

Metsäpalojen laajuus ja frekvenssi – esimerkikohteina
boreaaliset havumetsät ja trooppiset metsät

Joonas Keränen

790351A

LuK-seminaari ja -tutkielma

Maantieteen tutkimusyksikkö

Oulun yliopisto

24.11.2016

Sisällys

| | |
|--|----|
| 1. Johdanto..... | 3 |
| 2. Metsäpalot | 4 |
| 2.1 Paloaines ja paloregiimi | 4 |
| 2.2 Metsäpalo prosessina | 5 |
| 3. Tutkimuksen lähtökohdat | 7 |
| 3.1 Tutkimuksen toteutus | 7 |
| 3.2 Tutkimusalueet..... | 8 |
| 4. Tutkimustulokset ja tulosten tarkastelu | 10 |
| 4.1. Metsäpalot boreaalisissa metsissä | 10 |
| 4.1.1 Syttyneet palot | 10 |
| 4.1.2 Palanut alue..... | 12 |
| 4.2. Metsäpalot trooppisissa metsissä | 15 |
| 4.2.1 Syttyminen | 15 |
| 4.2.2 Leviäminen | 16 |
| 5. Pohdinta..... | 17 |
| 6. Johtopäätökset | 20 |
| Lähteet | 22 |

1. Johdanto

Vanha sanonta kuuluu: ”Tuli on hyvä renki, mutta huono isäntä”. Tulen esiintymiseen liittyy paljon uhkia, mutta useita mahdollisuuksia. Tulen hyödynnys viljelyalan raivaamiseksi voi toimia ihmisen toimeentulon takuuna, mutta väärinkäytettynä on mahdollisuus palon karkaamisesta ja aiheuttamista taloudellisista tappioista. Toisinaan lehdistä voi lukea, kuinka ihmiset joutuvat jättämään kotinsa laajojen metsäpalojen takia. Samalla se kuitenkin toimii metsien uudistajana ja uuden synnyn mahdollistajana. Mutta mistä tämä kaikki on oikein seurausta?

Metsäpalot ovat osa metsien luonnollista kiertoa ja jotkut metsien lajeista vaativatkin säännöllisiä paloja selvitäkseen ja kasvaakseen. Alueesta ja syttymistavasta riippumatta kaikkien metsäpalojen taustalla oleva fysiikka ja kemia ovat samanlaisia. Niihin vaikuttavat tekijät ovat kuitenkin erilaisia riippuen metsän olosuhteista (Cochrane 2003: 916). Erilaisilla kasvillisuusalueilla pyritään selvittämään eri tekijöiden vaikutuksia metsäpalojen tilalliseen ja ajalliseen esiintymiseen. Borealisilla metsillä saadaan esimerkki säännöllisiin metsäpaloihin sopeutuneiden alueiden olosuhteita ja niiden vaikutusta palojen ominaisuuksiin. Trooppisilla metsillä pyritään tuomaan mahdollisimman erilaista näkökulmaa metsäpalojen yleisyyteen ja leviämiseen vaikuttavista tekijöistä. Tämän taustalla on oletus siitä, että kyseisillä alueilla esiintyvien metsäpalojen yleisyydessä ja leviämisessä on huomattavissa olevia eroavaisuuksia.

Tässä tutkimuksissa on tarkoitus selvittää metsäpalojen syttymisen ja leviämisen taustalla oleva prosessi. Tämän jälkeen saadun prosessin pohjalta perehdytään valittujen metsätyyppien yleisten ominaisuuksien vaikutukseen metsäpalojen kehittymisen kannalta. Mikä aiheuttaa metsäpalojen syttymisen? Mistä on seurausta metsäpalojen yleisyys borealisissa metsissä? Mistä johtuvat esimerkkialueilla esiintyvien palojen erot? Minkälaiset olosuhteet edistävät palojen syttymistä ja leviämistä? Näiden pohjalta pyrkimyksenä olisi luoda näkemys tekijöistä, jotka yleisellä tasolla vaikuttavat eniten metsäpalojen syttymiseen ja leviämiseen. Lopuksi tarkoituksena on pohtia mahdollisia tulevaisuuden näkymiä ja ilmaston muutoksen vaikutusta metsäpalojen esiintymiseen.

2. Metsäpalot

2.1 Paloaines ja paloregiimi

Palon syttymisen ja palamisen kannalta oleellista on paloaineksen määrä ja laatu. Paloaineksella tarkoitetaan kaikkea metsän sisältämää orgaanista biomassaa, joihin kuuluvat kasvit, kasvien osat ja niiden hajoamistuotteet. Ne voidaan luokitella karkeisiin ja hienoihin aineksiin läpimittansa ja kuivumisnopeutensa mukaan. Yleisesti käytettynä rajana toimii 6 millimetrin läpimitta, jota pienemmät ainekset kuuluvat hienoihin paloaineksiin. Hienot ainekset ovat pienikokoisia, joten ne kuivuvat sekä syttyvät helposti. Metsän paloainestyyppi koostuu sen kunkin kerroksen sisältämästä paloaineksista. Niiden voidaan luokitella koostuvan maan, pinnan ja latvuston paloaineksista (Ottmar ym. 2007 Lindberg ym. 2011: 35, 37 mukaan). Usein huomioidaan olevan myös välittäjäaineita, jotka helpottavat palon leviämistä latvustoon. Näihin lasketaan muun muassa keskikokoiset puut, taimet ja matalat oksat (Johnson 1992: 47). Paloaineksen syttymisherkkyteen vaikuttaa sen sisältämän kosteuden määrä, joka esitetään kosteusprosenttina. Suuri kosteuden määrä paloaineksessa nostaa sen kuivattamiseen ja syttymiseen tarvittavan energian määrää tehden palon syntymisestä ja leviämisestä epätodennäköisempää (Pechony & Shindell 2010).

Jokainen metsäalue reagoi eri tavalla paloihin riippuen palon ja esiintyvien lajien ominaisuuksista. Näitä eroja kuvaamaan käytetään termiä paloregiimi, joka toimii yleisenä kuvauksena palojen esiintymisestä sekä niiden ja ympäristön välisestä vuorovaikutussuhteesta (Lindberg ym. 2011: 92). Paloregiimin avulla palojen esiintymistä alueella on mahdollista kuvata ajallisten ja tilallisten muuttujien avulla. Näitä kuvaamaan voidaan käyttää palojen esiintymistä ja sen kaudellisuutta sekä esiintyvien palojen leviämistä (de Groot ym. 2013: 24).

Agee (1993: 10, 12-18) jakaa paloregiimeihin vaikuttavat tekijät palon esiintymisen ajallisen jakautumisen, voimakkuuden ja laajuuden mukaan. Metsäpalojen esiintymisen yleisyyttä voi kuvata joko palojen vuosittaisella lukumäärällä, palovälillä tai palokierrolla. Paloväliä käytetään kuvaamaan palojen välistä aikaväliä samalla paikalla, kun palokierto kuvaa ajanjaksoa, jonka tutkimusalueen kokoisen palstan palaminen vaatii

(Lindberg ym. 2011). Palojen yleisyyteen vaikuttaa alueen ilmasto sekä käytettävän paloaineksen kerääntyminen edellisen palon jälkeen (Stocks ym. 2011: 239). Useimmissa tilanteissa alueelle on mahdollista määrittää palokausi, jolloin metsäpalojen polttaman alueen määrä ja syttymisen riski ovat suurimmillaan. Monesti tämä aika on määriteltävissä yhteen kuivimman vuodenajan mukaan (Bond & Keeley 2005).

Tietyn ajanjakson aikana palaneen alueen kokoa on mahdollista kuvata alueella syttyneiden palojen määrällä ja yksittäisten palojen laajuudella. Tämän seurauksena samankokoinen palanut alue voi muodostua parista laajasta tai useasta pienemmästä palosta, minkä johdosta pelkän palojen lukumäärään perusteella palaneen alueen määrää ei voi päätellä (Niklasson & Granström 2000: 1485).

Palon voimakkuutta kuvaamaan käytetään palointensiteettiä, joka määrittää palon synnyttämän energian määrää. Palon vaikuttavuudella voidaan arvioida palon aiheuttamaa vaikutusta metsän kasvillisuuteen ja paloainekseen. Palointensiteettiä mitataan sen vapauttamana energiana (kW/m^2). Tehokas tapa palon voimakkuuden kuvaamiseen on, jakamalla ne liekin korkeuden mukaan matalaintensiteettisiin ($<1\text{m}$), keski-intensiteettisiin ($1\text{-}3\text{m}$) ja korkeaintensiteettisiin ($>3\text{m}$) paloihin. Korkeaan palointensiteettiin vaikuttavat kuiva ja tuulinen sää sekä kuivan hienojakoisen paloaineksen suuri määrä. Korkeaintensiteettiset palot ovat tehokkaimpia leviämisen kannalta, sillä niistä ympäristöön vapautuvan energian määrä on suurimmillaan lämmittäen tehokkaasti paloainesta. (Andrews & Rothermel 1982 Lindberg ym. 2011: 27 mukaan)

2.2 Metsäpalo prosessina

Yleisimmin metsäpalot aiheutuvat joko salamoista tai ihmisen toiminnan seurauksena. Jokaisesta kipinästä tai liekistä ei kuitenkaan aiheudu metsäpaloa, vaan sen syttyminen tarvitsee täydelliset olosuhteet, eli riittävän määrän paloainesta, lämpöä ja happea (Agee 1993: 30). Palon syttymisen ja leviämisen kannalta tärkeässä roolissa ovat paloaineksen ominaisuudet sekä vallitsevat sääolosuhteet. Todennäköisin ajanjakso metsäpalon synnyn kannalta onkin kuivan kauden aikana, kun paloaines sisältää mahdollisimman vähän

kosteutta (Pechony & Shindell 2010). Syttymisprosessi alkaa jonkin ulkoisen tekijän, kuten salaman, nostaessa paloaineksen lämpötilaa tarpeeksi korkeaksi, johtaen sen lämpenemiseen ja siinä jäljellä olevan kosteuden haihtumiseen. Tämän jälkeen paloaineksen kemikaalien hajotessa syntyy helposti syttyvää ainesta, joka syttyessään muodostaa näkyvän liekin. Näin syntyvän liekin etureunan on mahdollista lämmittää edessä olevaa syttymätöntä paloainesta mahdollistaen palon etenemisen (Johnson 1992: 22).

Tärkeä tekijä palon leviämisessä on sen kyky siirtää lämpöä ympäristöön mahdollistaen nopean etenemisen ja paloaineksen saamisen jatkuvuuden. Leviämisen tekee mahdolliseksi palon suuri intensiteetti, jolloin energiaa siirtyy tehokkaammin ympäröivään paloainekseen. Tähän vaikuttavat palon ominaisuuksien lisäksi ulkoiset tekijät. Palon leviämiseksi on sen saatava tarpeeksi paloainesta, esimerkiksi tiheän puun kasvun kautta, ja paloaineen on oltava laadukasta sekä sääolosuhteiden suotuisia (Lindberg ym. 2011: 18). Palon kannalta merkittävimmät lämmön siirtymistavat tapahtuvat konvektiolla, säteilemällä ja massakulkeutumisella. Konvektiolla, jota esiintyy kaasujen ja nesteiden välityksellä, lämpöä siirtyy kuumien ilmavirtausten välityksellä palon etenemissuuntaa kohti. Sen avulla palo pystyy leviämään latvustoon ja puusta toiseen. Säteilyä tapahtuu suoraan palosta kaikkialle ympäristöön ja sen tehokkuus vähenee suhteessa kohteen etäisyyden neliöön, eli vaikutus on tehokkainta liekin välittömässä läheisyydessä. Palon leviämisen kannalta lämpösäteily on tärkeässä roolissa etenkin sen kuivattaessa maanpinnan paloainesta, joka lopulta lämpenee tarpeeksi ja syttyy palamaan. Massakulkeutumisessa aktiivista paloainesta siirtyy palon ulkopuolelle, esimerkiksi kuumien ilmavirtausten tai tuulen mukana, ja sytyttää uusia paloja, joita kutsutaan heitepaloiksi (Agee 1993: 32). Lisäksi näiden siirtymistapojen tehokkuuteen vaikuttavat alueen topografia, etenkin jyrkät rinteet, sekä paikalliset tuuliolosuhteet, jotka nopeuttavat palon etenemistä. Näiden tekijöiden seurauksena liekit pääsevät lähemmäksi uutta paloainesta lämmittäen laajempaa aluetta tehokkaammin (Johnson 1992: 24).

Palojen esiintymismuodot luokitellaan sen mukaan, minkä kerroksen paloainesta ne kuluttavat. Maapaloissa palaminen tapahtuu pohja- ja maakerroksen orgaanista ainetta kuluttaen. Näille on ominaista hidas ja kytevä hehkupalaminen, joka on seurausta kostean

paloaineksen tiiviyydestä ja hienojakoisuudesta, mikä hiljalleen kuivattaa ympärillä olevaa paloainesta kohti syttymispistettä (Johnson 1992: 69). Pintapalot leviävät kuluttaen kenttä- ja pohjakerroksen aineksia. Suurin osa paloista saa alkunsa juuri pintapaloista, sillä siinä sijaitsevat syttymisherkeimmät osat, josta ne voivat levitä maa- tai latvapaloiksi (Lindberg ym. 2011: 23). Saavuttaessa tarpeeksi suuren intensiteetin on pintapalon mahdollista levitä sytyttämään latvusto ja etenemään sitä pitkin puusta toiseen. Tämän tapahtumiseen vaikuttaa välittäjäainesten määrä, latvuston etäisyys maanpinnasta ja lehvästön tiheys sekä kosteus (Stocks ym. 2001: 239). Latvapalojen leviäminen on mahdollista jakaa joko passiiviseen tai aktiiviseen etenemiseen. Passiivisessa etenemisessä palo pystyy sytyttämään yksittäisten puiden latvustoa, mutta ei kykene leviämään niiden kautta. Syynä tähän on useimmiten se, että puuston kasvu on liian harvaa mahdollistaakseen palon leviämisen sitä kautta. Aktiivisessa etenemisessä palo leviää yhtä aikaa sekä latva- että pintakerroksessa. Tällaisen palon nopeassa etenemisessä suurin merkitys on voimakkaalla tuulella, jonka vaikutusta voi edesauttaa palavan alueen ulkopuolelle syntyvät heitepalot (Wagner 1977: 27). Palon leviämistä on mahdollista rajoittaa estämällä sen käyttämän paloaineksen jatkuvuus. Tämä voi tapahtua luonnollisesti vesistöjen tai liian kostean paloaineksen kohdalla. Usein käytetty tapa on tehdä metsän keskelle paloaineksesta tyhjennetty alue, palokuja, jonka tulisi estää palon leviäminen.

3. Tutkimuksen lähtökohdat

3.1 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus metsäpalojen esiintymisestä ja laajuudesta eri metsätyypeissä perustuu metsäpaloista saatavilla olleeseen tilastotietoon. Lisäksi käytössä on useita eri lähteitä, joista on koostettu aiheen taustalla oleva teoria. Lähteinä toimivat pääasiassa kirjalliset teokset, tieteelliset artikkelit sekä internet-lähteet. Suuri osa käytetystä tilastotiedosta oli valmiiksi sisällytettyinä käytetyissä lähteissä. Yleisen teorian pohjana toimivat lähteet, joissa käsitellään metsäpaloja yleisenä ilmiönä. Tarkempaa tietoa tutkimusalueisiin liittyen on saatu lähteistä, jotka keskittyivät käsittelemään metsäpaloja kyseisillä alueilla.

Tutkimuksen menetelmänä käytössä on aineistolähtöinen sisältöanalyysi. Aineistoista saatuja tietoja on tarkoitettu yhdistää toisiinsa sekä lähdepohjaisiin tietoihin. Tämän lisäksi tilastotiedosta saatava tieto pyritään liittämään yhteen kirjallisuudesta saatavan tiedon kanssa. Kanadan metsäpalojen esiintyvyyttä ja laajuutta vuosien 1970-2014 välillä havainnollistetaan kuvaajalla (kuva 1). Myös vuonna 2014 Kanadassa havaittujen palojen kokoja ja polttamia alueita esitetään kuvalla (kuva 2). Kyseiset kuvat on laadittu käyttäen Microsoft Excel 2016 -ohjelmistoa ja niissä käytetty aineisto on saatu National forestry database:sta (NFD).

3.2 Tutkimusalueet

Boreaalinen havumetsävyöhyke ulottuu Labradorin niemimaalta, Kanadasta, Siperian ja Venäjän halki Fennoskandiaan asti. Pääosin se sijoittuu 45-70 leveyspiirin väliin. Tässä tutkimuksessa käytännöllinen jako tehdään Euraasiaan (Venäjä ja Fennoskandia) ja Pohjois-Amerikkaan (Kanada ja Alaska). Boreaalinen vyöhyke on yhtenäinen havumetsävyöhyke laajuudeltaan noin 12 miljoonaa km², joista noin kaksi-kolmasosaa sijaitsee Euraasian alueella ja loput Kanadassa ja Alaskassa (Stocks ym. 2001: 233).

Suurinta osaa boreaalisia metsiä kuvaa mantereinen ilmasto, jossa keskilämpötilat ovat kesällä 10-20°C ja talvella -20 ja -40°C välillä, vuosittaisen sadannan ollessa 400-600mm. Aluetta kuvaakin kasvillisuutta rajoittava lyhyt kasvukausi (Goldammer & Furyaev 2013: 1). Havumetsävyöhykkeen laajuus luo kuitenkin alueittaisia eroja kasvillisuuteen ja ilmastoon vaikuttaen palojen ominaisuuksiin. Tämän takia keskeiset havainnot tehdään sekä Kanadan että Venäjän alueilta. Läntisen Kanadan alueella Kalliovuoret heikentävät Tyyneltä valtamereltä tulevia ilmavirtoja vaikuttaen niiden kulkuun luoden vuoriston itäpuolelle palojen syttymiselle otollisen mantereisen ilmaston. Samankaltainen vaikutus on myös Ural vuoristolla, joka heikentää Skandinavian suunnalta tulevan merellisen ilmavirran kulkeutumisen Siperiaan. Lisäksi, alueellisia eroja seuraa pohjoisten seutujen karuista olosuhteista sekä etelään keskittyneestä väestöjakaumasta ja metsäteollisuudesta, pohjoisille seuduille jäädessä laajoja koskemattomia alueita (Stocks ym. 2001: 234).

Boreaalisille metsille tyypillistä on verrattain vähäinen puulajien määrä, joista suuri osa kuuluu havupuihin. Yksilöiden suojaksi on kehittynyt paksu kaarna, joka suojaa metsäpalon aiheuttamalta kuumuudelta. Yleisimpiä esiintyviä sukuja ovat männyt, pihdat, kuuset ja lehtikuuset. Euraasian puolella yleisimmät puulajit kuuluvat lehtikuusiin, kun Pohjois-Amerikassa yleisimpiä ovat kuuset (de Groot ym. 2013: 23). Nämä muodostavatkin havumetsien yleisimmät latvuston paloainekset. Latvuston varjostamille alueille on hitaan hajotustyön tuloksena kehittynyt kostea sammalpeitteinen ja hienojakoista orgaanista maa-ainesta sisältävä podsolimaannos (Lindberg ym. 2011: 54). Metsänpohjan paloaineksista tärkeimpiä ovat orgaaninen maa-aines ja hienojakoiset hitaasti lahoavat sammalet, jäkälät sekä neulaset. Palon leviämisen kannalta oleellisia ovat myös välittäjäaineiksina toimivat, taimet, pensaat sekä matalalla olevat ja kuolleet oksat, joiden myötä palo voi levitä latvustoon (Johnson 1992: 47, 108).

Trooppista aluetta kuvaamaan käytetään tässä tutkimuksessa pääasiassa Amazonin alueelta tulevia havaintoja. Kokonaisuutena alueen määritellään soveltuvaksi päiväntasaajan seudun trooppisiin metsiin, joiden sijainti ulottuu enintään kravun tai kauriin kääntöpiirille. Tällä alueella esiintyy laajoja ainavihantia metsiä sekä savanneja ja ruohomaita. Alueen sademetsille tyypillisiä ovat ympärivuotinen korkea lämpötila, joka on yli 24°C, sekä sateen määrä, yli 1500mm/vuosi. Trooppiset metsät voivat omata selvän kuivankauden, jolloin sadannan määrä on selvästi muuta vuotta vähäisempää (Sternberg 2001: 370). Toisinaan merivirtojen kulku muuttuu luoden El Niño -ilmiön. Tämä aiheuttaa Amazoniin normaalia korkeampia lämpötiloja ja vähäisempää sademäärää aiheuttaen vakaviakin kuivia kausia. Trooppisen alueen metsät koostuvat korkeasta ikivihreästä kasvillisuudesta, jonka kestää erittäin hyvin kuivuutta syvälle ulottuvien juurien ansiosta. Näille metsille tyypillistä on suuri lajirikkaus ja tiivis puiden kasvu. Puuston kaarna on varsin ohutta, joka on ominaista, kun tuli ei ole merkittävässä roolissa paikallisessa ekologiassa (Hoffmann ym. 2003a: 725). Tiheä latvusto imee suurimman osan auringonvalosta pitäen pohjakerroksen varjoisana ja kosteana johtaen aluskasvillisuuden vähäiseen määrään. Suuri osa paloaineksesta sijaitsee metsän latvustossa, metsänpohjan koostuessa enimmäkseen kuolleista lehdistä ja oksista (Nepstad ym. 1999: 11).

Sademetsien pääasiallinen häiriö aiheutuu ihmisistä, joiden toiminta trooppisten metsien alueilla on lisääntynyt viime vuosikymmeninä. Ihmisten elintaso on suureksi osaksi riippuvainen omavaraisuudesta ja moni saakin elantonsa viljelystä tai karjankasvatuksesta. Monilla tiloilla tulta hyödynnetäänkin metsien muokkaamiseksi viljely- ja laidunmaan saamiseksi. Näiden lisäksi metsien avohakkuut ja rakentamista seuraava infrastruktuurin kehitys lisää metsien pirstaleisuutta. Metsien häviämisen on arvioitu olevan vuosittain noin 1,1 - 2,9 miljoonaa hehtaaria (Alencar ym. 2006).

4. Tutkimustulokset ja tulosten tarkastelu

4.1. Metsäpalot boreaalisissa metsissä

4.1.1 Syttyneet palot

Vaikka salammat ovat boreaalisten metsien tärkein luonnollinen syy palojen syttymiseen, on ihmisten vaikutus palojen sytyttäjänä ollut kasvussa ja vuonna 2014 puolet havaituista paloista olivatkin ihmisten aiheuttamia (NFD). Vuosien 1930-1960 välillä on Kanadassa arvioitu syttyneen noin 6000 paloa vuosittain ilman merkittäviä vaihteluita. Kuvasta 1 on nähtävissä vuosien 1970-2014 välisenä aikana havaitut palot, joiden keskimääräinen vuosittainen määrä on 8400. Vuodesta 1970 lähtien on nähtävissä selkeää kasvua palojen määrässä verrattuna edeltäneiden vuosikymmenien 6000 syttyneen palon arvioon. Tätä voi pitää seurauksena väestön kasvusta, metsiin kohdistuvan käytön lisääntymisestä sekä mahdollisuudesta palojen kehittyneempään havainnointiin (Stocks 2004: 123). Vuosituhannen vaihteessa vaikuttaisi kuitenkin alkavan lievä lasku, jossa syttyneiden palojen määrät laskevat koko aineiston keskiarvon alapuolelle lähemmäs aiempien vuosien arvioiden 6000 palon määrää.

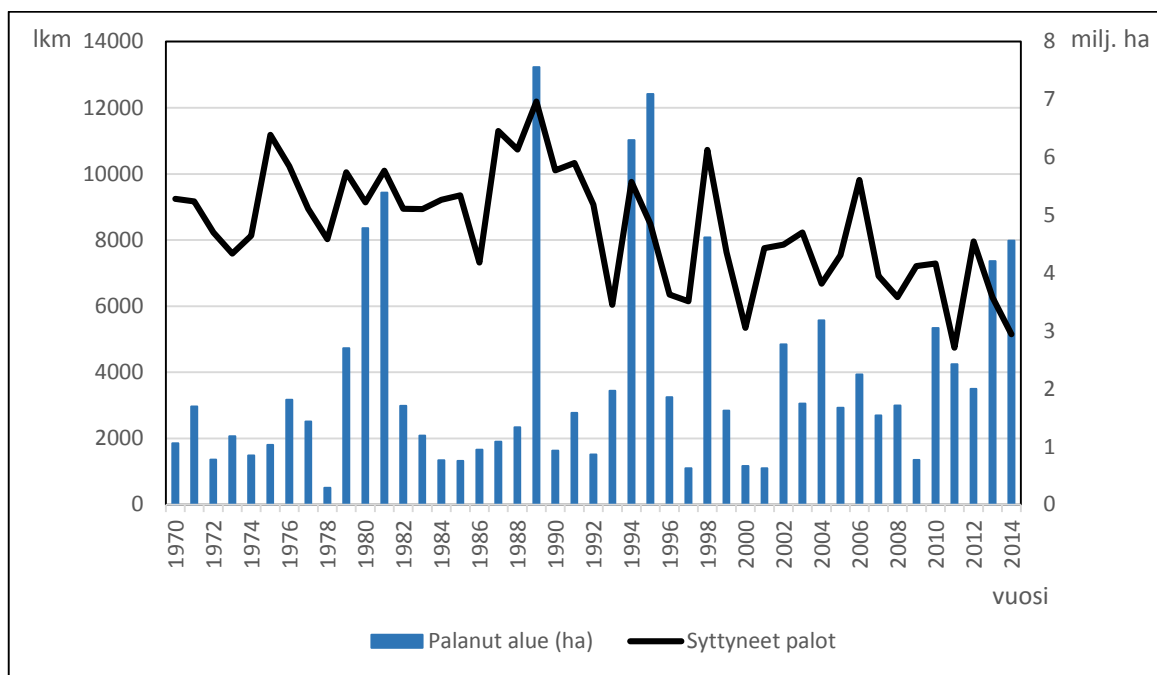
Vastaavasti vuosina 1956-1990 Venäjällä arvioitiin syttyvän noin 16 500 paloa. Tilastoinnin puutteen takia tätä lukua pidetään kuitenkin aliarviona todellisista arvoista (Stocks ym. 2001: 236). Vuosien 1992-2007 välisenä aikana Venäjällä havaittiin keskimäärin 13 000-20 000 paloa vuosittain (Goldammer ym. 2007), mikä arvioiden

osuessa oikeaan tarkoittaisi, ettei alueella syttyneiden palojen määrässä olisi tapahtunut merkittävää muutosta kyseisen aikavälin aikana.

Luonnollisena palovälinä boreaalisille metsille on pidetty 50-200 vuotta. Ihminen voi kuitenkin toimillaan, kuten metsien suojelulla tai tulenkäytöllä, laajentaa tiettyjen metsien havaittua paloväliä (Stocks ym. 2001: 239). Eräässä tutkimuksessa vuosien 2001-2007 väliseltä ajalta saatujen tietojen perusteella Kanadan metsille arvioitu paloväli oli lähes 180 vuotta, kun vastaava arvo Venäjän puoleisille metsille oli noin 53 vuotta (de Groot ym. 2013: 29).

Boreaalisissa havumetsissä syttyvien palojen yleisyys on seurausta niiden palojen kehittymiselle otollisesta rakenteesta sekä ilmastosta. Havumetsien pohjakerros muodostuu suuresta määrästä hienojakoista paloainesta, kuten jäkälistä ja laajasta karikekerroksesta, jotka kuivuvat nopeasti ja syttyvät helposti. Näin kehittyvälle palolle on lähes aina tarjolla tuoretta paloainesta sytykkeeksi. Hienojakoisen paloaineksen hitaan hajoamisen seurauksena metsien pohjalle voi lisäksi kehittyä paksukin orgaaninen kerros, joka kosteudestaan huolimatta sisältää paljon paloainesta voiden ylläpitää hehkupaloa, kunnes olosuhteet sallivat laajemman syttymisen (Lindberg ym. 2011: 23, 61). Tämän lisäksi havumetsissä sijaitsevan paloaineksen määrä on varsin tasaisesti jakautunut metsän eri kerroksiin. Ikivihreisiin lehtipuihin verrattaessa yleensä havupuut omaavat syvemmän latvuston, joka ulottuu lähemmäs maanpintaa, jolloin palo pystyy tarttumaan niihin helpommin. Palon kehittymistä edistää myös se, että havupuiden latvusto sisältää pienemmän määrän kosteutta verrattuna lehtipuiden latvustoon. Tästä seuraa, että havupuiden syttyminen ei tarvitse yhtä paljon lämpöä kuin enemmän kosteutta sisältävien latvustojen (Johnson 1992: 50).

Boreaalisen vyöhykkeen ilmasto suosii metsäpalojen syntymistä luoden paloainesta kuivattavat sekä sytyttävät olosuhteet. Boreaalisella alueella tärkein tekijä metsäpalojen esiintymisessä on vahvasti mantereinen ilmasto, jota esiintyy erityisesti Siperian ja läntisen Kanadan alueella. Arktisen ilmamassan väistyessä sen tilalle tulee etelästä lämpimämpiä ja epävakaita ilmapirtauksia, jotka kuivattavat paloaineksen sekä aiheuttavat niitä sytyttäviä salamoita (Stocks ym. 2001: 237).



Kuva 1. Havaittujen metsäpalojen määrä ja laajuus Kanadassa aikavälillä 1970-2014. Aineisto: National Forestry Database (NFD).

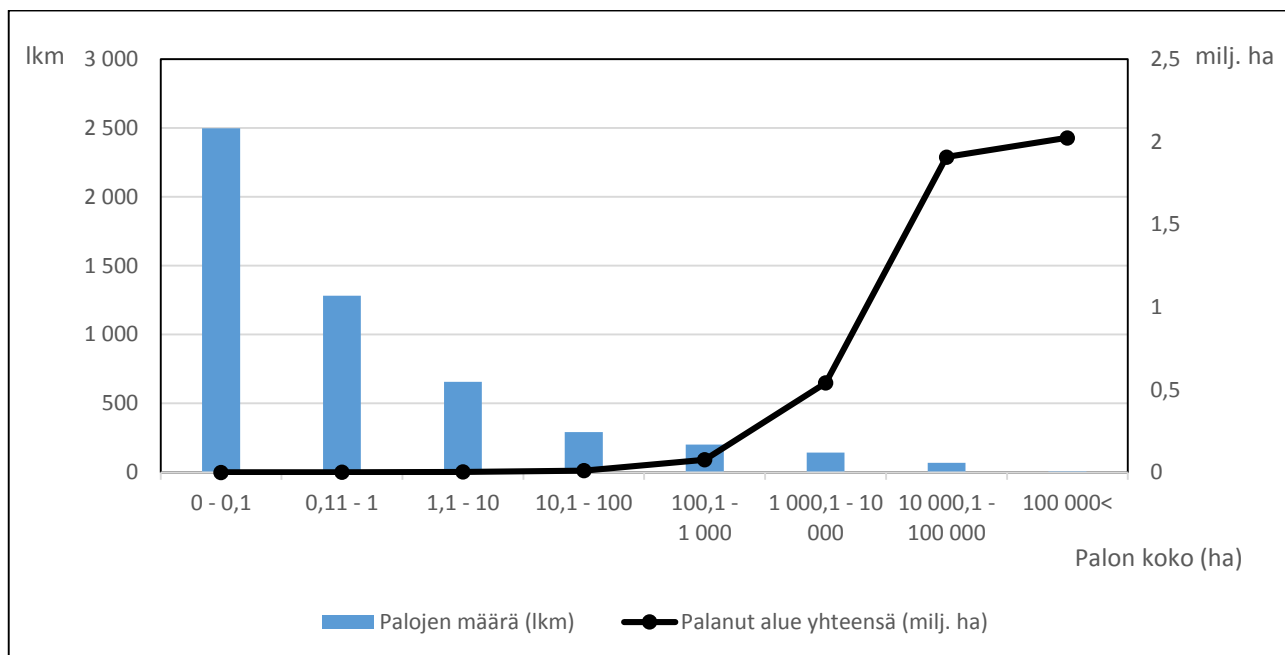
4.1.2 Palanut alue

Yhteensä boreaalisisissa metsissä arvioidaan palavan noin 5-20 miljoonaa hehtaaria metsää vuosittain. Yleisimmät alueet palojen esiintymiselle sijaitsevat läntisessä Kanadassa sekä keskisellä Venäjällä (de Groot ym. 2013: 23). Kuvassa 1 on syttyneiden palojen lisäksi näkyvillä Kanadassa vuosien 1970-2014 välisenä aikana vuosittain palaneen alueen koko hehtaareina. Aineiston ensimmäisinä vuosikymmeninä palaneen alueen määrästä on nähtävillä, että useimpina vuosina sen koossa ei vaikuta olevan suurta vaihtelua verrattuna huippuvuosiin, palaneen alueen määrän pysytellessä miljoonan hehtaarin tienoilla. Vuosina 1980-1998 Kanadassa oli kuitenkin useita vuosia, jolloin olosuhteet olivat hyvin kuivia ja suotuisia metsäpalojen kehitykselle. Nämä vuodet esiintyvätkin selvinä piikkeinä muihin vuosiin verrattuna. Lisäksi niillä on nostava vaikutus koko ajanjakson palaneen alueen vuosittaiseen keskimäärään, joka saadusta aineistosta olisi 2,2 miljoonaa hehtaaria vuosittain. Tästä huolimatta vuosien 2000-2014 välisenä aikana

vuotuisen palaneen alueen määrässä vaikuttaisi olevan kasvua, sen määrän ollessa toistuvasti yli 2 miljoonan hehtaarin (kuva 1).

1956-1990 välisten vuosien aikana Venäjällä palaneen alueen arveltiin olevan noin 650 000 hehtaaria vuosittain. Heikon tilastoinnin ja Venäjän laajan metsä pinta-alan takia tämän luvun uskotaan olevan selvästi alakanttiin. Uudemmat arviot antavatkin keskimääräiseksi vuosittain palaneen alueen kooksi 12 miljoonaa hehtaaria (Stocks 2004: 124). Satelliiteista saadun tiedon avulla vuosina 1996-2007 arvioidaan vuosittain palaneen noin 4-10 miljoonaa hehtaaria (Goldammer ym. 2007).

Kuva 2 luokittelee Kanadassa vuonna 2014 havaitut metsäpalot kokoluokittain sekä esittää näiden luokkien yhteensä polttaman alueen määrän. Kuvasta näkee, että vaikka paloja syttyy suuri määrä, ovat harvat laajat palot selkeästi useita pieniä paloja merkittävämpiä. 2001-2007 välisillä vuosilla keskimääräiset palojen koot olivat Kanadassa lähes 6000 hehtaaria ja Venäjällä 1300 hehtaaria (de Groot ym. 2013: 29).



Kuva 2. Kanadassa havaittujen metsäpalojen lukumäärä ja polttama alue kokoluokittain vuonna 2014. Aineisto: National Forestry Database

Havumetsissä palon laaja leviäminen on mahdollista laadukkaan ja paksun pohjakerroksen paloainemäärän sekä tiheän helposti syttyvän latvuston ansiosta. Hienojakoisessa paloaineksessa palo pystyy leviämään tehokkaasti, sen saadessa jatkuvasti uutta paloainesta. Tämän lisäksi metsän pohjalla oleva hienojakoinen orgaaninen aines pystyy syttyessään ylläpitämään korkea intensiivistä paloa. Palon leviämisessä latvustoon auttavat havumetsissä olevat kuolleet/kaatuneet puut sekä matala oksisto, jotka toimivat välittäjäaineina (Lindberg 2011: 39, 45). Tiheissä metsissä latvustoon päästessään palo pystyy leviämään nopeasti sekä maanpinnalla että latvustossa voimakkaan intensiteetin avulla paloainesta ollen jatkuvasti lähettyvillä. Leviämistä nopeuttaa tuulen voimakkuus, jonka avulla palo pystyy leviämään latvasta toiseen myös vähemmän tiheillä alueilla. Palon leviämisessä auttaa havupuiden neulasten herkempi syttyminen lehtipuihin verrattuna (Johnson 1992: 108).

Vaikka salamet aiheuttivat vuonna 2014 ainoastaan noin puolet syttyneistä paloista, olivat ne vastuussa lähes kaikesta palaneesta alueesta (NFD). Tämän taustalla voi olla sama syy kuin suurten palojen pieneen numeeriseen määrään (kuva 2). Palojen leviämisessä ihmisen rooli niitä rajoittavana tekijänä on aikaisempaan verrattuna lisääntynyt kehittyneen metsien taloudellisen arvon kuin palonhallinnan sekä havaitsemisen kautta. Tällöin ihmisten aiheuttamista paloista saadaan tietoa nopeasti ja alue on todennäköisesti helpommin saavutettavissa, jolloin niihin pystytään reagoimaan ennen kuin ne ehtivät leviämään laajemmalle alueelle. Lisäksi ihmisen vaikutuksesta metsissä voi olla aukkoja paloaineen jatkuvuudessa, kuten teitä, jotka hidastavat palon leviämistä. Metsällä ollessa taloudellista arvoa sen yleinen valvontakin on paremmin varautunut palojen syttymiseen (Stocks ym. 2001: 238). Harva ja keskittynyt väestö sekä teollisuuden keskittyminen eteläisille alueille mahdollistaa silti laajojen metsäalueiden luonnonmukaisen kasvamisen. Laajoissa koskemattomissa metsissä palojen leviäminen häiriöittä on helpompaa, kun niissä syntyvät palot ovat vaikeasti havaittavissa ja saavutettavissa. Syrjäisimmillä seuduilla onkin tapana harjoittaa käytäntöä, jossa palontorjuntaa ei katsota tarpeelliseksi, mikäli se ei aiheuta vaaraa ihmisille tai metsän arvolle. Tämän seurauksena pohjoisilla alueilla syttyvät palot saavat levitä vapaammin kuin tiheimmin asutuilla eteläisillä alueilla (NFD).

Tuloksista on nähtävissä, että Euraasian puoleisissa paloregiimeissä syttyneiden metsäpalojen määrä sekä yhteensä palaneen alueen koko ovat suurempia kuin Pohjois-Amerikan puolella. Tästä huolimatta yksittäisten metsäpalojen keskimääräinen koko ja intensiteetti ovat suurempia Pohjois-Amerikan metsissä. Euraasian suurempi palojen määrä ja poltetu alue ovat helposti selitettävissä sen laajemmalla pinta-alalla, mutta yksittäisten palojen ominaisuuksissa on silti eroja (Wooster & Zhang 2004). Pohjois-Amerikan paloille tyypillisiä ovat suuri intensiteettiset palot, jotka leviävät latvapaloina, kun Euraasian palojen matalampi intensiteetti viittaa pintapalojen yleisyyteen. Tämä ero on seurausta lajien eri ominaisuuksista. Latvuston sisältämän kosteusmäärän ja metsien monikerroksisuus ovat selittäjiä palojen leviämislle, sillä Euraasiassa yleisempien lehtikuusten latvuston kosteusmäärä on kuusten latvustoa korkeampi, kuusilla alimpien oksien korkeuden ollessa myös matalampi (de Groot ym. 2013: 33).

4.2. Metsäpalot trooppisissa metsissä

4.2.1 Syttyminen

Boreaalisten metsien tapaan trooppistenkin metsien paloalttius on suurimmillaan kuivimpien kausien yhteydessä. Trooppisen vyöhykkeen alueilla luontaisten palojen esiintymistä tapahtuu lähinnä savanneilla ja ruohomailla, joilla on erotettavissa selvä kuivakausi. Näillä alueilla paloväli voi olla niinkin yleinen kuin 1-3 vuotta. Sademetsissä luontaiset palot eivät ole yhtä yleisiä, mutta viimeisinä vuosikymmeninä ne ovat yleistyneet ihmistoiminnan seurauksena. Eri kokoisten mautilojen suuren määrän ja niiden sytyttämien pienten palojen takia syttyneiden palojen määrää on vaikea arvioida. Vuosien 1983-2006 väliseltä ajalta tehdyn arvion mukaan Amazonin metsien paloväli voi olla alimmillaan jopa 82 vuotta (Alencar ym. 2001: 2405). Vertauksen vuoksi luonnollisen palovälin on sademetsissä arvioitu olevan 400 vuodesta jopa noin 1000 vuoteen. Trooppisten metsien reuna-alueilla, enimmillään noin kahden kilometrin päässä metsän reunasta, on huomattu olevan muuhun metsään verrattuna suurentunut riski palon esiintymiseen (Cochrane & Laurance 2002: 322).

Trooppisten metsien suuri paloväli on seurausta runsaista sateista, jotka pitävät paloaineksen kosteana, sekä niiden hyvästä sietokyvystä kuivuutta vastaan. Tiheä latvusto estää auringonvalon pääsyn maanpinnalle asti pitäen kosteuden sisällään, jolloin kuivinakin kausina latvuston alla ilma pysyy kosteana. Tästä johtuen käytettävissä oleva paloainekin pysyy kosteana eikä syty herkästi. Herkimpiä alueita tulen vaikutukselle ovat metsien reuna-alueet, joihin kuuluvat ihmisten synnyttämien aukkioiden ja savannien läheisyydessä olevat alueet. Tällöin reuna-alueen muodostavat puut ovat alttiita tuulen ja auringon vaikutukselle, jossa kuolleiden puiden lehdet lisäävät metsänpohjan paloaines määrää, kuivattaen paloainesta (Cochrane 2003: 914-915). Esiintyviä kuivia kausia pahentaa säännöllisesti esiintyvä El Nino ilmiö, joka aiheuttaa normaalia rajumpaa kuivuutta.

4.2.2 Leviäminen

Arvioitu luku Amazonissa vuosittain palaneesta alueesta on noin 200 000 hehtaaria, mutta El Niñon aiheuttamaan kuivaan kauteen yhdistettynä palaneen alueen määrä voi kasvaa moninkertaiseksi, jota esittää vuonna 1998 palanut alue, jonka arvioitiin olevan lähes 4 miljoonaa hehtaaria (Alencar ym. 2006: 2). 1994-1995 tehdystä tutkimuksesta saatiin tietoa eri palojen osuuksista palaneessa alueessa. Siinä palaneen alueen huomattiin olevan suurinta alueilla, joilla metsien häviäminen oli aktiivista. Nämä palot koostuivat pääasiassa tarkoituksenmukaisesta kaskeamisesta sekä karanneista paloista. Pienempi alueellinen merkitys oli lähes koskemattomissa metsissä tapahtuneissa paloissa, jotka vastasivat vain lähes viidesosasta palaneesta alueesta (Nepstad ym. 1999: 34-35, 51, 65).

Yleensä palot pääsevät leviämään trooppisiin metsiin ympäröiviltä alueilta, kuten savanneilta tai ihmisten tulen käytön seurauksena. Trooppisissa metsissä pystytään erottamaan kaksi eri ominaisuudet omaavaa palotapaa. Ensimmäinen palotapa on tyypillinen metsien koskemattomissa osissa. Nämä koskemattomien trooppisten metsien osat ovat varjoisia ja paloaines on kosteaa, jolloin kyseiset kohdat toimivat palojen leviämistä hidastavana ”palomuurina” (Nepstad ym. 1999: 35). Usein tällaisella aiemmin palamattomalla alueella palo etenee pintapalona kuluttaen metsänpohjan paloaineksista

lähinnä kuivuneita lehtiä. Tällaiset hehkupalot etenevät hitaasti, saattaen päivän aikana edetä vain pari sataa metriä, jättäen laajoja palamattomia laikkuja. Yön tullessa lisääntyvä suhteellinen kosteus kuitenkin pysäyttää palon etenemisen. Hehkupaloille tyypillisesti palo voi kuitenkin kyteä viikkojakin ennen kuin se syttyy uudelleen suotuisissa olosuhteissa (Cochrane & Laurance 2002: 313). Pitkän vaikutusajan ja trooppisten puiden ohuen kuoren seurauksena ne tappavat kuitenkin lähes kaiken kohdalle osuvan kasvillisuuden. Puuston kuollessa tämä aiheuttaa paloaineksen suurempaa kasautumista metsän pohjalle ja latvuston ohenemista, lisäten metsäpalon paluun todennäköisyyttä (Cochrane ym. 1999: 1832).

Ensimmäisen palon merkittävin vaikutus tulee esiin ajan kanssa, kun se luo olosuhteet uusien palojen saapumiselle. Toinen trooppisissa metsissä esiintyvä palotapa on yhteydessä vähentyneeseen latvuston peittävyteen ja lisääntyneeseen paloaines määrään. Tämä palotapa onkin yleinen alueilla, joilla puuston määrä on vähentynyt joko ihmisen vaikutuksesta tai aiemman palon seurauksena. Seurauksena laajempi ala metsää on päätynyt reuna-alueelle ja palon leviämisuhan alle (Cochrane ym. 1999: 1832). Näillä alueilla syttyvät palot leviävätkin nopeammin ja laajemmalle alueelle kuin edellä kuvattu pintapalo, vaikuttaen entistä suurempaan osaan metsää. Näin ollen trooppisissa metsissä jokaisen palon jälkeen olosuhteet muuttuvat edullisemmaksi uusien palojen esiintymiselle (Nepstad ym. 1999: 74).

5. Pohdinta

Tutkimuksen edetessä on käynyt selväksi, että metsäpaloille suotuisat olosuhteet ovat ilmaston ja paikallisten olosuhteiden yhteisvaikutuksen seurausta. Tärkeimpiä yhteisiä tekijöitä palojen kehittymiselle vaikuttavatkin olevan säätekijät, jotka mahdollistavat paloaineksen kuivumisen ja palonlähteen, sekä paloaineksen jatkuvuus, jonka avulla palo pystyy leviämään ja pysymään elossa. Muut eri paloregiimien ominaisuudet ovat seurausta niiden erilaisista lajikohtaisista ominaisuuksista, jotka vaikuttavat eri tavalla paloaineksen ja sitä myöten palojen ominaisuuksiin.

Boreaalisten metsien suuri palojen määrä sekä levinneisyys ovat seurausta palojen kehittymistä suosivasta ilmastosta sekä metsien rakenteesta. Boreaalisten metsien kasvillisuus koostuu lähes täysin hienojakoisesta paloaineksesta, jonka osuutta havupuiden neulaset täydentävät. Trooppisten metsien lehtipuiden suurempien lehtien kuivuminen vaatii enemmän energiaa, jota ei ole saatavilla tiheän latvuston seurauksena. Tämän lisäksi sademetsille tyypillisiä ovat useat rankat sateet, jotka edelleen kastelevat paloainesta, jolloin salamoidenkaan esiintyminen ei riitä niiden sytyttämiseen. Trooppisten metsien laajempi palaminen onkin yhteydessä El Niñon esiintymiseen liittyvässä lisääntyneessä kuivuudessa.

Havupuiden monikerroksinen rakenne ja kartiomainen muoto auttavat palojen leviämisessä. Usein boreaalisisissa metsissä paloainesta on metsän joka kerroksessa, mikä helpottaa palon leviämistä latvustoon vapauttaen sen käyttöön lisää paloainesta ja lisäten palon intensiteettiä. Lehtipuulle tyypillisempää on latvuston yksikerroksellisuus ja suurempi etäisyys maanpinnasta johtaen välittäjäaineiden vähyyteen, jolloin palo tarvitsee suuremman intensiteetin noustakseen latvapaloksi ja levitäkseen nopeasti. Lisäksi metsäpalojen leviämistä heikentävänä tekijänä toimii lehtipuiden latvuston sisältämä suurempi kosteuden määrä.

Boreaalisisilla alueilla ihmisten toiminta paloja rajoittavana tekijänä on todennäköisesti suurempaa kuin trooppisisissa metsissä. Boreaalinen vyöhyke kulkee pohjoisten valtioiden halki, joissa metsien suojeluun kiinnitetään enemmän huomiota. Laajoista syrjäisistä alueista huolimatta metsien valvonta ja suojelu ovat tarkkaan säädelyjä. Sademetsien alueella asuvien ihmisten elintaso on monesti heikommalla tasolla ja elinkeino voi olla riippuvainen saadusta viljelmistä. Kuivankauden aikana tulenkäytön rajoittaminen on hankalaa ja se voikin helposti riistäytyä hallinnasta. Palon leviämistä estävien rakennelmien korkea hinta sekä heikko yleinen valvonta ja sammutusvalmius tekevät metsäpalojen leviämisen rajoittamisesta hankalaa.

Tulevaisuudessa boreaalisisissa metsissä syttyvien palojen ja palaneen alueen määrän voidaan olettaa nousevan ilmaston muutoksen seurauksena. Pohjoisilla alueilla ilmaston muutoksen odotetaan nostavan keskimääräisiä lämpötiloja ja pidentävän kasvukautta. Lämpötilojen nousun seurauksena metsien palokausi pidentyisi ja paloaineksen

kuivuminen nopeutuisi. Nämä näkyisivät suurempana syttyneiden palojen määränä ja palaneen alueen kokona. Lämpötilojen nousun mukana alueen haihdunta ja sademäärät kasvaisivat johtaen sään epävakauteen ja salamoiden määrän kasvuun. Sadannan vaikutus paloja rajoittavana tekijänä voi kuitenkin jäädä paikalliseksi havumetsien hienojakoisen paloaineksen takia. Kuvassa 1 näkyvän 2000-luvun jälkeisen kasvun palaneen alueen määrässä voi olettaa olevan seurausta tästä. Osan kasvusta voi kuitenkin selittää lisääntyneellä ihmisten toiminnalla ja kehittyneillä valvontavälineillä. Palokauden pidentymisen ja ihmisten toiminnan lisääntymisen seurauksena syttyvien palojen määrän voidaan odottaa nousevan tulevaisuudessa. Metsäpalojen lisääntymisen johdosta kasvaisivat myös niistä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt, jonka määrän merkittävä lisääntyminen vahvistaa ilmaston muutosta. Näin omalta osaltaan metsäpalojen yleistymisestä voisi tulla itseään vahvistava tekijä. Palojen yleisyyden noustessa tarkoittaisi se metsien palovälin lyhenemistä ja puukannan muutosta nuoremaksi (Stocks ym. 2001: 241). Boreaalisten metsien intensiiviset latvapatot kuluttavat tehokkaasti saatavilla olevan paloaineksen, joten uutta paloa ei silti pystyisi syntymään ennen kuin paloainesta on taas kerääntynyt tarpeeksi.

Tutkimustuloksissa saadut tiedot metsätyypeissä esiintyvien metsäpalojen luonteesta vaikuttaisivat tukevan saatua kirjallisesta aineistosta saatua teoriapohjaa. Tulosten pohjalta boreaalisten metsien paremmin luonnollisia paloja tukevat olosuhteet esittäytyvät paremmin levinneinä ja helpommin syttyneinä paloina. Trooppisten metsien lisääntyvä palojen todennäköisyys on seurausta ilmaston muutoksesta ja metsien häviämisestä (Hoffmann ym. 2003b). Trooppisen puuston ohut kaarna tekee niistä alttiita metsäpalojen aiheuttamalla kuolleisuudelle. Puuston kuolleisuuden ja latvuston pirstaloitumisen seurauksena laajemmat alueet tulevat alttiiksi nopeammalle kuivumiselle ja tulen leviämiselle. Reuna-alueilla puuston vähentyessä metsät voivat alkaa hiljalleen muuttua savanneiksi tai ruohotasangoiksi. Ihmisten heikon elintason ja metsäpalojen aiheuttama metsien häviäminen toimii noidankehänä myöhemmälle metsien häviämiselle. Karanneet palot saattavat aiheuttaa merkittäviä taloudellisia tappioita tuhoten viljasadon, syventäen köyhyyttä ja johtaen uusien viljelymaiden kaskeamiseen. Tarpeeksi kauan jatkuessaan tuli voi muuttua luonnolliseksi tekijäksi

muokaten koko metsäekosysteemiä yksipuolisemmaksi suosien lajeja, jotka ovat kehittyneet kestävästi palojen esiintymistä.

Nyt tutkimuksen päätavoitteena oli keskittyä laajemmissa kokonaisuuksissa esiintyvien tekijöiden vaikutusta metsäpaloihin. Jatkossa työtä voisi kehittää keskittymällä tarkemmin metsätyyppien sisäisiin olosuhteisiin ja paloainesten ominaisuuksien eroihin. Tällöin yksittäisten lajien ja paikallisten olosuhteiden vaikutusta paloihin pystyisi selvittämään paljon tarkemmin. Nykyisessä tutkimuksessa epävarmuutta aiheuttavat Venäjän sekä trooppisten metsien paloista saatavilla oleva puutteellinen tilastointi. Paremmalla tilastotiedolla metsäpalojen ominaisuuksien vertailu saman ajanjakson ajalta olisi ollut helpompaa näkyvien trendien ja eroavaisuuksien osalta.

6. Johtopäätökset

Tutkimuksen alussa tavoitteeksi asetettiin selvittää metsäpalojen syttymiseen ja leviämiseen vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi pyrittiin etsimään syitä metsäpalojen yleisyyteen boreaalisissa metsissä sekä esimerkkialueilla havaittavien eroavaisuuksien selittämiseen.

Metsäpalojen syttyminen on seurausta, kun jokin ulkoinen tekijä nostaa paloaineksen lämpötilaa niin korkeaksi, että se syttyy palamaan. Syttymisen todennäköisyyttä kasvattaa lisääntynyt hienojakoisen paloaineksen määrä ja selvä kuivan kauden esiintyminen, jonka seurauksena paloaines kuivuu ja sen syttymispiste on matalampi. Leviämisen kannalta tärkeintä ovat vallitsevat sääolosuhteet ja paloaineksen jatkuvuus, jotka tehostavat palon leviämistä. Näiden lisäksi palon leviämistä edistävät paloaineksen laatu, alueen topografia sekä latvuston tiheys. Metsäpalojen esiintymistä voidaan kuvata sen avulla, minkä kerroksen paloainesta ne kuluttavat. Intensiivisimmät palot etenevätkin metsän joka kerroksessa ja siihen vaikuttaa laaja välittäjäaineiden esiintyminen.

Boreaalisissa metsissä esiintyvien palojen yleisyys on seurausta selvän palokauden esiintymisestä sekä hienojakoisen paloaineksen määrästä. Boreaalilla vyöhykkeellä on mantereisen ilmaston seurauksena pitkiäkin kuivia kausia, joita seuraavat epävakaut

olosuhteet aiheuttaen paloaineksen sytyttäviä salamoita. Boreaalisisille havumetsille tyypillistä on metsän pohjan paloaineksen hienojakoisuus, jonka seassa on pääosin neulasista koostuva kärkekerros tehden siitä alttiin paloille. Näiden lisäksi havumetsissä esiintyy välittäjäaineksina toimivia kuolleita puita sekä matalaa oksistoa, joiden avulla palo pystyy leviämään latvustoon. Leviämistä edistää kanssa havupuiden latvuston neulasten hienojakoisuus ja matala kosteusmäärä.

Esimerkkialueille havaittavat eroavaisuudet ovat selitettävissä eroilla metsien rakenteessa sekä alueen ilmastolla. Trooppisissa metsissä tiheä latvusto pitää ilmankosteuden korkeana, lisäksi paikalliseen ilmastoon kuuluu korkea sademäärä, jolloin paloaines pysyy kosteana eikä syty herkästi. Alueella esiintyvien palojen yleisyys onkin yhdistettävissä El Niñon aiheuttamaan kuivuuteen. Metsän rakenteessa hienojakoisten paloainesten vähyys sekä puiden yksikerroksinen rakenne ja välittäjäainesten puuttuminen toimivat palointensiteettiä vähentävänä tekijänä. Näin ollen trooppisissa metsissä palot keskittyvätkin vain alueille, jotka ovat alttiita auringon kuivattavalle vaikutukselle. Metsien häviämisen ja tulenkäytön seurauksena tämä alue on kuitenkin laajenemassa.

Lähteet

- Agee, J. K (1993). *Fire Ecology of Pacific Northwest Forests*. 505s. Island Press, Washington DC.
- Alencar, A., G. P. Asner, D. Knapp, & D. Zarin (2011). Temporal variability of forest fires in eastern Amazonia. *Ecological Applications*, 21, 2397-2412.
- Alencar, A., D. Nepstad & M. C. V. Diaz (2006). Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO years: area burned and committed carbon emissions. *Earth Interactions*, 10, 1-17.
- Bond, W. J & J. E. Keeley (2005). Fire as a global ‘herbivore’: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in ecology & evolution*, 20, 387-394.
- Cochrane, M. A. (2003). Fire science for rainforests. *Nature*, 421, 913-919.
- Cochrane, M. A. & W. F. Laurance (2002). Fire as a large-scale edge effect in Amazonian forests. *Journal of Tropical Ecology*, 18, 311-325.
- Cochrane, M. A., A. Alencar, M. D. Schulze, C. M. Souza, D. C. Nepstad, P. Lefebvre & E. A. Davidson (1999). Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. *Science*, 284, 1832-1835.
- Da Silveira Lobo Sternberg, L (2001). Savanna–forest hysteresis in the tropics. *Global Ecology and Biogeography*, 10, 369-378.
- de Groot, W. J., A. S. Cantin, M. D. Flannigan, A.J. Soja, L.M. Gowman & A. Newbery (2013). A comparison of Canadian and Russian boreal forest fire regimes. *Forest Ecology and Management*, 294, 23-34.
- Goldammer, J. G., & V. Furyaev (2013). *Fire in ecosystems of boreal Eurasia*. 530s. Springer Science & Business Media.
- Goldammer J. G., A. Sukhinin & E. P. Davidenko (2007). Advance Publication of Wildland Fire Statistics for Russia 1992-2007. *International Forest Fire News (IFFN)*, 37.
- Hoffmann, W. A., B. Orthen & P. K. V. D. Nascimento (2003a). Comparative fire ecology of tropical savanna and forest trees. *Functional Ecology*, 17, 720-726.
- Hoffmann, W. A., W. Schroeder & R. B. Jackson (2003b). Regional feedbacks among fire, climate, and tropical deforestation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108:D23.
- Johnson, E. A (1992). *Fire and vegetation dynamics: Studies from the North American boreal forest*. 125s. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lindberg, H., T. V. Heikkilä & I. Vanha-Majamaa (2011). Suomen metsien paloainekset – kohti parempaa tulen hallintaa, 104s. Vammalan Kirjapaino OY, Vantaa.

- Nepstad, D. C., A. A. Alencar & A. G. Moreira (1999). Flames in the rain forest: origins, impacts and alternatives to Amazonian fire. 190s. Rain Forest Unit, The World Bank.
- Niklasson, M & A, Granström (2000). Numbers and sizes of fires: Long-term spatially explicit fire history in a Swedish boreal landscape. *Ecology*, 81, 1484-1499.
- Pechony, O & D.T. Shindell (2010) Driving forces of global wildfires over the past millennium and the forthcoming century. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, 19167-19170.
- Stocks, B. J., B. M. Wotton, M. D. Flannigan, M. A. Fosberg, D. R. Cahoon, & J. G. Goldammer (2001). Boreal forest fire regimes and climate change. *Remote Sensing and Climate Modeling: Synergies and Limitations*, 7, 233-246.
- Stocks B. J. (2004). Forest Fires in the Boreal Zone: Climate Change and Carbon Implications. *International Forest Fire News (IFFN)*, 31, 122-131.
- Wagner, C. V. (1977). Conditions for the start and spread of crown fire. *Canadian Journal of Forest Research*, 7, 23-34.
- Wooster, M. J., & Y. H. Zhang (2004). Boreal forest fires burn less intensely in Russia than in North America. *Geophysical Research Letters*, 31:20.
- Forest fires – background (2011). National Forestry Database
<http://nfdp.ccfm.org/fires/background_e.php>. 1.11.2016