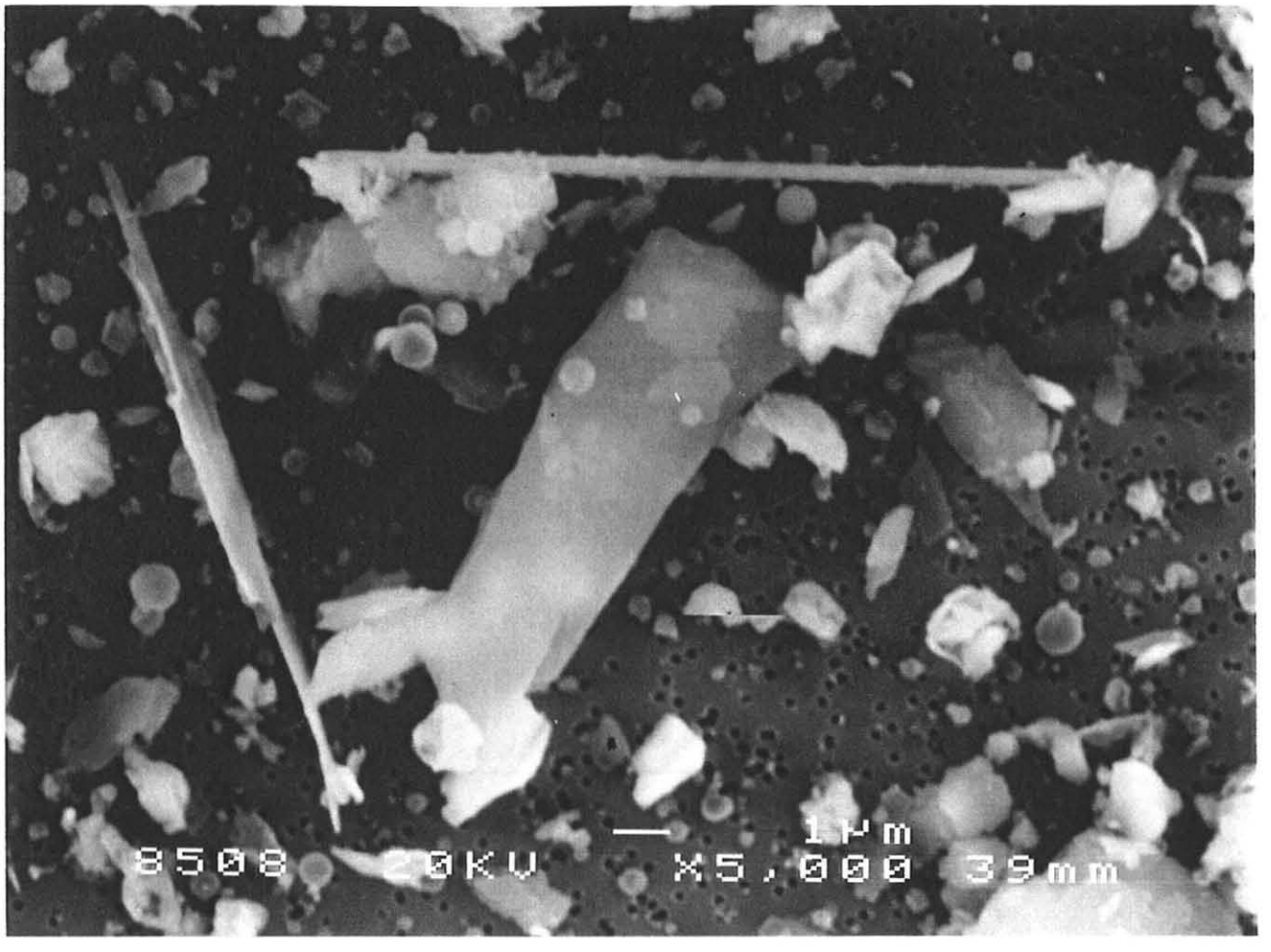
Kemin metaperidotiitistä suodattimelle saaduista partikkelista otetuista kuvista, kuvat 8507-8508, voidaan erottaan kuitumainen , kuitumainen lohkokappale/ lastu ja levymäinen partikkeli.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.



Kuva 21. Keskellä kuitu (tremoliitti) ja vasemmalla lohkokappale (antofylliitti) serpentiiniperidotiitista.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.



Kuva 22. Vasemmalla kuitumainen lohkokappale (antofylliitti), ylhäällä kuitu (tremoliitti) ja keskellä levymäinen kappale (serpentiini).

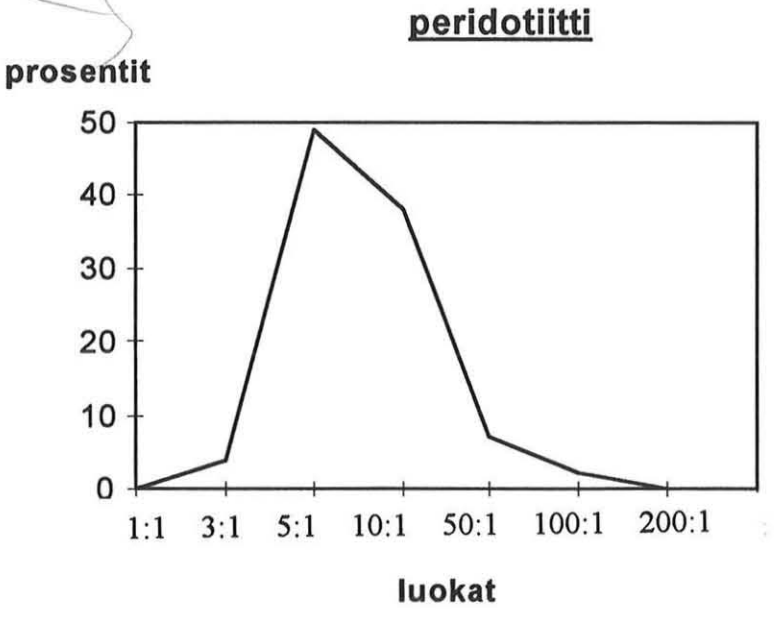
Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Muotosuhdediagrammit

Kota tl Lapintehtaan peridotiitin (näyte 7) ja Kemin Elijärven serpentiiniperidotiitin (näyte 15) kuidut laskettiin suodattimilta ja tuloksia tarkasteltiin muotosuhdediagrammin avulla. Näin pyrittiin selvittämään kuitujen alkuperä, ovatko ne mineralogisesti vaiko lohkeamalla syntyneitä.

Näytteestä 7, Kota peridotiitti, kaikki lasketut kuidut ovat tremoliittia ja niiden jakaantuminen eri muotosuhdeluokkiin esitetään diagrammissa 5.

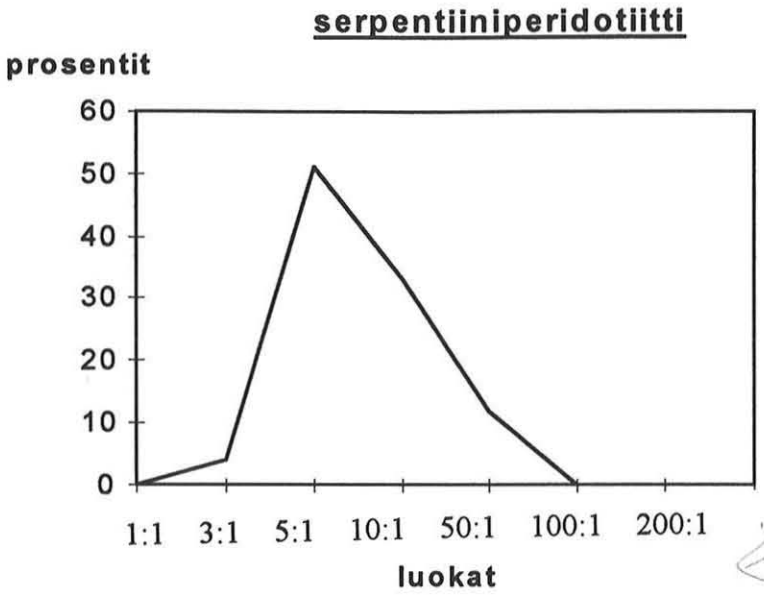
Suurin osa (53%) lasketuista kuiduista väliin 1:1 - 10:1. Yli puolet lasketuista kuiduista on siis syntynyt lohkeamalla suuremmista partikkeleista. Sama asia tulee esiin myös hietutkimuksista, pyrokseenit ovat suurimmaksi osaksi muuttuneet lohkomaisiksi tremoliiteiksi.



Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Näytteestä 15, Elijärven serpentiiniperidotiitti, laskettujen kuitujen jakaantuminen eri muotosuhdeluokkiin, diagrammi 6.

Lasketuista kuiduista 55% sijoittui 10:1 tai pienempiin muotosuhdeluokkiin.



Serpentiiniperidotiitista laskettiin kuitumaisia partikkeleita amfiboleista, serpentiinistä ja kloriitista. Jakaantuminen mineralogisesti eri muotosuhdeluokkiin oli seuraava:

Taulukko 7.

kuitumaiset mineraalit kpl	muotosuhdeluokat 1:1 - 1:10	muotosuhdeluokat 1:10 - 1:200
amfibolit (joista tremoliitin osuus)	40 (14)	39 (13)
serpentiini	13	6
kloriitti	2	-
yhteensä kpl	55	45

Samanlaista jakaumaa puoltaa myös mikroskooppinen tarkastelu. Yleensä amfibolit esiintyvät lohkomaisina, joskin päistään tikkumaisina, partikkeleina. Yksittäisiä kuituja on harvakseltaan ja niitä on valomikroskoopin avulla vaikea tunnistaa.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Edellä esitetyt tulokset osoittavat sen, että kivistä ilmaan irronneet kuitumaiset partikkelit ovat pääosin, molemmissa tapauksissa yli 50%:sti, lohkeamalla syntyneitä, ja täten kivet eivät sisällä niin paljoa mineralogisia kuitumaisia mineraaleja kuin pelkkiä tuloksia katsomalla olettaisi.

Saunankiuaskivien kuitupitoisuus paino-%

Kivien kuitupitoisuus määritettiin Työterveyslaitoksella. Kuitupitoisuudet olivat seuraavat:

1. Kemin Elijärven metaperidotiitti : 0,1 paino-% tremoliittikuituja ja 0,1 paino-% antofylliittiä.

2. Kota peridotiitti : 0,1 paino-% tremoliittikuituja ja 0,1 paino-% silikaattikuituja.

3. Eräjärvi oliviinidiabaasi : alle 0,01 paino-% kuituja.

Kivien sisältämät kuitumäärät ovat erittäin pieniä. Tulosta tukee hyvin myös muotosuhdediagrammin jakauma, mikä osoitti, että sekä Kodan peridotiitin ja Elijärven serpentiiniperidotiitin ilmaan irtoavista kuiduista yli puolet on syntynyt lohkeamalla. Kiven mineralogisen asbestin määrä on näin ollen pieni. Normaalina materiaalinäytteiden asbestirajana pidetään 1 paino-% kuituja. Näytteiden tulokset jäävät reilusti tämän rajan alle.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

YHTEENVETO

Tutkimuksessa selvitettiin irtoaako Kemin Elijärven kaivoksesta sivukivenä louhittavasta serpentiiniperidotiitista saunottaessa ilmaan kuitumaisia silikaattimineraaleja, ennen kaikkea terveydelle haitallista asbestia. Vertailukivinä käytettin markkinoilla yleisesti myytäviä kiuaskiviä:

Kota tl Lapintehtaan peridotiittia

Eräjärven oliviinidiabaasia

Mittaukset suoritettiin lämpöolosuhdelaboratoriossa Oulun Aluetyöterveyslaitoksella. Ilmassa olevat kuidut kerättiin imupumppujen avulla polykarbonaattisuodattimille, josta ne laskettiin elektronimikroskoopilla.

Kodan peridotiitista irtosi ilmaan eniten asbestia, suurimmillaan 80 kertaisesti yli suositusrajan, määrän vaihdellessa 0,25 - 0,82 kuitua/cm^3 välillä. Irronneet kuidut olivat lähes yksinomaan tremoliittiasbestia. Kivelle suoritettiin normaalin löylynheiton lisäksi toinen koe, jossa vesi johdettiin kiukaalle letkun avulla. Näiden eri kokeiden tulokset eivät poikenneet suurestikkaan toisistaan. Muille koekiville suoritetuissa kokeissa vesi heitettiin kiukaalle kauhalla, koska se vastaa paremmin normaalia saunomistilannetta.

Kemin serpentiniittiytyneen peridotiitin tremoliittiasbestimäärät ovat 0,06 ja 0,09 kuitua/cm^3. Kivestä irtosi suhteellisen paljon muita silikaattikuituja, etupäässä antofylliitti-kummingtoniittiryhmään kuuluvia kuituja (0,16 kuitua/cm^3) ja kuitumaista serpentiiniä (0,1 kuitua/cm^3). Kivelle suoritetussa jälkimittauksessa, 20 saunomiskerran jälkeen, ilmaan irtosi kuitumaisia partikkeleita alle 0,01 kuitua/cm^3. Voidaankin sanoa, että saunomisen myötä kivi tavallaan "puhdistuu" ja siitä ilmaan irtoavien partikkelin määrä pienenee. ? Entä esim. 50 kerran jälkeen ?

Eräjärven oliviinidiabaasi oli kivistä kaikkein "puhtain". Siitä iroavien kuitumaisten partikkelien määrät olivat pienet, tremoliittiasbestia 0,04 ja 0,01 kuitua/cm^3 ja hieman muita kuitumaisia silikaattimineraaleja (kloriittia ja sarvivälkettä). Kivestä ilmaan

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

irronneiden partikkelien pienet määrät selittyy osin oliviinidiabaasin metamorfoitumattomista mineraaleista. Kivi näyttäisi kestävän lämpötilan vaihteluja muita koekiviä paremmin.

Saunomisen aikana kivistä irtosi ilmaan tremoliittiasbestia sekä muita kuitumaisia silikaattimineraaleja. Pitoisuudet vaihtelivat puhtaan huoneilman suositusarvoista 0,01 kuitua/cm^3 suhteellisen korkeiksi 0,82 kuitua/cm^3. Asbestin HTP-arvot (HTP = haitalliseksi todettu pitoisuus) on ilmoitettu 8 tunnin keskipitoisuuksina koskien työskentelytiloja. Saunailmalle ei ole erikseen määritelty raja-arvoa, mutta käytimme puhtaalle huoneilmalle, 0.01 kuitua/cm^3, annettua suositusarvoa. Saunassa ollaan harvoin yli 15 min kerrallaan ja harvat saunovat kolmea kertaa useammin viikossa, joten suurista altistumisista ei voitane puhua vaikka puhtaalle huoneilmalle annetut suositusrajat ylittyivätkin.

On tosin muistettavaa, että altistuminen on hyvinkin yksilöllistä riippuen monista eri tekijöistä, eikä altistumisen tarvitse olla pitkäaikaista vaan myös lyhytaikaiset altistumiset ovat terveydelle vaarallisia. Etenkin lapset ovat herkempiä altistumaan jo huomattavan alhaisilla pitoisuuksilla.

Saunakivien materiaalinäytteiden kuitupitoisuudet olivat huomattavasti alle 1 %, mitä pidetään normaalina asbestirajana materiaalinäytteelle. Suurin osa ilmaan irronneista kuitumaisista partikkeleista on syntynyt lohkeamalla. Tätä puoltaa myös muotosuhdediagrammissa esitetty kuitujakauma.

Keinoja saunan ilman laadun parantamiseen

Yksi merkittävä keino ilman kuitupitoisuuden alentamiseksi on lisätä ilman kosteutta. Liian kuiva saunan ilma helpottaa kuitumaisten partikkelien liikkumista ilmassa. Samalla tulisi huolehtia saunan riittävästä ilman vaihdosta, pelkkä saman ilman kierto ei hyödytä vaan raitista ilmaa on tultava mukaan saunan sisäisen kiertoon.(Tommila 1986)

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Valitaan kiukaaseen sopivan kokoiset kivet ja ulkoasultaan mahdollisimman homogeeniset. Tämä siksi että eri mineraalit laajenevat ja supistuvat eri tahtiin, mitä heterogeenisempi mineraaleiltaan kivi on sen nopeammin se murenee. Kiven rapautuessa pääsee siitä vapautumaan myöskin ilmaan partikkeleita. Parhaita kiviä kiukaalle ovat tummat, lämpöävaraavat syväkivet (Eklund 1992).

Jälkitoimenpiteitä

Kaikista markkinoilla olevista saunankiuaskivistä tulisi mitata niiden asbestipitoisuus ja se pitäisi merkitä selvästi esim. laatikon kylkeen. Tämän eräänlaisen kiven tuoteselosteen pitäisi olla vaatimuksena kaikissa myytävissä kiuaskivissä

KIITOKSET

Haluan kiittää Kemin Elijärven kaivokselta Ossi Leinosta ja Kalevi Puijolaa sekä apulaisprofessori Tuomo Alapietiä Geo- ja tähtitieteen laitokselta FM-tutkimuksen aiheen antamisesta. Erityiskiitokset Sakari Junttilalle, Oulun Aluetyöterveyslaitokselle, joka omalla ajalla opasti minua aiheen tiimoilta ja toimi mittausten valvojana. Kiitokset myös laboratoriopäällikkö Antti Tossavaiselle Työterveyslaitokselle, sekä Ulla Paakkolalle ohuthieiden valmistuksesta. Paljon kiitoksia myös Titta-Miia Kaivolalle ja ATK- sovellusten opettamisesta Esa Hietalalle Laatumikro Oy:n.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

KIRJALLISUUSVIITTEET

AFS (Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling), 1990. 13, Hygieniska gränsvärden, Stockholm.

Alapieti, T.T., Kujanpää J., Lahtinen J.J. & Papunen H., 1989. The Kemi Stratiform Chromitite Deposit, Northern Finland. Economic Geology-vol.84,No.5, August 1989.

Alapieti, T:T., Halkoaho T., Huhtelin T., Iljina M. & Lerssi J., 1990. Peräpohjan platinaprojekti, loppuraportti. Raportti n:o 3 1990, Oulun yliopisto, 57 s.

Berglund, G-B. & Lundgren, L., 1988. Identifiering av asbestinnehåll i materialprover med ljusmikroskopi- en metodbeskrivning. Undersökningsrapport 1988:4. Arbetsmiljöinstitutet, Sverige.

Bates, R.L. & Jackson, J.A. (toim.), 1987. Glossary of geology. Third edition. American Geological Institute, Alexandria, Virginia.

Campbell, W.J., Blake, R.L., Brown, L.L., Cather, E.E. & Sjoberg, J.J., 1977. Selected silicate minerals and their asbestiform varieties. U.S.Department of the Interior, Bureau of Mines. Report of Investigations RI 8751.

Chatfield, E., 1984. Fiber sefinition in occupational and environmental asbestos measurements.Lavandie, B. (toim.) Definitions for asbestos and other health-related silicates. Baltimore: ASTM, s. 118-138.

Cole, M.J., Barnes, S.J. & Hill, E.T., 1987. The role of fluids in metamorphism of komatiites, Agnew nickel deposit, Western Australia. Contrib. Mineral. Petrol., 96, s. 151-162.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Deer, W.A., Howie, R.A. & Zussmans, J., 1962. Rock-Forming Minerals, Vol. 2-3. William Clowes and Sons, Limited, London and Beccles.

EC (European Communities), 1991b. Comission Directive 91/659/EEC adapting to technical progress Annex I to Council Directive 76/769/EEC on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to restrictions on the marketing and use of certain dangerous sugstances and preparations (asbestos). OJ No L 363, 3.12.1991. Bryssel. s. 36-38.

Eklundh, C., 1992. Makoisat löylyt kunnon kiuaskivillä. Artikkeli Tiede 2000. 12 vsk 4/1992, s 26-27.

Gribble, C.D. & Hall, A.J., 1985. A Practical introduction to optical mineralogy. George Allen & Unwin, London.

Grönholm, S., 1992. Kemin Elijärven Kromiittiesiintymän sivukivien soveltuvuus kalliomurskeen raaka-aineeksi; erityisesti mikrorakenteen vaikutus lujuusominaisuuksiin. Geologian tutkimuskeskus, kiviainetutkimukset KA 33/92/1, Espoossa 24.1.1992.

Hartikainen, T., 1995. Kuitumaisten mineraalien asiintyminen kivianeksessa ja työilmassa Suomen karbonaattikivi- ja kalliomursketuotannossa. Lisenssiaattityö, Helsingin Yliopisto.

Hayashi, H., Aita, S. & Suzuki, M., 1978. Semiquantitative chemical analysis of asbestos fibers and clay minerals with an analytical electron microscope. Clays and clay minerals 26 (3), s. 181-188.

Hill, R.,E., T., 1994. Komatiites; Komatiite volcanology, Nickel deposits and Avisit to extant volcanism, Hawaii. A workshop presented by the Dision on Exploration and Mining on The Islan of Hawaii. CSIRO, Australia, 154 s.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Huuskonen, M.S., Koskinen, H., Roto, P., Tuomi, T., Heikkilä, P. & Rantanen, J., 1987. Asbesti merkittävä terveyshaitta vielä 2000-luvun Suomessa ?. Suomen Lääkärilehti 17/87 vsk.42; 1669- 1676, Forssan kirjapaino Oy.

Hwang, C-Y., 1983. Size and shape of airborne fibres in mines and mills. Brittish Journal of Industrial Medicine 1983;40:273-279.

IARC (International Agency for Research on Cancer), 1987b. Supplement no. 7. Overall evaluation of carcinogenicity. An updating of IARC Monographs, 1-42. Lyon.

Irvine T.N., (1982). Terminology for Layered Intrusions. Geophysical Laboratory, Garnegie Institution of Washington, D.C. 20008. Journal of Petrology, 1982 Vol 23. Part 2, s.127-162.

Junttila, S., Hartikainen, T., Härmä, P., Kohonen, K., Suominen, V., Tossavainen, A. & Lauri, P., 1994. Kuitumineraalien esiintyminen Suomen kalkkikivikaivoksissa ja kalliomurskelouhoksissa. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 127, Espoo, 54 s.

Kelse, J. & Thompson, C., 1989. The regulatory and mineralogical definition for asbestos and their impact on amphibole dust analysis. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 50, s.613-622.

Laitinen, L., A., Lindqvist, A. & Heino, M., 1988. Keuhkot löylyssä. Artikkeli lehdessä; Lääketieteellinen aikakauskirja DUODECIM 104:8;625-630. Vammalan Kirjapaino Oy.

Laitinen L., 1990. Työterveysriskejä aiheuttavat kuitumineraalit luohinnassa ja kivimateriaalin käsittelyssä. Diplomityö 6.3.1990.

Le Maitre, R.W., 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Blackwell Scientific publications. 193 s.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Lerssi, J., 1990. Oma kirjoitelmaosuus Peräpohjan Platinaprojektin loppuraportissa (kts. Alatpieti et al 1990)

Lönnrot, E. Suomalaisen talonpojan kotilääkäri. Vapaatalo, H., Sauna ja lääketiede; artikkeli lehdessä Lääketieteellinen aikakauskirja DUODECIM. 1988, 104. vuosikerta 8;573-574. Vammalan Kirjapaino Oy.

Mason, B & Moore, C.,B., 1982. Principles of Geochemistry. Fourth edition, printed in the United States of America.

Mason, R., 1990. Petrology of the metamorphic rocks. Second Edition. London, Unwin Hyman, 230 s.

McCrone, W.C., 1980. The asbestos paricle atlas, Michigan: Ann Arbor Science Publishers.

NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), 1989. NIOSH manual of analytical methods. Method 7400 and 7402.

Nordman, H., Keskinen, H. & Alanko, K., 1988. Keuhkojen ammattisaurauksien muuttuva kirjo. Artikkeli lehdessä Lääketieteellinen aikakauskirja DUODOCIM 104:6;488-493, Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala.

Perkins, R.l., 1990. Point-counting technique for friable asbestos-containing materials. Microscope 38, s. 29-39.

Perttunen, V.,1991. Kemin , Karungin, Simon ja Runkauksen kartta-alueiden kalloperä. Lehdet 2541, 2542+2524 ja 2544. Summary: Pre-Quarternary rocks of the Kemi , Karunki, Simo and Runkaus map-sheet areas. Geologian tutkimuskeskus, Suomen geologinen kartta 1:100 000, Kallioperäkarttojen selitykset, 1991. 80 s.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Reino, J., 1973. Pohjois-Suomessa esiintyvien albitiittien petrografiasta ja geokemiasta. Pro gradu, Oulun Yliopisto, 75 s.

Riala, R., 1991. Altisteet työssä 5. Työterveyslaitos, työsuojelurahasto, Helsinki.

Ross, M., 1981. Geologic occurrences and health hazards of amphibole and serpentine asbestos. Ribbe, P.H., (toim.) Amphiboles and other hydrous pyriboles-mineralogy. Reviews in mineralogy Vol 9A, Mineral. Soc. America, Washington, D.C., s. 279-323.

Ross, M., Kuntze, R. & Clifton, R., 1984. A definition for asbestos. Lavandie, B. (toim) Definitions for asbestos and other health-related silicates. Baltimore: ASTM, s. 139-147.

Saukko, M., 1971. Varhaiskarjalaisten metadiabaasien radiometrisiä zirkoni-ikiä. Geologi 23:9-10.117-119.

Simonen, A., 1980. The Precambrian of Finland. Geol.Surv. Finland. Bull. 304.

Sterckeisen, A., 1973. Plutonic rocks. Classification and nomenclature recommended by the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneus Rocks. Geotimes. Vol. 18, n:o 10, 2. 26-30.

Svingen, W., 1991. Analyse av asbestfiber i mineralprodukter. SINTEF rapport STF36 A91098. Tronheim.

Thompson, C.S., 1984. Consequences of using improper definitions for regulated minerals. Levadie, B., (toim.) Definitions for asbestos and other health-related silicates. ASTM STP 834. American Society for Testing Materials, Philadelphia, s. 175-183.

Tommila, P., (toim.) 1986. Rakennan saunan, Suomalainen saunaopas. Rakentajain Kustannus Oy, Helsinki, 156 s.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Tossavainen, A., 11.3.1996. Analyysilausunto; ilmanäytteistä. Työterveyslaitos, Työhygienian ja toksikologian osasto, Helsinki.

Tröger, W.E., 1979. Optical determination of rock-forming minerals 1. Deteminetive tables. Englidh edition of the fourth German edition by Bambauer, H.U., Taborszky, F. & Trochim, H.D. E.Schweitzerbart´sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgard, 188 s.

Työministeriö, 1993. HTP-arvot. Turvallisuustiedote 25. Tampere, 44s.

Vainio, T., 1991. Asbestin esiintyminen ja tunnistaminen. Geologi 8/1991 s. 155-158. Suomen Geologinen Seura.

Valtioneuvoston päätös asbestityöstä. Vnp 1380/94.

Webber, J.S., Janulis, R.J., Carhert, L.J. & Gillespie, M.B., 1990. Quantitating asabestos content in friable bulk samples: development of a stratifies poin-counting method. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 51(1990):8, s. 447-452.

Veblen, D.R. & Wylie, A.G., 1993. Mineralogy of amphiboles and 1:1 layer silicates. Guthrie, G.D. & Mossman, B.T., (toim.) Health effects of mineral dusts. Reviews in mineralogy Vol. 28. Mineralogical Society of America, Washington, D.C, s. 62-137.

Vilkka, V. & Haahtela, T., 1988. Hengitystiet ja ilmansaasteet. Artikkeli lehdessä Lääketieteellinen aikakauskirja DUODECIM 104:6;488-493,Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala.

Winer, A.A. & Cosette, M., 1979. The Effect of aspect ratio on fiber counts:A Preliminary Study. Annals New York Academy of Sciences 1979;330:661-672.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

Winkler, H,G;F., 1979. Perogenesis of Metamorphic Rocks. Fifth edition, printed in the United States of America. 348 s.

Vnp (Valtioneuvoston päätös) asbestin ja asbestipitoisen tuotteen valmistuksen, maahamtuonnin, myymisen ja käyttöön ottamisen kieltämisestä 852/1992.

Wylie, A.G., 1979. Fiber Length and Aspect Ratio of Some Selected Asbestos Samples. Annals of The New York Academy of Scienses, vol 330 s. 605-610, New York.

Wylie, A.G., 1988. Relationship between the growth habit of asbestos and the dimensions of asbestos fibers. Mining Engineering 1036-1039.

Wylie, A.G., 1990. Discriminating amphibole cleavage fragments from asbestos: rationale and methodology. In:Proc VII Int'l Pneumoconioses Conf., Pittsburg. 1988 Dept. Health and human resources (NIOSH) 1990. Publ. n:o 90-108 Part II. 1605-1609.

Vähäsarja, P., 1976. Sotilasgeologia II. Kalliolouhintaan liittyvää rakennusgeologiaa. 153 s.

Yardley, B.W.D., 1989. An Introduction to Metamorphic Petrology. Harlow Congman Scientific & Technical.
248 s.

Zoltai, T., 1981. Amphibole asbestos mineralogy. In: Amphiboles and other hyrous pyriboles-mineralogy. Reviews in mineralogy Vol. 9A. Editor D.R. Veblen. Mineralogical Society of America, s. 237-278.

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

LIITE 1

Nimi ja näyte N:o	Asbestikuitu-pitoisuus *K/cm³*	Tremoliitti-kuitupitoisuus *K/cm³*	MgFeSi-pit. (af-kumm.) *K/cm³*	MgFeSi-pit. (talkki, serp.) *K/cm³*	MgFeAlSi-pit. (kloriitti) *K/cm³*	CaMgFeSi-pit. (diops. tms) *K/cm³*	CaMgFeAlSi-pit. (sarv. tms) *K/cm³*
Kodan peridotiitti 4	0,57	0,57	0,02				
Kodan peridotiitti 5	0,25	0,25					
Kodan peridotiitti 6	0,54	0,54			0,01	0,01	
Kodan peridotiitti 7	0,82	0,82			0,02		
Eräjärven ol.diabaasi 10	0,04	0,04					0,02
Eräjärven ol.diabaasi 11	0,01	0,01			0,01		0,01
Kemin serp.perid. 14	0,06	0,06	0,03	0,04			
Kemin serp.perid. 15	0,09	0,09	0,16	0,1	0,01		
Kemin serp.perid. 1	<0,01			0,01			
Kemin serp.perid. 2	<0,01			0,01		0,02	

Max Forsman (1997) Oulun yliopisto. Digitoitu ja julkaistu tekijän luvalla Saunologia.fi-sivustolla 2018.

LIITE 2

Mittauskohde	Päivämäärä	Mittausaika	Ilman silikaattikuitupitoisuus kuitua/cm^3	Kuitutyyppi
Kota tl Lapintehtaan peridotiitti (29,7 kg)	**10.01.1996**			
saunan lämmitys		10.00-10.50		
a) 200 cm korkeudella			<0,01	
b) 170 cm korkeudella			<0,01	
löylynheitto 400ml/5 min.		12.55-13.55		
a) 200 cm korkeudella			0,54	tremoliitti
b) 170 cm korkeudella			0,82	tremoliitti
Eräjärven oliviinidiabaasi (13,7kg)	**11.01.1996**			
saunan lämmitys		9.20-10.00		
a) 200 cm korkeudella			<0,01	
b) 170 cm korkeudella			0,01	tremoliitti
löylynheitto 400ml/5 min.		10.05-12.05		
a) 200 cm korkeudella			0,04	tremoliitti
b) 170 cm korkeudella			0,01	tremoliitti
Elijärven serpentiini-peridotiitti (48 kg)	**12.01.1996**			
saunan lämmitys		9.20-10.00		
a) 200 cm korkeudella			<0,01	
b) 170 cm korkeudella			<0,01	
löylynheitto 400ml/5 min.		10.05-12.00		
a) 200 cm korkeudella			0,06	tremoliitti
b) 170 cm korkeudella			0,09	tremoliitti
20 lämmityksen jälkeen löylynheitto 400ml/5 min.	**16.01.1996**	12.50-14.30		
a) 200 cm korkeudella			<0,01	
b) 170 cm korkeudella			<0,01	