

Jääkauden jälkeen metsärajat reagoivat hitaasti lämpenevään ilmastoon – entä tulevaisuudessa?

■ Minna Väiliranta ja Tarmo Virtanen

Ilmastonmuutoskeskustelun yhteydessä on esitetty malliskenaarioita puuston ja metsäkasvillisuuden nopeasta, seuraavien kymmenien vuosien aikaskaalassa tapahtuvasta, etenemisestä nykyisille tunturi- ja tundrakasvillisuuden peittämille puuttomille alueille. Tällainen mahdollinen suuren mittakaavan muutos on monessa mielessä mielenkiintoinen prosessi, sillä mm. hiilen- ja ravinteidenkiertomekanismit eroavat huomattavasti metsien ja tundran ekosysteemien välillä. Lisäksi näiden ekosysteemien säteilytaseet ovat huomattavan erilaiset, eli pinta-ala muutokset tulevat myös vaikuttamaan erilaisiin ilmastoon vaikuttaviin takaisinkytkentämekanismiin tulevaisuudessa.

Mikäli ilmasto lämpenee ennusteiden mukaisesti, niin teoreettisesti, pelkästään säätelijöiden puitteissa metsäpinta-alan nopea laajeneminen olisikin mahdollista. Paleoekologiset metsäraja-tutkimukset kuitenkin osoittavat, että jääkauden jälkeen esimerkiksi Pohjois-Venäjällä viive lämpötilanousun ja boreaalisen metsän muodostumisen välillä oli huomattavan pitkä, jopa tuhansia vuosia. Todennäköisesti tämä viive johtui useista erilaisista, joskin samanaikaisesti vaikuttaneista, tekijöistä, liittyen pienten metsäpopulaatioiden kasvudynamiikkaan ja muutoksiin fysikaalisessa ympäristössä. Viimeaikaiset kasvillisuushavainnot metsänrajaseuduilta kertovat ennen kaikkea varpu- ja pensaskasvillisuuden lisääntymisestä. Sen sijaan varsinaisten metsänrajojen etenemisestä tundralle ei juuri ole havaintoja. Kun metsänrajan etenemistä ja vastetta lämpenemiseen mallinnetaan, malleihin tulisi integroida kaikki oleellisesti vasteeseen viivettä aiheuttavat tekijät. Yksinkertaiset, vain lämpötilanmuutokseen perustuvat mallit, todennäköisesti antavat liian

optimistisen kuvan pohjoisten metsien leviämiskyvystä lämpenevässä ilmastossa.

Viimeisen jääkauden jälkeen, eli aikana, jota kutsutaan holoseeniksi ja joka alkoi noin 11 500 vuotta sitten, ilman lämpötila on vaihdellut useita asteita. Holoseeni aikaa luonnehtii lämmin alkua ja keskivaihe ja voimakas viileneminen, joka alkoi noin 5 000 vuotta sitten. Tätä suurisuuntaista ilmastomuutosta ovat ohjanneet astronomiset tekijät eli vaihtelut maapallon ja auringon etäisyydessä ja asemassa toisiinsa nähden. Holoseenin aikana on ollut pitkiä, tuhansia vuosia kestäviä ajanjaksoja, jolloin lämpötilan arvellaan pohjoisilla leveyspiireillä olleen vähintään 2–3 astetta nykyistä lämpimämpää (Seppä ym. 2009; Salonen ym. 2011). Ilmastossa tapahtuneet muutokset ovat heijastuneet erilaisiin ekosysteemeihin, ja esimerkiksi pohjoiset metsät ovat selkeästi reagoineet menneisiin ilmasto-olosuhteisiin (MacDonald ym. 2000; Giesecke ym. 2008). Tutkimusten perusteella tiedetään, että lämpimämpien ilmastovaiheiden aikana sellaiset puulajit kuin tammi, saarni ja lehmus kasvoivat Suomesakin paljon pohjoisempaan kuin tänä päivänä. Ilmaston viiletessä nämä lauhkean ilmaston lajit eivät enää menestyneet ja niiden esiintymisalueet kutistuivat käsittämään ainoastaan eteläisimmän Suomen. Tällaiset ilmastossa ja kasvillisuudessa tapahtuneet muutokset antavat hyvän mahdollisuuden ja lähtökohdan arvioida, miten eri ekosysteemit voisivat tulevaisuudessa reagoida lämpenevään ilmastoon.

Paleoekologisia tuloksia

Viimeaikaiset Helsingin yliopiston Ympäristötieteen sekä Geotieteiden ja maantieteen laitosten tutkijoiden tekemät tutkimukset ovat antaneet arvokasta uutta tietoa esimerkiksi siitä, miten tietyt puulajit ovat menneisyudessa reagoineet

ilmastossa tapahtuneisiin muutoksiin (Kultti ym. 2003, 2004; Väiliranta ym. 2006). Tutkimustulokset ovat auttaneet ymmärtämään, miten eri puulajit ovat selvinneet kylmistä ilmastovaiheista sekä miten ja kuinka nopeasti eri lajit pystyvät hyödyntämään ilmasto-olosuhteissa tapahtuvat muutokset. Erityisesti uutta tietoa on viime aikoina kertynyt Pohjois-Venäjältä, Petsora-joen valuma-alueelta Komista ja Nenetsiasta, jossa suomalaiset tutkijat ovat työskennelleet yhdessä kansainvälisen tutkijajoukon kanssa. Alueen tekee mielenkiintoiseksi se, että toisin kuin Fennoskandia, Venäjän pohjoiset osat eivät olleet jääkauden loppuvaiheessa jään peittämisiä. Viimeksi tämä alue oli jään peittäminen noin 90 000 vuotta sitten. Tällaiset olosuhteet ovat tarjonneet esimerkiksi puille toisenlaiset leviämismahdollisuudet. Periaatteessa metsien kehittyminen on päässyt käyntiin heti, kun ilmasto alkoi jääkauden jälkeen lämmentä. Fennoskandiassa jään reunan fyysiseen vetäytymiseen kulunut aika (tuhansia vuosia) ja jääkuoren väistymistä seuranneet erilaiset Itämeren vaiheet, jotka laajalti peittivät paljastuneet maa-alueet tuhansien vuosien ajaksi, hidastivat metsäkasvillisuuden leviämistä, vaikka ilmasto-olosuhteet olivatkin jo suotuisat.

Pohjoisella pallonpuolikolla pohjoisen metsärajan muodostaa yleensä joku havupuulaji. Fennoskandiassa tärkein havupuulaji on mänty, joka myös kasvaa pohjoisempaan kuin toinen havupuulajimme kuusi. Muista alueista poiketen varsinaisen metsärajan Fennoskandiassa kuitenkin muodostaa koivu. Jo Kuolan niemimaalla kuusi kasvaa mäntyä pohjoisempaan, ja Komissa metsärajan muodostaa kuusi. Paleoeekologiset tutkimukset osoittavat, että menneisyydessä kuusi on ollut sitkeä laji, joka on sinitellyt Venäjän tasangoilla läpi viileiden aikojen, jolloin Pohjois-Eurooppa oli paksun mannerjään peitossa. Kuusipopulaatioiden selviämisen viileiden jääkauden loppuaikojen läpi on luultavasti mahdollistanut kuusen kyky lisääntyä myös kasvullisesti, toisin sanoen, ilman siementuotantoa. Tällaisia kloonipopulaatioita esiintyy näinäkin päivinä varsinaisen metsärajan pohjoispuolella keskellä tundraa. Ne periytyvät menneistä lämpimämmistä holoseenin ilmastovaiheista. Tällaiset populaatiot sijaitsevat usein

mikroilmastollisesti suotuisissa maastonkohdissa, joissa ne säästöliekillä sinitellen odottavat suotuisempia aikoja, jolloin lisääntyminen siementen kautta jälleen mahdollistaa populaation voimakkaamman kasvun ja leviämisen. Kun ilmasto alkoi lämmentä noin 11 500 vuotta sitten, tällaiset opportunistipopulaatiot todennäköisesti toimivatkin metsien ensimmäisinä leviämisyhtyminä. Eli metsien leviäminen aiemmin puuttomille alueille tapahtui ennen kaikkea olemassa olevien eristyneiden pienpopulaatioiden elinvoimaisuuden parantumisena ja populaation koon kasvun kautta, eikä kokonaisen metsävyöhykkeen pohjoisrajan rintamamaisena leviämisenä (Väiliranta ym. 2011). Nykyäänkin metsänraja tasaisella tasankoalueella on yli 100 km pitkä etelä-pohjoissuuntainen vaihettumavyöhyke, jossa metsä- ja tundrakasvillisuus vaihtelee laikkumaisesti maisemassa (Virtanen ym. 2004).

Holoseenin lämmin ilmastovaihe kesti useita tuhansia vuosia ja sen aikana metsät vähitellen levisivät pohjoiseen aina Barentsin meren rantaan asti. Pienten kuusipopulaatioiden muuttuminen koko pohjoisen Komi-Nenets-alueen peittäväksi havumetsäksi ei kuitenkaan ollut nopea tapahtuma. Kasvillisuustutkimukset osoittavat, että vaihe, jonka kuluessa yksittäiset puuryhmät kasvoivat ja tihentyvät metsäksi, eteni hitaasti kestäen tuhansia vuosia (Väiliranta ym. 2011), mikä viittaisi siihen, että metsärajan havupuupopulaatiot eivät pysty kovin ripeästi reagoimaan nopeasti nouseviin ilman lämpötiloihin. Tämä johtuu siitä, että populaatioiden kasvua ja elinvoimaisuutta määrittävät ja hillitsevät ilmastollisten tekijöiden lisäksi erilaiset populaatiodynamiikan lainalaisuudet (alkupopulaation koko, ikärakenne, siemententuottokyky, leviämisenopeus, kilpailu) yhdistettynä erilaisiin fysikaalis-kemiallisiin (esim. maaperän laatu) ja häiriötekijöihin (palot, kasvinsyöjähyönteiset, kasvinsyöjänisäkkäät).

Muutokset metsärajoissa

Paleoeekologiset tutkimustulokset ja tulkinta saavat tukea viimeaikaisista modernia metsärajaa tutkivista selvityksistä. Niiden perusteella useimmissa pohjoisissa metsärajoissa ei juuri ole tapahtunut alueellisia muutoksia viimeisten

kymmenien vuosien aikana, jolloin lämpötilat ovat nousseet. Eniten muutoksia on havaittu Pohjois-Amerikassa, erityisesti Alaskassa ja itäisimmässä Kanadassa. Skandinaviassa on havaintoja nimenomaan metsärajametsien tihentymisestä, mutta ei niinkään metsien leviämisestä aiemmin puuttomille alueille. Pensas- ja varpukasvillisuuden tihentyminen, toisin sanoen pusikoituminen, sen sijaan on monin paikoin lisääntynyt (Tape ym. 2006). Euroopan puoleisen Venäjän tundralla ei ole merkkejä metsärajan leviämisestä pohjoiseen, vaikka alueella on havaittu lämpenemistä. Myöskään metsärajalla sijaitsevien puupopulaatioiden ikärakenteessa ei ole havaittu muutosta – nuorien puiden runsas määrä kertoisi virinneestä lisääntymiskyvystä (CARBO-North hanke, julkaisematon aineisto).

Jos ilmasto lämpenee ennusteiden mukaisesti, niin alue, jolla ilmasto sallisi metsän kasvun, kasvaa nopeasti (Virtanen ym. 2004; Kultti ym. 2006). Menneitten aikojen metsädynamiikasta ei kuitenkin tule suoraan vetää johtopäätöksiä tulevaisuuden suhteen, sillä jääkauden jälkeen maaperä oli neitseellisessä tilassa eli ravinteita ja ekologisia lokeroita oli runsaasti saatavilla. Sittemmin luonnolliset geologiset prosessit ovat huuhtoneet maaperästä ravinteita vesistöihin ja ekologiset lokerot ovat täyttyneet. Esimerkiksi soiden laajuuskasvu, joka kiihtyi noin 5 000 vuotta sitten, viieleän ilmastovaiheen alkaessa, on peittänyt alleen potentiaalisia kasvupaikkoja. Lisäksi pohjoiset tundra-alueet kuuluvat tällä hetkellä ikeroutavyöhykkeeseen. Ikeroudan mahdollinen sulaminen tulisi, ainakin ensimmäisinä vuosikymmeninä, huomattavasti lisäämään maaperän märkyyttä, joka taas luultavasti edistäisi soistumista, ei metsän kasvua ja leviämistä (Hugelius ym. 2011). Kaikki yllämainitut tekijät huomioon ottaen on varsin vaikea ennustaa, kuinka nopeasti ja missä laajuudessa nyt puuttomina olevat alueet voisivat tulevaisuudessa olla metsien peitossa. Merkittävät muutokset varsinaisten metsärajojen liikkeissä vievät kuitenkin tulevaisuudessakin aikaa – mitä todennäköisimmin enemmän vuosisatoja kuin vuosikymmeniä.

Lähteet

- CARBO-North – Quantifying the carbon budget in Northern Russia: past, present and future - tutkimushanke: <http://www.carbonorth.net/>
- Hugelius, G., Virtanen, T., Kaverin, D., Pastukhov, A., Rivkin, E., Marchenko, S. and Romanovsky, V., Kuhry, P. 2011. High-resolution mapping of ecosystem carbon storage and potential effects of permafrost thaw in periglacial terrain, European Russian Arctic. *Journal of Geophysical Research, Biogeosciences* 116, art. no. G03024.
- Giesecke, T., Bjune, A.E., Chiverrell, R.C., Seppä, H., Ojala, A.E.K. & Birks, H.J.B. 2008. Exploring Holocene continentality changes in Fennoscandia using present and past tree distributions. *Quaternary Science Reviews* 27, 1296–1308.
- Kultti, S., Väiliranta, M., Sarmaja-Korjonen, K., Solovieva, N., Virtanen, T., Kauppila, T. and Eronen, M. 2003. Palaeoecological evidence of changes in vegetation and climate during the Holocene in the pre-Polar Urals, Northeast European Russia. *Journal of Quaternary Science* 18, 503–520.
- Kultti S., Oksanen, P. and Väiliranta, M. 2004. Multiproxy record of Holocene environmental change in the Nenets Region, East-European Russian Arctic. *Canadian Journal of Earth Sciences* 41, 1141–1158.
- Kultti, S., Mikkola, K., Virtanen, T., Timonen, M. & Eronen, M. 2006. Past changes in the Scots pine forest line and climate in Finnish Lapland: a study based on megafossils, lake sediments, and GIS-based vegetation and climate data. *The Holocene* 16, 381–391.
- MacDonald, G.M., Velichko, A.A., Kremenetski, V., Borisova, O.K., Goleva, A.A., Andreev, A.A., Cwynar, L.C., Riding, R.T., Forman, S.L., Edwards, T.W.D., Aravena, R., Hammarlund, D., Szeicz, J.M., and Gattaulin, V.N. 2000. Holocene treeline history and climate change across northern Eurasia. *Quaternary Research* 53, 302–311.
- Salonen, J., Seppä, H., Väiliranta, M., Jones, V., Self, A., Heikkilä, M. & Kultti, S. 2011. Holocene and lateglacial temperature changes and associated treeline dynamics in NE Russia. *Quaternary Research* 75, 501–511.
- Seppä, H., Bjune, A.E., Telford, R., Birks, H.J.B. & Veski, S. 2009. Last nine-thousand years of temperature variability in Northern Europe. *Climate of the Past* 5, 523–535.
- Tape, K. D., M. Sturm, and C. Racine 2006. The evidence for shrub expansion in Northern Alaska and the Pan-Arctic. *Global Change Biology* 12, 686–702.
- Väiliranta, M., Kultti, S. and Seppä, H. 2006. Vegetation dynamics during the Younger Dryas – Holocene transition in the extreme northern taiga zone, north-eastern European Russia. *Boreas* 35, 202–212.
- Väiliranta, M., Kaakinen, A., Kuhry, P., Kultti, S., Salonen, S. & Seppä, H. 2010. Scattered late-glacial and early-Holocene tree populations as dispersal nuclei for forest development in NE European Russia. *Journal of Biogeography* 38, 922–932.
- Virtanen, T., Mikkola, K., Nikula, A., Christensen, J.H., Mazhitova, G.G., Oberman, N.G. & Kuhry, P. 2004. Modeling the location of forest line in northeast European Russia with remotely sensed vegetation and GIS-based climate and terrain data. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 36, 314–322.

Minna Väiliranta on yliopistotutkija ja Tarmo Virtanen yliopistonlehtori Helsingin yliopiston Ympäristötieteiden laitoksella.