



Holger Elgaard / Creative Commons

Metsäpalojen jäljillä

NIINA KUOSMANEN

Pohjoiset havumetsät muodostavat merkittävän hiilivaraston maapallolla. Metsäpaloilla on vaikutus metsien hiilitasapainoon (Kelly *et al.* 2015) ja viime vuosina laajamittaisten metsäpalojen lisääntyminen niin Pohjois-Amerikan kuin Siperian havumetsäalueilla onkin nostanut uutisotsikoihin palojen vaikutuksen havumetsien rooliin hiilinieluina. Äärimmäiset olosuhteet, kuten helleaallot ja kuivuusjaksot, ovat lisääntyneet Euroopan alueella viime vuosikymmeninä ja metsäpaloille otollisten ilmasto-olosuhteiden ennustetaan lisäävän paloriskiä myös pohjoisella havumetsävyöhykkeellä (Seidl *et al.* 2017).

Metsäpalot ovat luontainen osa pohjoisia havumetsiä. Paloregiimin, eli palojen toistuvuuden, koon ja voimakkuuden, muutoksilla on merkittävä vaikutus havumetsien uudistumiseen, rakenteeseen ja lajiston monimuotoisuuteen (Bond ja Keeley 2005). Nämä seikat esimerkiksi säätelevät havumetsien kykyä sitoa hiiltä ja tuottaa ihmisille aineettomia ja aineellisia hyötyjä (ekosysteemipalveluita) (Gauthier *et al.* 2015). Ilmastotekijöiden ohella ihmistoiminta on vaikuttanut metsäpalojen esiintymiseen niin paloja lisäävien elinkeino-

jen, kuten kaskiviljelyn, kuin paloja hillitsevien metsänhoidollisten toimenpiteiden kautta. Tutkimalla pitkänajan palohistoriaa voidaan ymmärtää paremmin palojen rooli pohjoisissa havumetsäekosysteemeissä sekä ilmaston ja ihmistoiminnan vaikutus paloregiimiin.

Geologiset kerrostumat, kuten järvien pohjasedimentit ja soiden turvekerrostumat, tarjoavat mahdollisuuden tutkia menneitä metsäpaloja, niiden vaikutusta metsäkasvillisuuteen ja niihin vaikuttaneita tekijöitä vuosituhansien ajalta. Palohistoriaa tutkitaan sedimentti- ja turvekerrosten mikro- ja makroskooppisista hiilipartikkeleista. Näitä ovat palotapahtumassa syntyneet epätäydellisesti palaneet kappaleet, jotka koostaan riippuen kerrostuvat palopaikan läheisyyteen (makroskooppiset partikkelit) tai kulkeutuvat kauemmas (mikroskooppiset partikkelit) ilmapirtusten mukana.

Palojen paikallista esiintymistä on perinteisesti määritetty turvekerrostumissa olevista hiilikerroksista. Metsän rakenne, topografia ja kosteusolosuhteet voivat kuitenkin tuottaa palamattomia laikkuja, joista otetut näytteet voivat vääristää tuloksia palohistoriasta. Esimerkiksi Ruotsin Västmanlandissa vuonna 2014 sattuneen palon alueella on selkeästi nähtävistä



Kuva 1. Palamiselta säästyneitä alueita Ruotsin Västmanlandin vuoden 2014 metsäpaloalueella.
Kuva: Niina Kuosmanen

Figure 1. Unburned patches in the area of the year 2014 forest fire in Västmanland, Sweden. Photo: Niina Kuosmanen

sä palamattomia kohtia laajan paloalueen keskellä (kuva 1). Viime vuosikymmenen aikana palodynamiikan tutkimusmenetelmät ovat monipuolistuneet ja tarkentuneet, minkä ansiosta perinteisesti tuotettujen pitkänajan palokronologioiden ja palosykliissä tapahtuneiden muutosten ohella tavoitteena on tuottaa entistä tarkempia kuvauksia paloregiiimistä (mm. voimakkuus, paloaines), metsäpaloihin vaikuttavista tekijöistä sekä palojen vaikutuksesta metsien rakenteeseen.

Edistysaskeleita tutkimusmenetelmissä

Palohistorian rekonstruointiin perustui pitkään siitepölyanalyysin kanssa samoista mikroskooppinäytteistä analysoituihin hiilipartikkeleihin. Mikroskooppiset hiilipartikkelit (< 200 µm) ovat kuitenkin voineet kulkeutua useiden kymmenien kilometrien etäisyydeltä eikä niitä voida yhdistää yksittäiseen palotapahtumaan. Nykyisin makroskooppisten hiilipartikkelien (> 200 µm) analysointi tiheällä näyteresoluutiolla on muodostunut standardimenetelmäksi palohistoriaa tutkittaessa (Whitlock ja Larsen 2002). Makroskooppiset hiilipartikkelit kuvastavat luotettavasti paikallisia palotapahtumia ja mahdollistavat tarkemman analyysin paikallisesta paloregiiimistä ja palojen vaikutuksesta metsän koostumukseen.

Viime vuosina on kehitetty menetelmiin, joiden avulla voidaan selvittää palojen toistumistiheyden lisäksi palojen voimakkuutta makroskooppisten hiilipartikkelien morfologian määrittämisen avulla (Mustaphi ja Pi-

saric 2014). Menetelmän tavoitteena on erottaa matalan intensiteetin pintapalot ja korkean intensiteetin latvapalot toisistaan tunnistamalla ruohokasvillisuudesta ja puuaineksesta peräisin olevat makroskooppiset hiilipartikkelit niiden rakenteen perusteella.

Palojen voimakkuuden määrittämiseksi on myös hyödynnetty fourier-muunnos-infrapunaspektroskopia (Fourier Transformed Infrared Spectroscopy, FTIR) -menetelmää, jolla määritetään hiilipartikkelien palamislämpötilaa. Menetelmä perustuu hiilipartikkelien eri palamislämpötiloissa muodostuviin erilaisiin kemiallisiin koostumuksiin, joita mitataan infrapunavalon avulla. Gosling *et al.* (2019) mittasivat laboratorio-oloissa eri lämpötiloissa tuotettujen hiilipartikkelien FTIR-spektrejä, jotka klusterianalyysin avulla jaoteltiin matalassa (200–300 °C), keskitasoisessa (400–600 °C) ja korkeassa (600–700 °C) lämpötilassa muodostuneisiin partikkeleihin. Fossiilista hiilipartikkeleista mitattuja FTIR-spektrejä voidaan verrata tähän luokitteluun ja teh-

dä tulkinta niiden syntylämpötilasta. Menetelmä mahdollistaa entistä tarkempien ja monipuolisempien palorekonstruktioiden tuottamisen.

Hiilipartikkeleihin perustuvien palorekonstruktioiden lisäksi menneitä paloja voidaan tutkia mikroskooppisten *Neurospora* sp. sienien itiöiden avulla (kuva 2). Kyseiset sienet kasvavat palaneella puu- ja kasviaineksella ja itiöiden muodostuminen tarvitsee noin 65 asteen lämpötilan, johon pohjoisissa havumetsissä päästään vain metsäpalojen seurauksena. Itiöiden löyty-



Kuva 2. Mikroskooppisia *Neurospora* sp. itiöitä voidaan käyttää indikaattoreina menneistä palotapahtumista. Kuva: Normunds Stivrins

Figure 2. Microscopic *Neurospora* sp. fungal spores can be used as proxy for past fire events. Photo: Normunds Stivrins

mistä sedimentti- ja turvekerrostumista voidaan pitää luotettavana merkinä menneistä paikallisista palotapahtumista (Stivrens *et al.* 2019). Lisäksi *Neurosporien* elinkierto on perustuen voidaan tehdä suuntaa antavia päätelmiä palojen ajankohdasta, sillä itiövaiheen kehittyminen vaatii laboratoriotestien mukaan todennäköisesti yli kuukauden jakson, jolloin lämpötilat ovat yli 4 astetta (Lee *et al.* 2012). Tähän perustuen pohjoisilla havumetsäalueilla itiöiden löytyminen viittaisi keväällä tai kesällä sattuneisiin paloihin.

Edellä mainittujen menetelmien lisäksi menneiden palojen tutkimuksessa on yleistynyt biomerkkien käyttö paloindikaattoreina (Hawthorne *et al.* 2018). Kasvibiomassan palauksessa noin 250 asteessa syntyy anhydrosokeria eli merkkiaineita, kuten levoglukosaania, mannosaa ja galaktosaa, jotka säilyvät sekä terrestrisissä että mariinisissa sedimentaatioympäristöissä. Palavasta materiaalista riippuen eri merkkiaineiden osuudet vaihtelevat ja tämän vaihtelun perusteella voidaan tehdä päätelmiä palaneesta materiaalista (Kirchgeorg *et al.* 2014). Vertaamalla tuloksia makroskooppisista hiilistä määritettyihin morfologioihin saadaan entistä luotettavampia tuloksia paloaineksesta.

Kohti tarkempia palorekonstruktioita

Sedimentti- ja turvekerrostumista tehdyn palohistorian tulkinnan rajoitteena on usein ajallisen resoluution epätarkkuus. Etenkin järvisedimenttien hiiliaineistot voivat tuottaa liian tiheän palosyklin, koska on mahdotonta sanoa ovatko hiilipartikkelit peräisin samasta toistuvasti palavasta metsäkuviosta vai esimerkiksi järven eri puolilla eri aikaan palaneista metsäkuviosta. Paikallisia, metsäkuvioiden mittakaavaa vastaavia palorekonstruktoita voidaan tehdä analysoimalla pieniä metsän latvuserroksen peittämiä turvepainanteita, joi-

den fossiiliaineiston katsotaan olevan peräisin hyvin paikallisista palotapahtumista.

Sedimentti- ja turveaineistojen lisäksi palohistorian tutkimiseen käytetään puiden palokoroja (Zackrisson 1977). Palokorot syntyvät, kun pintapalona etenevä palo vahingoittaa osan puuta ympäröivästä jälsikerroksesta (kuva 3). Palon jälkeen kasvuun jatkavassa puussa voi olla useita eri palokoroja ja niiden perusteella voidaan määrittää paikallinen palohistoria vuosien tarkkuudella. Metsäpainanteiden turvekerrostumista tuotetut palorekonstruktiot voidaan yhdistää puiden palokoroista saatuihin tuloksiin ja tuottaa sekä ajallisesti että alueellisesti entistä tarkempia kuvia alueen paloregimistä (Stivrens *et al.* 2019).

Menetelmien kehittyessä vain hiilipartikkelianalyysiin perustuvat palohistorian tutkimukset ovat jääneet taka-alalle ja mahdollisimman tarkkojen palorekonstruktioiden tuottamiseksi tulisi yhdistää hiilipartikkelianalyysi esimerkiksi *Neurospora*-itiöiden ja biomerkkiaineiden analyysiin tai FTIR-menetelmään. Usean eri menetelmän hyödyntäminen antaa tarkemman kokonaiskuvan palosyklistä, paloaineksesta ja palojen voimakkuudesta tapahtuneista muutoksista. Näin saadaan entistä tarkempaa tietoa paloregimin pitkäaikaisista luonnollisen vaihtelun piirissä tapahtuneista muutoksista ja niihin mahdollisesti vaikuttaneista tekijöistä. Tämä puolestaan mahdollistaa luotettavimmat ennusteet alueellisista metsäpaloriskeistä sekä metsäpalojen vaikutuksesta pohjoihin havumetsäekosysteemeihin.

NIINA KUOSMANEN

Geotieteiden ja maantieteen osasto
Helsingin yliopisto
niina.kuosmanen@helsinki.fi

Kirjoittaja työskentelee Suomen Akatemian rahoittamana tutkijatohtorina tutkimuskohteenaan pohjoisten havumetsien metsäpalohistoria.



Kuva 3. Männyn (*Pinus sylvestris*) palokoro Kalevalan kansallispuistossa Vienan Karjalassa Venäjällä. Kuva: Niina Kuosmanen

Figure 3. Fire scar in pine (*Pinus sylvestris*) in Kalevalsky National Park in White Karelia, Russia. Photo: Niina Kuosmanen

Summary

Tracking ancient forest fires

Boreal forests form an important carbon stock and forest fires directly affect the global carbon balance (Kelly *et al.* 2015). More fire-prone climate conditions are predicted to result in a considerable increase of future fire activity in the boreal biome. Therefore, understanding the natural range of variability in long-term fire activity and disentangling its drivers is critical for anticipating the future interactions between fire, climate, and vegetation.

Reconstructions of fire activity in boreal forests have been mainly based on microscopic charcoal records from lake sediments and peat bogs. Presently, high-resolution macroscopic charcoal records are considered as a standard method that provide information of local fire history (Whitlock and Larsen 2002). In recent studies a novel approach based on macroscopic

charcoal morphologies have been applied for disentangling between crown (high-intensity) and surface (low-intensity) fires (Mustaphi and Pisaric 2014).

Addition to charcoal morphologies a FTIR (Fourier Transformed Infrared Spectroscopy) method has been utilized to assess the fire temperatures to differentiate between crown and ground fires (Gosling *et al.* 2019). Furthermore fungal spores of pyrophilous fungal species such *Neurospora* sp. have been used as indicators of local fires (Stivrins *et al.* 2019).

Reconstructions of past fires can also be derived from fire scars (Zackrisson 1977). Combining dendrochronological data and different fire indicators from sedimentary records can provide more temporally and spatially precise fire reconstructions. These enable more reliable predictions of future fire risks and the role of fire in boreal ecosystems.

Kirjallisuus:

- Bond, W.J. ja Keeley, J.E., 2005. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 20: 387–394.
- Gauthier, S., Bernier, P., Kuuluvainen, T., Shvidenko, A.Z. ja Schepaschenko D.G., 2015. Boreal forest health and global change. *Science* 349:819–822.
- Gosling, W.D., Cornelissen, H.L. ja McMichael, C.N.H., 2019. Reconstructing past fire temperatures from ancient charcoal material. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 520:128–137.
- Hawthorne, D., Mustaphi, C.J.C., Aleman, J.C., et al., 2017. Global Modern Charcoal Dataset (GMCD): A tool for exploring proxy-fire linkages and spatial patterns of biomass burning. *Quaternary International* 488:3–17.
- Kelly, R., Genet, H., McGuire, A. ja Hu, F.S., 2016. Palaeodata-informed modelling of large carbon losses from recent burning of boreal forests. *Nature Climate Change* 6:79–82.
- Kirchgeorg, T., Schüpbach, S., Kehrwald, N., McWethy, D. ja Barbante, C., 2014. Method for the determination of specific molecular markers of biomass burning in lake sediments. *Organic Geochemistry* 71:1–6.
- Lee, K., 2012. Asexual and sexual developments of *Neurospora crassa* on natural substrata. *Fungal Ecology* 5:223–229.
- Mustaphi, C.J.C. ja Pisaric, F.J., 2014. A classification for macroscopic charcoal morphologies found in Holocene lacustrine sediments. *Progress in Physical Geography* 38:734–754.
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., et al., 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change* 7: 395–402.
- Stivrins, N., Aakala, T., Ilvonen, L., Pasanen, L., Kuuluvainen, T., Vasander, H., et al., 2019. Integrating fire-scar, charcoal and fungal spore data to study fire events in the boreal forest of northern Europe. *The Holocene* 29:1480–1490.
- Whitlock, C. ja Larsen, C., 2002. Charcoal as a Fire Proxy. Teoksessa: Smol J.P., Birks H.J.B., Last W.M., Bradley R.S., Alverson K. (toim.) *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Developments in Paleoenvironmental Research*, 3. painos, Springer, Dordrecht.
- Zackrisson, O., 1977. Influence of Forest Fires on the North Swedish Boreal Forest. *Oikos*, 29:22–32.