

# Dendrokronologian hyödyntäminen arkeologisessa tutkimuksessa

Pentti Zetterberg & Titta Kallio

Dendrokronologia on tieteenala, joka tutkii puun vuosilustoja. Laajasti ajateltuna dendrokronologinen tutkimus sisältää kaiken vuosilustojen tutkimuksen, jota käytetään hyväksi sekä luonnontieteiden että historian asettamien kysymysten ratkaisussa. Suppeammin dendrokronologiaa pidetään menetelmänä, joka pystyy määrittelemään puumateriaalin absoluuttisen iän. Tätä iän määrittystä käytetään erityisesti dendroarkeologiassa arkeologisen materiaalin ajoittamisessa. Dendrokronologialla pystytään antamaan tarkkoja ajoituksia. Ajoitettavasta aineistosta riippuen voidaan puumateriaalin ikä määrittää muutamien kymmenien vuosien aikahaarukassa tai jopa vuoden tarkkuudella.

Dendrokronologinen tutkimus perustuu puiden vuosittaiseen lustonkasvuun. Puu kasvattaa solukerroksista koostuvan vuosiluston runkonsa ympärille kasvukauden aikana. Luston paksuus riippuu erityisesti kasvukauden aikana vallitsevista ilmasto-oloista. Parempana vuonna ilmaston ollessa kasvulle suotuisa, syntyy paksu lusto, jossa on lukuisia solukerroksia. Huonompana kautena luston kasvu jää taas vähäisemmäksi, vain jopa muutamaa solukerrokseen. Ilmasto ei kuitenkaan ole ainoa kasvuun vaikuttava tekijä. Esimerkiksi maaperän ominaisuudet, valon määrä, metsäpalot, kosteus, ravinteet, tuuli, tulvat ja kasvituholaiset vaikuttavat luston muodostumiseen. Myös edellisen vuoden kasvu ja kasvuolosuhteet vaikuttavat tulevan vuoden kasvuun.

Yleisesti sääolojen vaihtelut ovat laajoilla alueilla samanlaisia. Samaan aikaan tietyllä ilmastoalueella kasvaneiden samanlajisten puiden vuosilustokasvu on hyvin samansuuntaista. Tähän tiettyjen alueiden kasvuolosuhteiden samankaltaisuuteen ja siitä johtuvaan lustonkasvun samansuuntaisuuteen perustuu dendrokronologinen ajoitus samoin kuin mahdollisuus alkuperän määrittämiseen.

Käytännön dendrokronologisissa ajoituksissa Suomi on jaettu kasvuolosuhteiden mukaan seitsemään eri alueeseen, jotka ovat: Lounais-, Kaakkois-, Itä-, Keski- ja Länsi-Suomi, sekä Oulun lääni ja Lappi (Zetterberg 1999:61). Näitä alueita varten kootut *alueelliset vuosilustokalenterit* tai *-kronologiat* toimivat referenssimateriaalina puumateriaalia ajoitettaessa ja sen alkuperää määritettäessä.

Alueelliset vuosilustokronologiat ovat rakentuneet hiljalleen pala palalta ajoitetun materiaalin lisääntyessä. Niiden kokoaminen on aloitettu elävistä puista otetuista näytteistä, joiden vuosilustojen kasvuvuodet tiedetään. Tähän verrataan lustosarjoja, jotka on saatu jostain vanhemmista materiaaleista. Näiden vanhempien materiaalien lustot ovat osittain samalta ajalta kuin elävien puiden, jolloin kaikkien niissä olevien lustojen kasvuajankohdat voidaan määrittää. Näin koko ajan vanhempaan aineistoon siirryttäessä rakentuvat pitkät alueelliset vuosilustokalenterit. Tällä hetkellä kronologiat ulottuvat nykypäivästä katkeamattomina aina 1000-luvulle saakka. Lapin aineistoista koostet-



Kuva 1. Vuosilustojen mittaaminen lustomikroskoopilla Rymättylän kirkon veistoskaapin osan pinnasta.

tu kalenteri ulottuu kuitenkin muita huomattavasti paljon pidemmälle, aina vuoteen 5589 eKr (Zetterberg 1999).

Kaikki seitsemän alueellista vuosilustokronologiaa on koostettu männyn vuosilustojen mittauksista ja niitä voidaan käyttää ajoittamaan ainoastaan männyistä tehtyjä rakenteita ja esineitä. Suomessa dendrokronologista ajoitusta tehdään eniten juuri mäntyaineistolle, mutta ajoituksia tehdään myös kuuselle ja tammele. Näiden näytteiden ajoittamisessa käytetään kuitenkin kummankin puulajin omaa referenssimateriaalia.

Näiden pitkien vuosilustosarjojen olemassaolo on kaikkein tärkeintä ajoittamisen mahdollistamiseksi. Dendrokronologinen ajoitus tapahtuu vertaamalla ajoitettavan aineiston mitattua vuosilustosarjaa kasvualueensa vuosilustokalenteriin. Ajoitus saadaan, kun ajoitettavan materiaalin vuosilustosarjalle löydetään alueellisesta kalenterista paikka, jossa kasvun vaihtelut noudattelevat samoja nousuja ja laskuja. Tätä dendrokronologian perusperiaatetta kutsutaan *ristinajoitukseksi*. Ristiinajoituksessa käytetään apuna tietokoneohjelmia, jotka laskevat vertailtavien lustosarjojen samankaltaisuuden määrän. Ohjelmat eivät koskaan anna absoluuttisen oikeana pidettävää vastausta, vaan kaikki niiden antamat tulokset on varmistettava vuosilustojen paksuuksista tehtyjä kuvaajia visuaalisesti tarkastelemalla.



Kuva 2. Vuosilustoja keskiaikaisen kourulaudan pinnassa, Turun Rettiginrinteen kaivaukset.



*Kuva 3. Pitkälle lahonneita puunjäännöksiä Enontekiön Markkinan kaivauksilta.*

## **Näytteenotto ja ajoitus arkeologisesta materiaalista**

Dendrokronologinen iänmääritys tehdään yleensä kairauslastusta, poikkileikkauskiekosta tai hiilen kappaleesta. Joissain tapauksissa lustonmittaus voidaan tehdä myös suoraan ajoitettavan puunäytteen tai esineen pinnasta. Kairausnäyte voidaan ottaa esimerkiksi rakennuksen hirrestä (kuva 1). Näyte kairataan kasvukairalla puun pinnasta ytimeen. Tarkoituksena on saada 5 mm halkaisijaltaan olevaan näytteeseen mukaan lustoja mahdollisimman läheltä puun alkuperäistä pintaa, jotka ovat kaikkein tärkeimpiä ajoituksen tarkkuuden kannalta.

Yleensä arkeologisissa tutkimuksissa ajoitettava materiaali on kuitenkin jonkin rakenteen, kuten rakennuksen seinän, kellarin, lattian tai vaikkapa kaivon jäänne, joka usein tarkan dokumentoinnin jälkeen puretaan. Tällöin ajoitettavasta materiaalista voidaan sahata poikkileikkauskiekko halutusta kohdasta (kuva 2). Kairausnäytteeseen verrattuna poikkileikkauskiekosta saadaan yleensä ajoitukseen parhaiten sopivat lustonpaksuussarjat, koska näytteestä voidaan todeta mahdolliset kasvuhäiriöt. Kairausnäyte on vain pieni osa puun rungosta, minkä vuoksi yhdestä ajoitettavasta puusta otetaankin yleensä vähintään kaksi kairauslastua mahdollisten kasvuhäiriöiden aiheuttamien epätarkkuuksien minimoimiseksi.

Arkeologisissa tutkimuksissa löydetty puuaine on usein pahoin lahonnutta ja lustorakenne osittain deformatunutta. Tämä hidastaa ja hankaloittaa dendrokronologista tutkimusta, mutta ei automaattisesti tee siitä mahdotonta. Esimerkiksi Enontekiön Markkinan kaivauksilla kesinä 2000 ja 2001 arkeologi Petri Halinen kaivoi kirkon ja kirkkotuvan jäänteitä. Löydetty hirret olivat pahoin maatuneita ja hajonneita (kuva 3). Näytteet ryhmiteltiin eri luokkiin lahonneisuusasteen ja puunäytteiden sisältämän lustolukumäärän perusteella. Näin pyrittiin jakamaan näytteet todennäköisimmin ajoittuviin ja pienemmällä todennäköisyydellä ajoittuviin. Luokituksen mukaan osa sisälsi paremmin säilyneitä osia sekä tarpeeksi vuo-



*Kuva 4. Hiiltyynyttä puuta preparoituina vuosilustojen mittausta varten, Uukuniemi Papinniemi.*

silustoja ja ajoitus saatiin suurelle osalle näitä näytteitä suoritettua (Zetterberg 2002). Tarkka näytteiden pinnan preparointi selkeyttää lustojen paksuuksien mittaamista. Lahonneissa näytteissä mittaus joudutaan tekemään deformatuneet kohdat kiertäen. Näissä näytteissä ei ajoituksessa yleensä päästä vuoden tarkkuuteen, johtuen puun ulkopinnan lahonneisuudesta.

Hyvän säilyvyytensä vuoksi hiiltynyt puu on dendrokronologiseen tutkimukseen erinomaisen soveliaista (kuva 4). Usein kosteasta maasta nostamisen jälkeen pehmeäksi lahonnut puu kuivuessaan deformatuu osittain. Hiiltynyt puu sen sijaan ei enää deformatu kuivuessaan. Puusolukon rakenne ja vuosilustojen erottuvuus tosin muuttuu puun hiilittyessä. Puusolukon seinämät tuhoutuvat osittain ja koko puuaines kutistuu hieman. Hiilestä on mitattu lustonpaksuuksia esimerkiksi hiilen pinnasta otetun negatiivikuvan avulla. Kuvassa lustojen rajat ovat paremmin havaittavissa ja mitattavissa.

Iän määrittäminen voidaan tehdä myös puunäytteen vuosilustojen kuvajaisesta. Rantasalmen Tuusmäen historiallisen ajan raudanvalmistuspaikalta löysi arkeologi Risto Karasmaa vuoden 2000 kaivauksissa rautakuonan palan, jonka

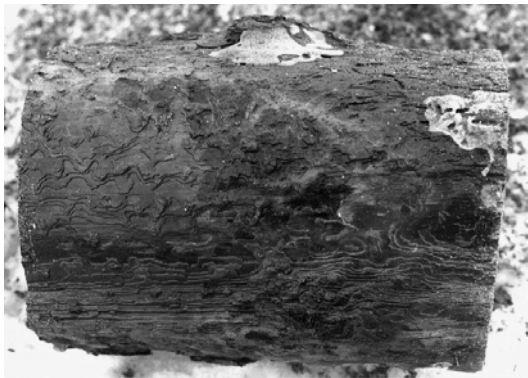
pintaan oli valostunut selvä puun vuosilustorakenne. Kooltaan noin 5 x 3,5 cm kokoisessa rautakuonassa oli nähtävissä ja mitattavissa noin 80 vuosilustoa (kuva 5). Lustonmittaus suoritettiin onnistuneesti suoraan kuonapalan pinnasta ja viimeisen luston ajoitukseksi saatiin vuosi 1825. Tässä tapauksessa ei päästy vuoden tarkkuuteen, koska valoksesta ei voi päätellä kuinka paljon lustoja pinnasta puuttuu. Valoksen ajoitus antoi kuitenkin paikalle suuntaa antavan iän. Tämä rautakuonapalaan muodostuneen valoksen ajoittaminen on tietävästi ensimmäinen laatuaan Suomessa (Zetterberg 2000).

## Dendrokronologia ja meriarkeologia

Dendrokronologia tarjoaa meriarkeologisen aineiston tutkimukselle suuria mahdollisuuksia. Vedessä pitkään ollut puuaines on yleensä hyvin muuttumatonta. Puun solurakenne on deformatumatonta ja lustot näin hyvin mitattavissa. Ainoastaan puun pintaosa on usein erodoitunut tai veistetty. Erodoituminen näkyy veden alla pitkään olleessa puussa puun pinnan vuosilustotopografiana (kuva 6) sekä oksien selkeämpänä erottuvuutena. Pin-



Kuva 5. Vuosilustojen kuvajaiset rautakuonavaloksessa, Rantasalmi Tuusmäki.



Kuva 6. Vedenalaisen puujäännöksen pintaa josta vuosilustojen topografia on erodoitunut esiin, Helsinki Suomenlinnan vesialue.

nan erodoitumisen vuoksi vuoden tarkan ajoituksen saaminen ei monesti ole mahdollista. Näytteistä voidaan kuitenkin yleensä arvioida, montako vuosilustoa pinnasta korkeintaan puuttuu.

Meriarkeologiselle puuaineistolle dendrokronologia pystyy tarjoamaan iän määrittämisen lisäksi myös tärkeää informaatiota puun alkuperästä. Koska ajoitettavat näytteet sopivat parhaiten lähtöalueensa puista koottuun alueelliseen vuosilustokalenteriin, voivat Suomen aluevesiltä löydetyt hylt paljastaa mielenkiintoisia tuloksia. Esimerkiksi Helsingin Pohjoisrannasta löytyneen tammipuisen hyllyn voitiin vuosilustojen perusteella osoittaa olevan peräisin Pohjois-Saksasta (Zetterberg 1995).

Fiskarsin Iso-Simijärveltä löydetystä suuresta hyllystä suoritettiin dendrokronologinen tutkimus vuonna 2003. Itse hylky on 19 metriä pitkä ja 5 metriä leveä ja se löydettiin pienehköstä vain noin kolmen kilometrin pituisesta sisämaajärvestä. Ajoituksen peruslähtökohtana pidettiin, että alus olisi valmistettu paikallisesta puusta, vaikka mitään faktista varmuutta tästä ei ollut esimerkiksi esinelöytöjen puuttuessa. Tutkimuksen yhteydessä saatiin kuitenkin viitteitä hyllyn puumateriaalin mahdollisesta ulkomaalaisesta alkuperästä. Hyllystä otetuista näytteistä osa sopi hyvin ulkomaisiin 1500- ja 1600-lukujen vuosilustokalentereihin, kun taas yksi selvästi parhaiten lounaissuomalaiseen aineistoon. Ulkomaalaisiin lustosarjoihin ver-

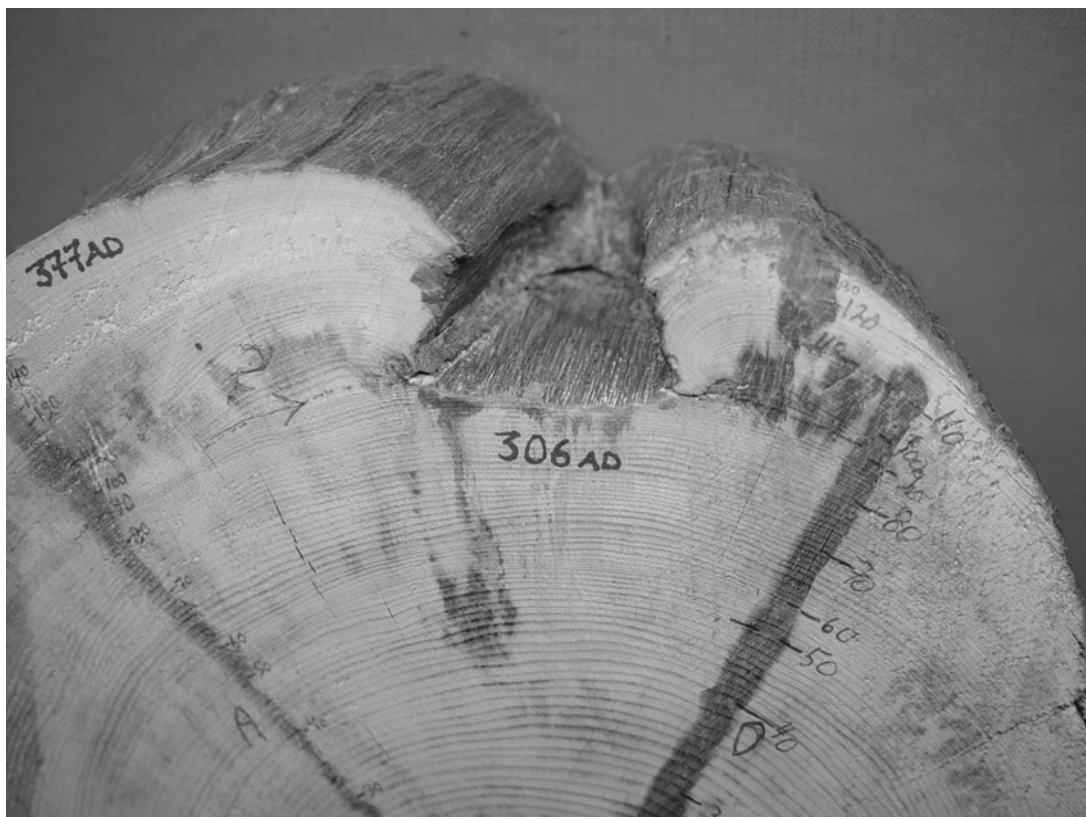
rattaessa hyllyn aineistossa ilmeni samanlaisia piirteitä kuin ruotsalaisissa ja pohjoissaksalaisissa aineistoissa. Aineiston vähyyden vuoksi tässä tapauksessa ei voitu absoluuttisesti määrittää hyllyn alkuperää. Muutamia lisänäyitteitä tarvittaisiin asian varmistamiseksi.

Jos Iso-Simijärven hylky todella on tehty kahdelta eri alueelta kaadetuista puista, on sen rakennusmateriaali selitettävissä useammallaakin eri vaihtoehdolla. Yksi selitys on, että alus on valmistettu jossakin Itämeren piirissä paikallisesta puusta, mistä se on syystä tai toisesta kulkeutunut Iso-Siminjärveen. Toisen teorian mukaan osa aluksen rakennukseen käytetystä puusta tuotiin kauempaa ja itse rakennus tapahtui sen löytöpaikan läheisyydessä. Nämä teoriat eivät selitä täysin yhden näytepuun ajoittumista lounaissuomalaisella aineistolla. Yksi tämän seikan huomioiva selitys voisi olla, että Suomesta on viety rakennuspuuta Itämeren eteläosiin, jossa puutavara on sekoittunut. Tätä puutavaran vientiä Suomesta tiedetään tapahtuneen 1600-luvulla (Zetterberg 2003).

## Puulustot menneisyyden tulkkina

Suomen mäntyaineistosta kerätyt alueelliset vuosilustokalenterit kertovat tutkijoille ilmastovaihteluista aina keskiajalta nykypäiviin saakka. Lapin vielä huomattavasti pidemmälle ulottuvan lustokronologian avulla päästään kuitenkin aina kivikaudelle asti. Tämä Lapin aineisto on kerätty järvien pohjasta nostetuista noin 2500 männynrungosta ja kalenterissa yhtenäistä vuosilustosarjaa on peräti 7589 vuotta (Zetterberg 1999). Tämän kalenterin avulla voidaan ajoittaa myös esihistorialliselle ajalle ajoittuvaa puuainesta tai tapahtumia (kuva 7). Kivikautisen puumateriaalin dendrokronologiset tutkimukset on hiljattain aloitettu. Lapin pitkää lustokalenteria voidaan soveltaa ajoituksiin, ei pelkästään Lapissa ja muualla pohjoisessa Fennoskandiassa, vaan myös eteläisemmillä alueilla Pohjois-Karjalasta aina Vaasan korkeudelle saakka.

Kalentereista on havaittavissa lähinnä lyhy-



*Kuva 7. Kapeateräisen telson iskun jälki vuodelta 306 jKr männyssä joka kuoli vuonna 377 jKr, Enontekiö Ahvenlanto.*

emmän ajan ilmaston muutoksia, kuten hallaja katovuosia, jotka ovat vaikuttaneet puiden lustonkasvuun. Pidemmän ajanjakson vaihtelut eivät ole aineistoista havaittavissa, ilmeisesti puiden pitkän aikavälin sopeutumisesta johtuen. Esimerkiksi muilla perustein tiedetään, että noin 6000 vuotta sitten ilmasto oli 2 astetta lämpimämpi, mutta tätä ei voida havaita lustoaineistosta, koska vuosilustojen keskipaksuus on läpi koko holoseenin ajan noin 0,6 mm/vuosi (Zetterberg 1999).

Ilmastollisia tulkintoja pystytään tekemään vain vuosilustokalentereista, jotka sisältävät aineistoa tarpeeksi laajasta otoksesta. Vain muutamasta puusta koottu kalenteri ei sovi tällaisten tulkintojen tekemiseen, koska se sisältää liikaa yksilöllisen kasvun vaikutusta, vaikka se onkin koottu näytteiden keskiarvosarjana. Suuremmassa aineistossa yksittäisten puiden

poikkeavat kasvunpiirteet tasoittuvat pois ja yleiset kaikille puille yhteiset vaihtelut korostuvat.

### **Dendrokronologisen tutkimuksen asettamia vaatimuksia arkeologiselle materiaalille**

Arkeologisilla kaivauspaikoilla löytynyt puu on usein pitkiäkin aikoja paljaana esiin kaivettuna ennen kuin sen paikka on tarkasti dokumentoitu. Tällöin vaarana on tietenkin puun kuivuminen, mutta sitäkin enemmän puun solurakenteen tuhoutuminen. Solurakenne tuhoutuu puun pehmeän pintaosan lustoista kun sitä vahingoitetaan mekaanisesti, esim. kävellään puun päältä. Puu saattaa näyttää hyväkuntoiselta, eli pinta tiiviiltä ja ehjältä, mutta lahon-

neessa puumateriaalissa pienelle alueelle kohdistuneen paineen seurauksena uloisimmat lustot painuvat helposti kasaan tai jopa irtoavat puun pinnasta. Dendrokronologisen tutkimuksen kannalta pintaosien lustojen tuhoutuminen on valitettavaa, koska näissä tapauksissa menetetään kenties mahdollisuus vuoden tarkkaan ajoitukseen. Niinpä mahdollisesti ajoitettavien puiden mekaanista vahingoittamista tulisi välttää niin pitkälle kuin mahdollista.

Iänmääritys ei onnistu kaikesta puumateriaalista. Tästä syystä materiaalin esitutkimus ja huolellinen valinta on ensiarvoisen tärkeää. Ajoituksen onnistumiseksi näytteenotossa tulee kiinnittää huomiota puun sisältämiin mahdollisiin kasvuhäiriöihin, lustojen lukumäärään sekä näytteenottokohtaan. Kasvuhäiriöt näkyvät sekä puun poikkileikkauksessa että rungossa epänormaalina kasvuna. Lustojen lukumäärän ajoitettavassa näytteessä tulisi olla vähintään 50-70, jotta ristiinajoitus saadaan luotettavasti tehtyä. Joissakin tapauksissa lyhyempienkin sarjojen ajoittaminen on mahdollista. Näytteenotto kohta puolestaan tulisi valita kahden oksakiehkuran välistä, eikä mielellään näkyvien palokorujen läheltä.

Näytteet tulisi pakata niin, että ne säilyvät kosteina. Kääriminen muoviin ja säilytys pakasessa on erittäin suositeltavaa. Jos näyte on löydetty täysin vetisestä paikasta, kuten järvestä tai suosta, voi näytteen säilyttää täysin veden upotettuna.

Arkeologialle dendrokronologia tarjoaa mahdollisuuden saavuttaa tarkkojakin ajoituksia löydettyistä puurakenteista. Dendrokronologisten suhteellisten ajoitusten avulla voidaan selvittää ovatko löydetty rakenteet samanaikaisia, vai onko puut kaadettu eri aikoina. Näytekohdetta valittaessa on aina huomioitava uusioikäytön mahdollisuus, tai se mahdollisuus että rakenteeseen on myöhemmin lisätty uutta puumateriaalia esim korjaushirsinä.

## Lähteet

- Zetterberg, P. (1995). Dendrochronological dating of shipwrecks and boat remains in Finland. *Journal of the European Study Group on Physical, Chemical, Mathematical and Biological Techniques Applied to Archaeology*, 47: 129-139.
- Zetterberg, P. 1999. A 7589-year Tree-ring Chronology for Forest Limit Pines in Northern Fennoscandia, ADVANCE-10K Final report, Laboratory of Dendrochronology, Karelian institute, University of Joensuu (KIUI). In: Briffa, K.R. (coordinator) *Analysis of Dendrochronological Variability and Associated Natural Climates in Eurasia -the last 10,000 years (ADVANCE10K), ENV4-CT95-0127, Second Year Progress Report to the Commission of the European Communities Directorate-General XII for Science Research and Development in the Field of Environment and Climate*. 51 pp.+ appendixes, p. 19-26. Climatic Research Unit, University of East Anglia, Norwich.
- Zetterberg, P. 1999. Dendrokronologia historiallisen ajan arkeologiassa. *Museoviraston rakennushistorian osaston julkaisuja* 20:61-63.
- Zetterberg, P. 2000. Rantasalmen Tuusmäen Pahakkalanlammen historiallisen ajan raudanvalmistuspaikan kaivauksen rautakuonapalan iänmääritys, dendrokronologinen ajoitus FIM2002. Joensuun yliopisto, Karjalan tutkimuslaitos, Ekologian osasto, *Dendrokronologian laboratorio, ajoitusseloste* 186:1-5.
- Zetterberg, P. 2002. Enontekiön Markkinan kirkon ja kirkkotuvan arkeologisten kaivausten puunäytteiden iänmääritys, dendrokronologiset ajoitukset FIL4501-FIL4523. Joensuun yliopisto, Karjalan tutkimuslaitos, Ekologian osasto, *Dendrokronologian laboratorio, ajoitusseloste* 203:1-10.
- Zetterberg, P. 2003. Pohjan Fiskarsin Iso-Siminjärven Simi-1 hyllyn iänmääritys, dendrokronologiset ajoitukset FIU4501-FIU4504. Joensuun yliopisto, Karjalan tutkimuslaitos, Ekologian osasto, *Dendrokronologian laboratorio, ajoitusseloste* 216:1-9.