

Häiriödynamiikkamalli talousmetsien käsittelyssä - Nykyinen tietämys ja soveltaminen Suomen oloihin

Tutkimuksen yhteenvetoraportti 17.1.2012

Timo Kuuluvainen, metsätieteiden laitos, Helsingin yliopisto

Sisällys:

1. Luonnonprosessit metsänhoidon inspiraation lähteenä
2. Tutkimuksen tavoite
3. Tutkimusmenetelmät ja -aineisto
4. Tulosten yhteenveto
 - 4.1. Osatutkimus I: Tutkimuskirjallisuuteen perustuva yhteenveto luonnonmetsien rakenteesta ja dynamiikasta boreaalisen Fennoskandian alueella
 - 4.2. Osatutkimus II: Eri-ikäisen ja tasaikäisen metsän kasvatuksen ekologisia ja taloudellisia vaikutuksia vertailevan tutkimuksen yhteenveto Fennoskandian alueella
 - 4.3. Osatutkimus III: Häiriödynamiikkamallia ja sen soveltamista koskeva teoria ja tutkimustiedon yhteenveto koko boreaalisella vyöhykkeellä
 - 4.3.1. Häiriödynamiikkamalliin liittyvät teoriat ja strategiset mallit
 - 4.3.2. Tutkimuskirjallisuus
 - 4.3.3. Tasaikäisen ja häiriödynamiikkamalliin perustuvan metsänkasvatuksen vertailu
5. Häiriödynamiikkamallin soveltuvuudesta Suomen oloihin: yhteenvetoa ja pohdintaa
 - 5.1. Ekologiset vaikutukset
 - 5.2. Taloudelliset vaikutukset
 - 5.3. Sosiaaliset vaikutukset
 - 5.4. Soveltamisen haasteita
 - 5.5. Toteutuksen ja tutkimuksen haasteita

Liitteet:

Osatutkimus I: Kuuluvainen, T. & Aakala, T. 2011. Natural forest dynamics in boreal Fennoscandia: a review and classification. *Silva Fennica* 45(5): 823–841.

Osatutkimus II: Kuuluvainen, T., Tahvonen, O. & Aakala, T. 2012. Review of research comparing even-aged and uneven-aged forest management in boreal Fennoscandia. Käsikirjoitus tarkastettavana.

Osatutkimus III: Kuuluvainen, T. & Grenfell, R. 2012. Natural disturbance emulation in boreal forest management – theories, strategies and a comparison with conventional even-aged management. *Canadian Journal of Forest Research*, hyväksytty julkaistavaksi korjauksen jälkeen.

1. Luonnonprosessit metsänhoidon inspiraation lähteenä

Metsien hoidolle asetetut tavoitteet ovat nopeasti monipuolistuneet ja vaativat usein alueellista näkökulmaa. Puuntuotannollisten ja taloudellisten tavoitteiden rinnalla painottuvat nykyisin monimuotoisuuden suojeleminen ja virkistyskäyttö. Uudet tavoitteet ja niiden yhdistelmät vaativat sekä metsikkö- että aluetason metsänkäsittelyn kehittämistä. Metsäsuunnittelun ongelmaksi voi kuitenkin muodostua toimia ohjaavan viitekehyksen puuttuminen. Metsän luontaisesta häiriödynamikasta inspiraationsa hakeva metsänkäsittely, lyhyemmin *häiriödynamikkamalli*, pyrkii tarjoamaan tällaisen kokonaisvaltaisen lähestymistavan ja viitekehyksen metsänhoitoon. Tavoitteena on metsien hyödyntämisen ekologinen kestävyys. Tähän pyritään sopeuttamalla hakkuiden aiheuttamat häiriöt metsän luontaisen häiriödynamikan peruspiirteisiin. Näin pyritään palauttamaan ja ylläpitämään metsän luontaisia rakennepiirteitä, elinympäristöjä, lajistoa ja keskeisiä ekologisia prosesseja (Bergeron ym. 2002, Kuuluvainen 2002, 2009).

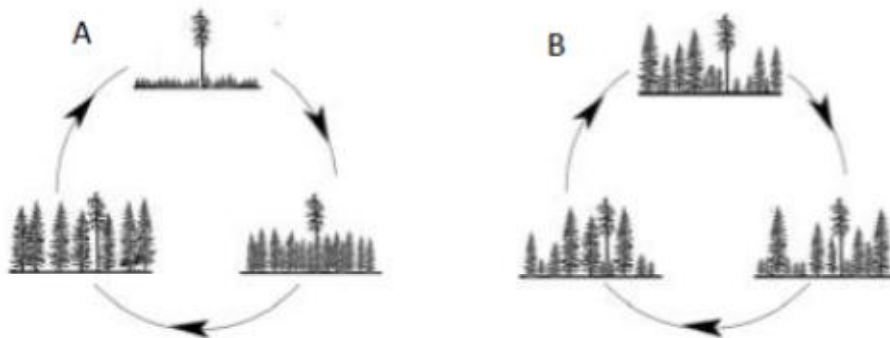
Metsän häiriödynamikalla tarkoitetaan niiden häiriötekijöiden yhteisvaikutusta, jotka aika ajoin tappavat puustoa eri tilamittakaavoissa. Häiriöt pitävät yllä metsän uudistumista sekä lajistollista monimuotoisuutta luomalla uusia elinympäristöjä sekä vapauttamalla kasvutilaa ja -resursseja (Angelstam 1998). Pinta-alaltaan merkittäviä luontaisia häiriötekijöitä ovat metsäpalot ja myrskytuhot, jotka saattavat tappaa valtaosan puustosta joskus jopa tuhansien hehtaarien alalta (Kuuluvainen 2002). Suomessa luonnonmetsien häiriöt ovat kuitenkin tyypillisesti osittaisia ja/tai pienialaisia (Kuuluvainen ja Aakala 2011). Näihin luetaan esimerkiksi pintakulot, osittaiset tuulenkaadot ja niin kutsuttu pienaukkodynamikka. Pienaukkodynamikka on seurausta hyönteisistä tai patogeenisistä, jotka tappavat yksittäisiä puita tai pieniä puuryhmiä.

Suomen metsätaloudessa avohakkuut ovat jo vuosikymmenien ajan korvanneet metsien luontaiset häiriöt. Esimerkiksi metsäpalot on pystytty metsistämme lähes täysin eliminoimaan. Metsätalous perustuu puuston kasvattamiseen tasaikäisinä metsikköinä, jolloin koko metsikön puusto korjataan kerralla avohakkuulla. Metsikkötalouteen perustuvassa metsätaloudessa metsien rakenteellinen vaihtelu toteutuu maisematasolla erikikäisten metsiköiden muodostamana metsämosaiikkina. Luonnonmetsätutkimuksen valossa on käynyt selväksi, että tällainen metsärakenne eroaa ratkaisevasti siitä, minkälainen metsien rakenne olisi luontaisesti (*Osatutkimus I*, Angelstam & Kuuluvainen 2004, Kuuluvainen 2009). Tasarakenteisessa metsässä puusto on usein yhden puulajin vallitsemaa, tasakokoista

ja -ikäistä, kun taas luonnonmetsille on tyypillistä jatkuvapeitteisyys ja erirakenteisuus, jolloin metsikössä esiintyy useita puulajeja sekä niiden ikä- ja kokoluokkia (ks. Luku 4.1, Keto-Tokoi & Kuuluvainen 2010, Kuuluvainen ja Aakala 2011).

Avohakkuiden ekologiset vaikutukset metsien puusto- ja ikärakenteeseen ovat olleet huomattavia ja ovat johtaneet satojen eliölajien kantojen vähenemiseen ja jopa lajien paikallisiin häviöihin (Rassi ym. 2010). Näiden kielteisten vaikutusten lieventämiseksi metsänhoidon suosituksia ja hoitokäytäntöjä on monipuolistettu 1990-luvulta lähtien. Hakkuissa esimerkiksi säästetään eläviä puita, jätetään arvokkaat, yleensä pienialaiset elinympäristöt hakkaamatta, säästetään suoja- ja reunavyöhykkeitä, ja vältetään tarpeetonta alikasvoksen raivausta (Similä & Junninen 2011).

Tarve ottaa entistä paremmin huomioon monimuotoisuus-, maisema- ja virkistysarvot on johtamassa metsänhoidon suosituksien ja menetelmien monipuolistumiseen (Valkonen ym. 2010, Metsänkäsittelymenetelmien ...2011). Metsikkötalouden perinteiset hakkuumenetelmät ovat saamassa seurakseen eri-ikäisen metsän kasvatuksen menetelmiä, joilla pyritään metsikön puuston rakenteelliseen vaihteluun ja ylläpitämään uudistamiseen tähtäävissä hakkuissa metsän peitteisyyttä (Kuva 1, Valkonen ym. 2010). Näiden menetelmien toivotaan aiempaa paremmin huomioivan metsän muut kuin puuntuotannolliset arvot.



Kuva 1. Havainnollinen esitys tasaikäisen metsän (A) ja eri-ikäisen metsän (B) kasvatuksen eroista. Metsikön tasolla tasaikäisen metsän kasvatusta käsittää selkeän syklin, jossa puusadon korjuu avohakkuulla, uudistaminen ja kasvatusta vuorottelevat. Suomessa avohakkuualalle jätetään tyypillisesti 5-10 säästöpuuta. Eri-ikäisen metsän kasvatuksessa samat vaiheet toteutuvat pienessä mittakaavassa ja puuston korjuu tapahtuu joko yksinpuin tai puuryhmittäin. Myös eri-ikäisen metsän kasvatuksessa on syytä jättää pysyviä säästöpuuta jotta lahopuun saatavuus eliöstölle turvataan (Kuva: Tuomas Aakala).

Erityisesti monimuotoisuuden turvaamiseen tähtäävässä metsien käsittelyssä on tärkeää miettiä, minkälaiseen aluetason metsärakenteeseen olisi pyrittävä. Muuten on vaarana että erirakenteisen metsän alueellinen kokonaisuus on yksipuolinen eikä parhaalla tavalla tue monimuotoisuuden säilymistä. Tämä pyritään välttämään metsien luontaiseen häiriödynamiikkaan ja sen vaihteluun perustuvassa metsänkäsittelyssä. Hypoteesina on että tällaisella luontaiseen häiriödynamiikkaan perustuvalla metsänkäsittelyllä on mahdollista säilyttää ekosysteemin rakenteen, prosessien ja lajiston keskeiset luontaisen piirteet myös talousmetsissä.

2. Tutkimuksen tavoite

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli (1) koota yhteen ja analysoida häiriödynamiikkamallista ja siihen liittyvästä metsien luontaisen häiriödynamiikan ja metsänhoitomenetelmien tutkimuksesta kertynyt tutkimustieto sekä (2) arvioida mallin soveltamisen edellytyksiä ja mahdollisuuksia Suomessa. Tutkimuksen voi katsoa luovan taustaa ja liittyvän vuonna 2009 käynnistettyyn pitkäkestoiseen käytännön metsänhoidon kehitys- ja tutkimushankkeeseen *Metsien luontaiseen häiriödynamiikkaan perustuvat metsänkäsittelymallit*, jossa aloitteen tekijänä on Metsähallitus ja koordinaattorina Metla (<http://www.metla.fi/hanke/3524/>).

3. Tutkimusmenetelmät ja -aineisto

Tässä tieteelliseen kirjallisuuteen perustuvassa tutkimuksessa on koottu ja syntetisoitu tutkimustietoa metsän luontaiseen häiriödynamiikkaan perustuvasta metsänkäsittelystä boreaalisella vyöhykkeellä ja siihen liittyvästä metsien luontaisen häiriödynamiikan ja metsänhoitomenetelmien tutkimuksesta boreaalisen Fennoskandian alueella. Tutkimus on perustunut tutkimuskirjallisuuden systemaattiseen valintaan, analyysiin ja synteisiin.

Tutkimusaineistoksi kelpuutettiin pääosin vain vertaisarvioituissa tieteellisissä julkaisuissa ilmestyneistä tutkimuksista. Tämä katsottiin tarpeelliseksi tutkimusten laadun varmistamiseksi. Tutkimuksia haettiin kansainvälisistä tutkimustietokannoista käyttäen valittuja hakusanoja ja niiden yhdistelmiä (nk. systematic review -periaate, Pullin & Stewart 2006). Näin pyritään välttämään tutkimusten valikointiin liittyvää subjektiivisuutta: kuka tahansa voi toistaa samat kirjallisuushaut ja katsoa päätykö samoihin tutkimuksiin ja johtopäätöksiin. Kirjallisuushakujen kautta valikoituneet tutkimukset käytiin läpi yksi kerrallaan ja valittiin jatkoanalyysiin ne tutkimukset, jotka oleellisilta osin käsittelevät kyseessä olevaa aihepiiriä. Tavoitteena oli näin koota tutkittavan aiheen kannalta keskeinen

tutkimuskirjallisuus, ei kaikkea aiheeseen liittyvää tutkimuskirjallisuutta. Tämän lisäksi vanhempia aihepiirin keskeisiä tutkimuksia, joita ei löydy tietokannoista, on kartoitettu käyttäen asiantuntijatietoa.

Kirjallisuustutkimus koostuu kolmesta aihekokonaisuudesta, jotka liittyvät läheisesti toisiinsa ja yhdessä antavat kokonaiskuvan häiriödynamiikkamallin soveltamisen mahdollisuuksista erityisesti ajatellen Suomen olosuhteita. Nämä tutkimuksen osakokonaisuudet ovat: (1) Tutkimuskirjallisuuteen perustuva yhteenveto luonnonmetsien rakenteesta ja dynamiikasta boreaalisen Fennoskandian alueella (*Osatutkimus I*), (2) Eri-ikäisen ja tasaikäisen metsän kasvatuksen ekologistia ja taloudellisia vaikutuksia vertailevan tutkimuksen yhteenveto (*Osatutkimus II*) ja (3) Häiriödynamiikkamallia ja sen soveltamista koskeva tutkimustiedon yhteenveto koko boreaalisella metsävyöhykkeellä (*Osatutkimus III*). Kustakin osakokonaisuudesta on laadittu tutkimuskäsikirjoitus, johon tässä raportissa viitataan sen roomalaisella numerolla (I-III).

4. Tulosten yhteenveto

4.1. *Osatutkimus I: Tutkimuskirjallisuuteen perustuva yhteenveto luonnonmetsien rakenteesta ja dynamiikasta boreaalisen Fennoskandian alueella* (Kuuluvainen, T. & Aakala, T. 2011, *Silva Fennica* 45(5): 823–841.

Häiriödynamiikkamallin soveltamisen edellytyksenä on ymmärrys metsän luontaisen rakenteen ja kehityksen peruspiirteistä sekä niiden ekologisista vaikutuksista.

Luonnonmetsätutkimuksen haasteina ovat luonnonmetsien vähäisyys, etenkin Fennoskandian eteläosissa, ja ihmisen välillisen vaikutuksen lisääntyminen talouskäytön ulkopuolellakin olevissa metsissä. Fennoskandian luonnonmetsien rakennetta ja dynamiikkaa koskeva tutkimustieto on kuitenkin lisääntynyt eksponentiaalisesti viime vuosina, siten että valtaosa tiedosta on tuotettu viimeisten 10-15 vuoden aikana.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli koota yhteen ja analysoida Fennoskandian luonnonmetsien dynamiikasta kertynyt tutkimustieto. Luonnonmetsä määriteltiin metsäksi, jossa ihmisen vaikutus on niin vähäistä, että ekosysteemin rakenteen ja dynamiikan peruspiirteiden voitiin olettaa säilyneen. Teimme tutkimuskirjallisuuden systemaattisen haun käyttäen hakutermejä, jotka kuvasivat tutkimuksen maantieteellistä sijoittumista (boreaalinen

Fennoskandia), metsän rakennetta ja dynamiikkaa sekä luonnontilaisuutta. Lisäksi asiantuntija-arvion perusteella otettiin mukaan joitakin vanhempia tutkimuksia, joita ei löytynyt kirjallisuustietokannoista.

Lopulliseksi aineistoksi ja tarkempaan analyysiin valikoitui 43 tutkimusta, jotka jakautuivat melko tasaisesti koko Fennoskandian alueelle. Tutkimuksissa kuvatut luonnonmetsät luokiteltiin neljään ryhmään, sen perusteella minkälainen vallitseva dynamiikka niissä oli havaittu tai kuvattu. Ryhmät joihin tutkimusten metsädynamiikka luokiteltiin olivat: (1) Tasaikäisen metsän kehitys, joka liittyy voimakkaisiin häiriöihin, (2) Kohorttidynamiikka, joka liittyy osittaishäiriöihin, (3) Laikkudynamiikka jossa häiriöala on keskimääräinen (200 m² - 1 ha), ja (4) Pienaukkodynamiikka, joka liittyy puiden tai puuryhmien kuolemiseen ja jossa häiriöala on pieni (<200 m²).

Läpikäydyissä tutkimuksissa raportoitiin kaikkia neljää metsädynamiikkatyyppiä sekä mänty että kuusivaltaisissa metsissä. Luonnonmetsän dynamiikkatyypeistä oli aineistossa dokumentoitu useimmin pienaukkodynamiikka, toiseksi useimmin kohorttidynamiikka. Dynamiikkatyyppien yleisyys kuitenkin vaihteli pääpuulajin mukaan. Pienaukkodynamiikka oli dokumentoitu useimmin kuusivaltaisissa metsissä, kohorttidynamiikka taas useimmin mäntyvaltaisissa metsissä. Selvästi näitä harvemmin dokumentoitu metsän kehityksen tyyppi oli voimakkaisiin kaikki puut tappaviin häiriöihin liittyvä tasaikäisen metsän kehitys, sekä laajemmassa että laikku-mittakaavassa.

Tutkimuskirjallisuuden ja edellä esitetyn luokittelun perusteella ei voida tehdä suoria johtopäätöksiä eri dynamiikkatyyppien suhteellista osuuksista boreaalisen Fennoskandian luonnonmetsissä. Joitain johtopäätöksiä voidaan kuitenkin tehdä. Mielenkiintoinen havainto on se että voimakkaisiin kaikki puut tappaviin häiriöihin liittyvä tasaikäisen metsän kehitys on luonnonmetsien tutkimuksissa dokumentoitu vain harvoin. Tämä, yhdessä simulointimalleilla saatujen tulosten kanssa (Pennanen 2002), viittaa siihen että pienialaiset tai osittaiset häiriöt ovat voimakkaita laaja-alaisia häiriöitä tärkeämpi luonnonmetsän rakennetta ja ekologiaa muokkaava voima. Tällaisen dynamiikan seurauksena kehittyvä metsä on rakenteellisesti monimuotoinen ja sille on tyypillistä jatkuva joskin eriasteinen peitteellisyys. Tämä johtopäätös metsän luontaisesta rakenteesta on tärkeä kun mietitään, miten metsätalouden harjoittamisen ohella voidaan soveltaa ekosysteemilähestymistapaa ja säilyttää ekosysteemin keskeiset luontaiset ominaisuudet ja monimuotoisuus.

Luonnonmetsien rakenteesta ja dynamiikasta kertynyt tutkimustieto viittaa siihen, että

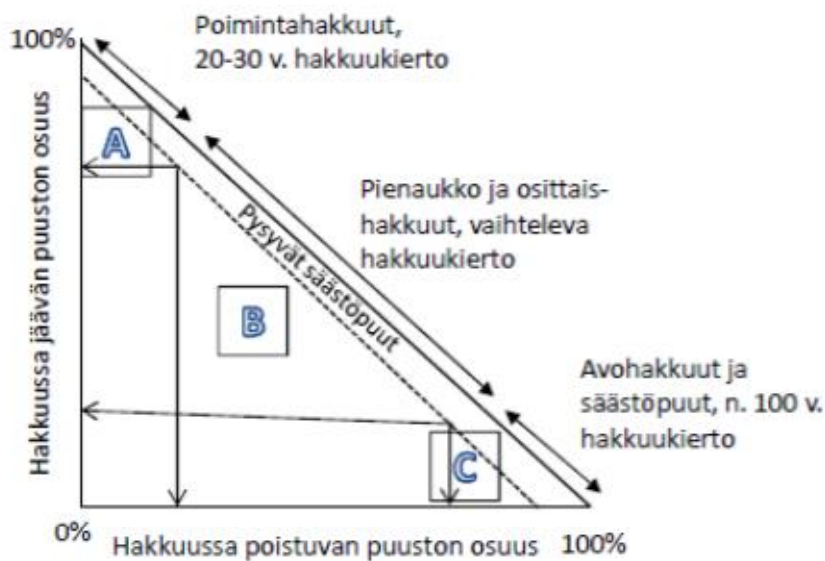
avohakkuukäytännön rinnalla olisi syytä ottaa käyttöön hakkuutapoja, jotka paremmin vastaavat metsän luontaista rakennetta ja dynamiikkaa.

4.2. *Osatutkimus II: Eri-ikäisen ja tasaikäisen metsän kasvatuksen ekologisia ja taloudellisia vaikutuksia vertailevan tutkimuksen yhteenveto (Kuuluvainen, T., Tahvonen, O. & Aakala, T. 2012. Käsikirjoitus tarkastettavana).*

Koko sotien jälkeisen ajan metsätalous Fennoskandian alueella on perustunut tasaikäisen metsän kasvatukseen ja metsiköittäin tapahtuvaan metsän uudistamiseen avohakkuin. Näin menetellen metsätalouden suunnittelu ja metsien hyödyntäminen on voitu järjestää tehokkaasti. Samalla menetelmä on kuitenkin synnyttänyt kiistattomia haittavaikutuksia. Näistä parhaiten dokumentoituja ovat metsäisten lajien ja luontotyyppien uhanalaistuminen (Raunio ym. 2008, Rassi ym. 2010). Nämä haittavaikutukset liittyvät oleellisesti siihen, että käytettyjen puunkorjuumenetelmien vaikutukset metsän rakenteisiin eroavat ratkaisevasti metsän luontaisesta rakenne- ja kehitysdynamiikasta (ks. *Osatutkimus I*). Vaihtoehtona tasaikäisiin puustoihin, metsikkömetsätalouteen ja avohakkuisiin perustuvalla metsätaloudelle on esitetty metsän kasvattamista eri-ikäisenä (Kuvat 1 ja 2). Ehkä hieman yllättäen perusteluna on käytetty myös eri-ikäisen metsän kasvatuksen taloudellista tehokkuutta.

Tutkimuksen tavoitteena oli kerätä yhteen ja analysoida Fennoskandian aluetta koskeva tutkimustieto, jossa verrataan eri-ikäisen ja tasaikäisen metsän kasvatuksen ekologisia, taloudellisia ja sosiaalisia vaikutuksia. Tätä varten teimme tutkimuskirjallisuuden systemaattisen haun, joka kohdistui referoituihin tieteellisiin sarjoihin.. Lopulta otokseen valikoitui 12 ekologiaan ja 14 puun tuotokseen ja talouteen keskittyntä tutkimusta. Emme löytäneet yhtään tutkimusta, jossa olisi vertailtu eri-ikäisen ja tasaikäisen metsän kasvatuksen sosiaalisia vaikutuksia. Näin ollen sosiaalisten vaikutusten arviointi jäi tutkimuksesta pois.

Yleisen käsityksen mukaan eri-ikäisen metsän kasvatuksen esteenä on menetelmän huono taloudellinen kannattavuus. Analysoidut tutkimukset eivät kuitenkaan suoraviivaisesti tukeneet tällaista johtopäätöstä ja useiden viimeaikaisten, menetelmiltään kehittyneimpien tutkimusten mukaan puustoltaan eri-ikäisen metsän kasvatusta voi olla taloudelliselta tulokseltaan täysin vertailukelpoinen tasaikäisen metsän kasvatuksen kanssa.



Kuva 2. Periaatteellinen esitys erilaisten hakkuumenetelmien ominaisuuksista, kun tarkastellaan yhdessä uudistamiseen liittyvällä hakkuukerralla korjattavaa ja jäävää puustoa. Merkillepantava on että konventionaaliset tasaikäisen metsän (C) ja eri-ikäisen metsän (A) hakkuut edustavat vain osaa mahdollisista hakkuuvoimakkuuksista ja tavoista. Näiden kahden ääripään väliin jää suuri määrä metsärakenteita (B), joita on hakkuissa mahdollista tuottaa ja jotka ainakin jossain määrin säilyttävät metsän peitteellisyyden. Eri-ikäisen metsän kasvatus voi siten käsittää laajan kirjon erilaisia hakkuutapoja (A+B), joilla voidaan toteuttaa erilaisia metsille asetettuja tavoitteita esimerkiksi ekosysteemipalvelujen tuottamisen suhteen. Säästöpuiden jättäminen on tärkeää hakkuumenetelmästä riippumatta.

Ekologisiin vaikutuksiin keskittyneet tutkimukset osoittivat että eri-ikäisen metsän kasvatus pitää tasaikäistä metsää paremmin yllä varttuneen metsän rakenteita ja lajistoa, ainakin lyhyellä aikajänteellä. Nämä tulokset ovat merkityksellisiä kun ajatellaan eri-ikäisen metsän kasvatuksen mahdollisuuksia tuottaa ja ylläpitää luonnonmetsille tyypillistä pienipiirteistä ja jatkuvapeitteistä metsädynamiikkaa osana häiriödynamiikkamallin soveltamista.

Kaikkiaan tähänastiset tutkimustulokset viittaavat siihen, että eri-ikäisen metsän kasvatus voi toimia osana metsän luontaiseen häiriödynamiikkaan perustuvaa metsänkasvatusta, ilman että metsänkasvatuksen taloudellisesta tuloksesta tarvitsisi tinkiä, kun tilannetta verrataan nykyisin vallitsevaan tasaikäisen metsän kasvatukseen. Samalla on kuitenkin todettava, että vaikka eri-ikäisen ja tasaikäisen metsän kasvatusta käsittelevä vertaileva tutkimus on lisääntynyt viime vuosina, tunnetaan näiden kahden metsänkasvatusten menetelmien taloudelliset, ekologiset ja etenkin sosiaaliset vaikutukset edelleen varsin puutteellisesti. On

selvää että eri-ikäisen metsän kasvatusta tulisi edelleen kehittää monipuolisemmaksi menetelmäpaletiksi, jota voitaisiin käyttää osana häiriödynamiikkamalliin pohjautuvaa metsänkäsittelyä (Kuva 2).

4.3. Osatutkimus III: Häiriödynamiikkamallia ja sen soveltamista koskeva teoria ja tutkimustiedon yhteenveto koko borealisella metsävyöhykkeellä (Kuuluvainen, T. & Grenfell, R. 2012. *Canadian Journal of Forest Research*, hyväksytty julkaistavaksi korjausten jälkeen).

Metsän luontaisia häiriöitä emuloivia hakkuutapoja, lyhyemmin *häiriödynamiikkamallia*, on ehdotettu kokonaisvaltaisena ratkaisuna ekologisesti kestävän metsätalouden harjoittamiselle. Tässä osatutkimuksessa tarkasteltiin häiriödynamiikkamalliin liittyviä teorioita ja toteutukseen ehdotettuja strategioita. Lisäksi haettiin relevantteja tutkimuksia kansainvälisistä tutkimustietokannoista käyttäen valittuja hakusanoja ja niiden yhdistelmiä (nk. systematic review -periaate, Pullin & Stewart 2006). Tähtäimessä olivat erityisesti tutkimukset, joissa on vertailtu perinteisen tasaikäisen metsänkasvatuksen ja häiriödynamiikkamallin mukaisen metsänkasvatuksen taloudellisia, ekologisia ja sosiaalisia vaikutuksia pohjoisella havumetsävyöhykkeellä. Tällaisia tutkimuksia löytyi yhteensä 31.

4.3.1. Häiriödynamiikkamalliin liittyvät teoriat ja strategiset mallit

Häiriödynamiikkamalliin liittyvistä teoreettisista viitekehysistä tarkasteltiin tutkimuksessa (1) karkean ja hienon seulan metaforaa (*coarse and fine filter*, Hunter ym. 1988), (2) keskimääräisten häiriöiden hypoteesia (*intermediate disturbance hypothesis*, Connell 1978) ja (3) ekosysteemin luontaisen vaihtelun käsitettä (*natural range of variability*, Landres ym. 1999). Tarkastelun yleisenä johtopäätöksenä oli että häiriödynamiikkamallia koskevissa tutkimuksissa ekologinen teoria oli vain harvoin otettu lähtökohdaksi tai edes mainittu.

Ekologiset teoriat voivat tarjota yleisen viitekehysten häiriödynamiikkamallia koskevalle tutkimukselle, mutta ne eivät kerro kuinka mallia voi soveltaa käytäntöön. Tähän tarvitaan strategisia malleja, joiden avulla teoreettista viitekehystä voidaan soveltaa käytäntöön.

Häiriödynamiikkamallin soveltamisen strategisina malleina käsiteltiin (a) käytävä-avainbiotooppi -mallia, (b) ASIO-mallia ja (c) monikohortti-mallia.

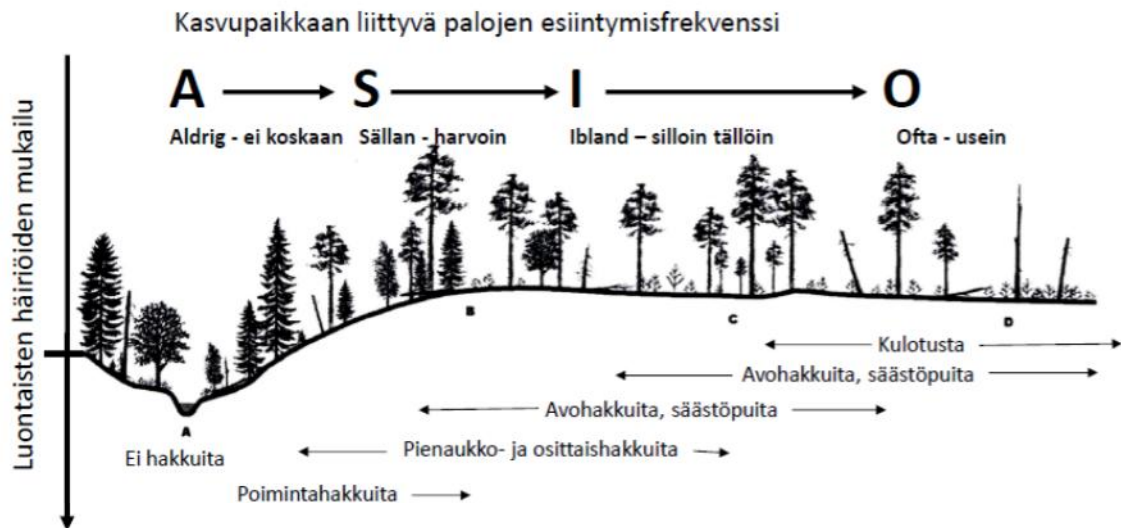
(a). Käytävä-avainbiotooppi -mallin lähtökohtana on, että talousmetsämaisema koostuu kolmenlaisista laikuista. Näitä ovat: (1) lajiston elinympäristöinä tärkeät avainbiotoopit, (2) käytävät ja askelkivet, jotka mahdollistavat eliöiden liikkumisen avainbiotooppien välillä,

sekä (3) muu metsäalue, jonka ei yleensä katsota tarjoavan suotuisia elinympäristöjä varsinkaan vaateliaalle lajistolle. Käytävä-avainbiotooppi -mallia, joka perustuu klassiseen saarimaantieteen teoriaan, on laajalti käytetty metsien aluesuunnittelun taustamallina sekä Suomessa (Metsähallituksen alue-ekologinen suunnittelu) ja Ruotsissa (metsäyhtiöt). Mallin voidaan katsoa edustavan häiriöiden emulointia siinä mielessä, että hakkuiden ulkopuolelle jätettävät avainbiotoopit ja käytävät ovat usein kosteita luontotyyppisiä (esim. viljavat, rannoilla ja virtaavan veden lähellä sijaitsevat metsät), jotka luontaisestikin häiriintyvät harvoin. Sen sijaan normaalia metsätaloutta harjoitetaan karummilla metsätyypeillä, joiden voidaan luontaisestikin olevan alttiimpina häiriöille.

(b). ASIO-malli kehitettiin Ruotsissa 1990-luvulla (Kuva 3; Rülcker et al. 1994, Angelstam 1998). Lähtöoletuksena on, että borealisissa metsissä erilaiset häiriöt, ja niistä erityisesti tuli, on keskeinen metsän rakennetta ja eliöstöä muokkaava tekijä. Taustan mallille loi erityisesti Pohjois-Ruotsissa tehty metsäpalotutkimus (Zackrisson 1977), jonka mukaan metsäpalojen 'luontainen' esiintyminen on sidoksissa kasvupaikkojen kosteus ja viljavuusgradienttiin. Palot ovat harvinaisimpia kosteilla kasvupaikoilla ja yleisimpiä kuivimmilla ja karuimmilla kasvupaikoilla (Kuva 3). ASIO-mallissa kasvupaikkojen kosteus- ja viljavuusgradientti jaetaan neljään luokkaan, joissa palofrekvenssien oletetaan vaihtelevan: (1) Aldrig -luokka, jossa paloja esiintyy luontaisesti erittäin harvoin tai ei ollenkaan. Tähän luokkaan kuuluu lehtoja, ranta- ja soistuneita metsiä, joissa tapahtuu penialaista puuston kuolemista ja joissa on paljon lahoppuuta. (2) Sällan -luokka, jossa metsäpaloja esiintyy harvakseltaan ja johon kuuluu pääasiassa lehtomaisia ja tuoreen kankaan metsiä. (3) Ibland -luokka, jossa metsäpaloja esiintyy silloin tällöin. Tällaiset metsät ovat mustikka- ja puolukka-tyypin metsiä. (4) Ofta -luokka, jotka ovat kuivimpia puolukka- ja jäkälätyypin metsiä, ja joissa palojen voidaan olettaa olevan luontaisesti kaikkein yleisimpiä.

ASIO-mallin logiikka on suoraviivainen ja helppo ymmärtää. Sen sijaan se miten mallia sovelletaan, riippuu monesta tekijästä. Jotta mallin perusidea toteutuisi, tarvitaan tietoa metsäpalojen ja muiden häiriöiden luontainen esiintymistiheydestä ja niiden vaikutuksesta metsän rakenteeseen eri kasvupaikkatyypeillä. Tältä osin tutkimus on osittain muuttanut aiemmin vallinneita käsityksiä (ks. Luku 4.1). Tämän tiedon perusteella voidaan käyttää erilaisia metsänhoidon menetelmiä haluttujen luontaisen kaltaisten metsikkörakenteiden luomiseen (Kuva 3). Käytäntöön ASIO-mallia on sovellettu sekä Ruotsissa (metsäyhtiöt) että Suomessa (Metsähallituksen alue-ekologinen suunnittelu). Tällöin ASIO-mallia on kuitenkin usein käytetty enemmän teoreettisena taustana ja viitekehystenä, kuin konkreettisesti pyritty

emuloimaan hakkuissa metsäpalojen ja muiden häiriöiden luomia metsärakenteita. ASIO-malli tarjoaa kuitenkin varteenotettavan strategian häiriödynamiikkamallin käytäntöön soveltamiselle ja kehittämiseksi.

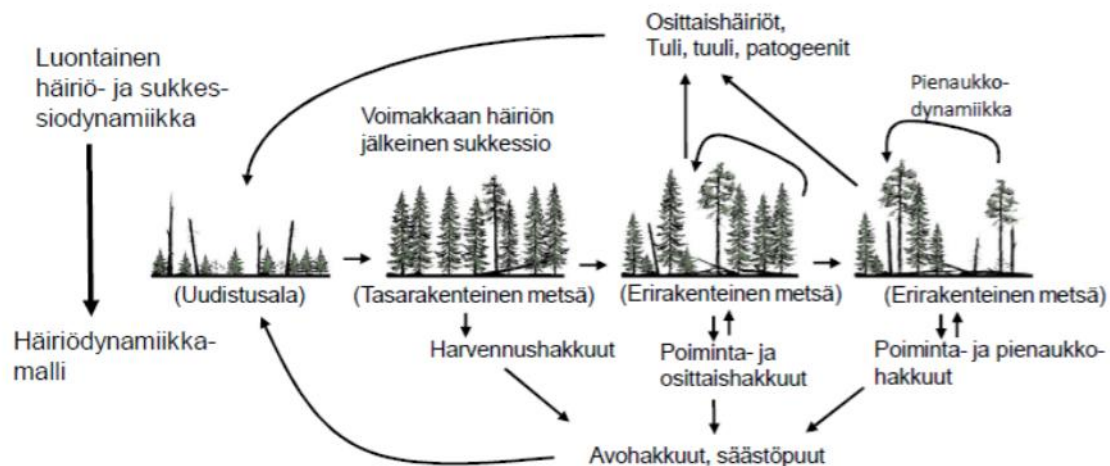


Kuva 3. Havainnollinen esitys ASIO-mallin periaatteesta. Lähtökohtana on oletus, että eri kasvupaikoilla palojen luontainen esiintymistiheys lisääntyy kosteista ja viljavista kasvupaikoista kuiviin ja karuihin kasvupaikkoihin päin mentäessä. Erilaisia hakkuumenetelmiä käytetään siten että niiden vaikutukset metsän rakenteeseen vastaavat oletettuja häiriöiden ja erityisesti metsäpalojen metsän rakenteita muokkaavaa vaikutusta (Piirros: Janne Karsisto).

(c). **Monikohorttimalli** on ensimmäisenä esitelty Quebecissä, itäisessä Kanadassa. Malli perustuu alueella tehtyyn metsien palo- ja kehitysdynamiikkaa koskevaan tutkimukseen (Kuva 4, Bergeron ym. 1999, Bergeron et al. 2002). Toisin kuin ASIO-mallissa, jossa palofrekvenssiä kuvataan metsikkökohtaisesti, monikohorttimallissa lähtökohtana on luontaisten metsäpalojen esiintyminen maiseman tasolla ja näin syntyvä metsämaiseman rakenne. Metsän rakenne kuvataan palon jälkeisessä sukcessiossa kehittyvinä rakennekohortteina ja niiden suhteellisina osuuksina. Metsän rakennekohortit edustavat metsän kehityksen vaiheita juuri metsäpalon jälkeen uudistuneesta metsästä pitkään ilman ulkoisia häiriöitä kehittyneeseen vanhaan metsään (kuva 4).

Metsäpalojen luontaisen (historiallisen) esiintymisen ja puustovaikutusten perusteella voidaan määrittää mitkä olisivat eri rakennekohorttien luontaiset esiintymissuhteet tietyllä alueella. Metsän käsittelyssä rakennekohorttien ominaisuuksia ja kohorttien suhteellisia luontaisia osuuksia pyritään pitämään yllä soveltaen erilaisia hakkuumenetelmiä (ks. Kuva 4).

Näin pyritään säilyttämään metsän keskeiset elinympäristöominaisuudet, ja samalla eliölajisto, mahdollisimman luontaisen kaltaisena eri mittakaavoissa, pienelinympäristöistä aina maisemarakenteeseen. Tavoitteena on säilyttää metsän rakenne kokonaisuutena luontaisten vaihtelurajojensa puitteissa ja samalla turvata biodiversiteetin säilyminen (karkean seulan periaate).



Kuva 4. Havainnollinen esitys monikohorttimallin periaatteesta. Metsäalueen rakenne kuvataan palon jälkeisessä suknessiossa kehittyvinä rakennekohortteina ja niiden suhteellisina osuuksina. Vaihtelevia hakkuumenetelmiä käytetään synnyttämään metsärakenteita, joita eri kohorteissa luontaisesti esiintyisi. Maisematasolla eri rakennekohorttien osuus pyritään pitämään samanlaisena kuin se esiintyisi luontaisen häiriödynamiikan seurauksena.

Edellä kuvatut strategiset mallit voidaan nähdä myös toisiaan täydentävinä hierarkkisessa alueellisessa metsäsuunnittelussa. Avainbiotooppi-käytävä -malli voidaan tulkita yleiseksi hierarkkiseksi suunnittelun viitekehikseksi, jossa pysyvät suojelualueet ja niiden verkosto muodostaa keskeisen elementin. ASIO- ja monikohortti-mallit voidaan taas nähdä strategisina malleina, joilla metsätalousmaisemaan voidaan luoda monimuotoisuuden turvaamisen kannalta tarvittavia ominaisuuksia. Tämä voi tarkoittaa luontaisen metsärakenteiden ja maiseman kytkeytyneisyyden ylläpitämistä koko metsäalueella, metsärakenteiden ennallistamista suojelualan lisäämiseksi tai suojavyöhykkeiden luomista suojelualueiden ympärille. Yleisenä tavoitteena on luoda synergiaa eri toimenpiteiden välille asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi.

4.3.2. Tutkimuskirjallisuus

Tutkimuskirjallisuus oli maantieteellisesti rajoittunut pääosin pohjoiseen Pohjois-Amerikkaan (Kanada) ja käsitteli voimakkaita metsäpaloja ja niiden vaikutusten matkimista metsänkäsittelyssä. Euraasiaa koskevat häiriödynamiikkamallia sivuavat tutkimukset olivat pelkästään teoreettisia. Yleisesti ottaen läpikäydyssä tutkimuskirjallisuudessa oli suhteettoman runsaasti katsaus- ja ideatyyppejä kirjoituksia, verrattuna tutkimuksiin jotka tuottivat vertailevaa dataa häiriödynamiikkamallin vaikutuksista suhteessa perinteiseen tasaikäisen metsän kasvatukseen. Seuraavassa luvussa käsitellään ainoastaan näitä kahta metsänkäsittelymallia vertailevaa tutkimusta.

4.3.3. Tasaikäistä metsänkasvatusta ja häiriödynamiikkamallia vertaileva tutkimus

Häiriödynamiikkamallin puuntuotos- ja puuntarjontavaikutuksia käsittelevä tutkimus rajoittui sarjaan tutkimuksia, joissa käsiteltiin luontaisten metsäpalojen mukailemisen vaikutusta puun hakkuumääriin Albertassa, Kanadassa. Ajassa laajuudeltaan suuresti vaihtelevien voimakkaiden metsäpaloalojen emulointi hakkuissa nähtiin vaikeaksi yhdistää tehokkaasti organisoituun metsätalouteen. Tämä johtui ennen kaikkea siitä että palojen emulointi johtaisi ajassa voimakkaasti vaihteleviin hakkuumääriin. Tutkimuksen rajoittuneisuuden ja vähäisyyden vuoksi (vain 3 tutkimusta) ei häiriödynamiikkamallin puuntuotos- ja tarjontavaikutuksista voida tehdä yleisempiä päätelmiä.

Läpikäydyissä ekologisia vaikutuksia käsittelevissä tutkimuksissa (27 tutkimusta) häiriödynamiikkamallin soveltamisen vaikutukset eliölajistoon havaittiin yleisesti ottaen positiivisiksi, kun vertailukohtana oli perinteinen tasaikäisen metsän kasvatusta. Monissa tutkimuksissa tarkasteltiin lintulajistoa, joka yleisesti havaittiin hyötyvän häiriödynamiikkamallin soveltamisesta.

Häiriödynamiikkamallin soveltamisen sosiaalisista vaikutuksista ei juuri ole tutkittu (2 tutkimusta). Kanadassa häiriödynamiikkamallia on arvosteltu 'takaisin luontoon' mentaliteetista, jossa luonnontiedettä käytetään auktoriteettina ja sosiaaliset vaikutukset unohdetaan (Klenk ym. 2009). Kritiikki kohdistuu siihen, ettei talousmetsiä ei käsitellä monimutkaisina sosiaalis-ekologisina systeemeinä, jota ne tosiasiansa ovat. Ratkaisuna esitetään että häiriödynamiikkamallin onnistunut soveltaminen edellyttää myös sosiaalisia innovaatioita, joilla ihmiset voidaan osallistaa suunnitteluprosessiin (Hebert ym. 2003).

5. Häiriödynamiiikkamallin soveltuvuus Suomen oloihin: yhteenvetoa ja pohdintaa

Häiriödynamiiikkamallin soveltamista ja soveltuvuutta Suomen oloihin tarkastellaan edellä esitettyjen kolmen kirjallisuustutkimuksen tulosten valossa. Häiriödynamiiikkamallin soveltuvuutta tarkastellaan metsätalouden kestävyuden kolmen pääelementin, ekologisten, puuntuotos-taloudellisten ja sosiaalisten vaikutusten näkökulmasta. Lisäksi pohditaan yleisellä tasolla mallin soveltamisen haasteita Suomen olosuhteissa.

5.1. Ekologiset vaikutukset

Ekologisten tavoitteiden osalta ekosysteemilähestymistapaa toteuttavan metsätalouden tulisi turvata ekosysteemin keskeiset luontaiset rakenteet ja monimuotoisuus.

Häiriödynamiiikkamallissa otetaan lähtökohdaksi metsän luontaiset häiriöt ja niiden vaikutukset metsän rakenteeseen, joita mukaileviksi metsänkäsittelyä pyritään kehittämään. Kuten osatutkimuksen I tuloksista käy ilmi, tämä tarkoittaa Suomen oloissa ennen kaikkea osittaisten ja/tai pienialaisten häiriöiden emulointia metsänhoidossa. Käytännössä tämä edellyttää entistä monipuolisempien hakkuutapojen käyttöä ja eri-ikäisen metsän kasvattamista huomattavan suurella osalla metsäpinta-alaa. Tutkimustulokset viittaavat siihen, että näin pystyttäisiin ylläpitämään tasaikäistä metsää paremmin varttuneen ja vanhan metsän rakenteita ja lajistoa sekä metsikön että maiseman tasolla (*Osatutkimukset I-III*). Eri-ikäisen metsän kasvatusta voi käsitellä poimintahakkuiden lisäksi erilaisia pienaukkohakkuumenetelmiä, joilla elinympäristöjen vaihtelevuus voitaisiin turvata (Kuva 2).

Kaikkiaan kertyneen tutkimustiedon valossa näyttää todennäköiseltä, että häiriödynamiiikkamalli voisi merkittävästi parantaa metsätalouden ekologista kestävyyttä palauttamalla metsiin niiden luontaisia rakenteita ja sitä kautta edesauttamalla luontaisen eliölaajiston säilymistä myös talouskäytössä olevissa metsissä.

5.2. Taloudelliset vaikutukset

Häiriödynamiiikkamallin soveltaminen Suomen oloissa edellyttää eri-ikäisen metsän kasvatuksen huomattavaa lisäämistä, kuten edellä todettiin. Eri-ikäisen metsän kasvatuksen esteenä on usein ajateltu olevan menetelmän huono taloudellinen kannattavuus. Tutkimukset eivät kuitenkaan suoraviivaisesti tukeneet tällaista johtopäätöstä (*Osatutkimus II*). Useiden

viimeaikaisten, menetelmiltään edistyneimpien tutkimusten mukaan puustoltaan eri-ikäisen metsän kasvatus voi olla taloudelliselta tulokseltaan täysin vertailukelpoinen tasaikäisen metsän kasvatuksen kanssa. Olemassa olevat tutkimukset antavat selviä viitteitä siitä että ekologisten ja taloudellisten tavoitteiden yhteensovittaminen on mahdollista. On kuitenkin selvää että eri-ikäisen metsän kasvatuksen menetelmät vaativat edelleen kehitystyötä, jotta ne palvelisivat parhaiten eri tavoiteyhdistelmiä.

5.3. Sosiaaliset vaikutukset

Häiriödynamiiikkamallin soveltamisen sosiaalisista vaikutuksista on olemassa vain vähän tutkimustietoa. Vaikutukset puun tarjontaan ja työllisyyteen riippuvat ratkaisevasti paikallisesta ja globaalista toimintaympäristöstä. Esimerkiksi poronhoitoalueella häiriödynamiikkamalli voisi tarjota mahdollisuuksia ylläpitää tärkeitä talvilaitumia metsätalousalueilla. Metsien virkistyskäyttöarvoon häiriödynamiikkamallilla voidaan olettaa olevan positiivinen vaikutus, kun vertailukohtana on tasaikäisen metsän kasvatus. Kun on tutkittu, minkälainen metsä on ihmisille mieluisa virkistysympäristö, tärkeiksi piirteiksi erottuvat isot puut, vaihteleva alikasvos, sekapuustoisuus, luonnontilaisuuden tuntu sekä aluetason metsärakenteiden vaihtelu (Karjalainen & Sievänen 2006). Nämä ovat kaikki metsän rakennepiirteitä, joita häiriödynamiikkamalli pyrkii luomaan ja ylläpitämään.

5.4. Soveltamisen haasteita

Häiriödynamiikkamalli tarjoaa kokonaisvaltaisen ekologisen lähestymistavan sekä strategisia malleja metsien käsittelyyn. Mallin soveltaminen kullekin alueelle tulee tapahtua ottaen huomioon alueelliset ja paikalliset ekologiset piirteet ja sosio-ekonominen toimintaympäristö. Metsän luontaisen häiriödynamiiikan ominaisuudet vaikuttavat ratkaisevasti siihen miten mallia voidaan soveltaa. Esimerkiksi Kanadassa Albertan provinsissa, jossa ajoittain toistuvat laajat metsäpalot ovat tyypillisiä, niiden emuloiminen hakkuissa on huomattavan haasteellista metsätalouden organisoinnin kannalta (Armstrong ym. 1999, 2003). On myös huomattava että hakkuilla voidaan luontaisia häiriöitä emuloida vain siltä osin kun niitä ei esiinny.

Suomessa olemme tässä suhteessa huomattavan hyvässä asemassa. Ensinnäkin luontaisia häiriöitä ei juuri talousmetsissä esiinny, jolloin niiden mukailu hakkuissa on haluttaessa kaikkialla täysimääräisesti mahdollista. Lisäksi metsillemme ovat luontaisesti tyypillisiä jatkuvasti toimivat pienialaiset ja osittaiset häiriöt, joita emuloiva hakkuudynamiiikka olisi mitä ilmeisimmin suhteellisen helposti sopeutettavissa metsätalouden toimintaan.

Käytännössä tämä tarkoittaa sitä että hakkuumäärät voidaan pitää suhteellisen tasaisina vuodesta toiseen ja näin puuhuollon jatkuvuus turvata. Nykyinen puunkorjuukalusto sopii sellaisenaan häiriödynamiikkamallin soveltamiseen, mutta korjuutyön logistiikka vaatii luonnollisesti kehittämistyötä.

Häiriödynamiikkamallin tehokas soveltaminen edellyttää alueellista näkökulmaa. Tämä ei ole ongelma suurmaanomistajien, kuten kuntien ja Metsähallituksen hallinnoimilla alueilla, mutta muodostuu haasteeksi alueilla, joilla yksityismetsänomistajien määrä on suuri ja metsälöt pirstoutuneita. Yhteismetsän tyyppiset ratkaisut olisivat yksi ratkaisu tähän alueelliseen haasteeseen. Toinen mahdollisuus olisi tukeutua metsänomistajien erilaiseen kiinnostukseen vaihtoehtoisia metsänkäsittelyn menetelmiä kohtaan ja yrittää näin saada aikaan häiriödynamiikkamallin sovellutuksia myös yksityismetsäalueilla. Tältä osin yksityismetsien alueellista suunnittelua ja sen menetelmiä olisi kehitettävä edelleen.

5.5. Toteutuksen ja tutkimuksen haasteita

Häiriödynamiikkamallin käyttöönotossa ja kehittämisessä Suomen oloihin on mahdollista edetä kahta tietä, perustamalla käytännön kokeilualueita ja panostamalla monitieteiseen tutkimukseen. Molempia tarvitaan mutta ehkä järkevintä on yhdistää nämä lähestymistavat. Tällaista lähestymistapaa edustaa Metsähallituksen aloitteesta perustetut häiriödynamiikkamallin kokeilualueet metsänhoidon kehitys- ja tutkimushankkeessa "Metsien luontaiseen häiriödynamiikkaan perustuvat metsänkäsittelymallit" (<http://www.metla.fi/hanke/3524/>).

Tutkimuksessa panostusta tarvitaan erityisesti seuraaville alueille: (1) Metsien luontaista häiriö- ja sukkessiodynamiikkaa koskevan tietämyksen parantamiseen ja tämän tiedon merkityksen arvioimiseen muuttuvassa ilmastossa. (2) Monitieteiseen tutkimukseen, jossa häiriödynamiikkamallin sovellutuksia tutkitaan käytännön toiminnan kannalta relevanteissa aika- ja tilamittakaavassa. (3) Tutkimukseen joka edesauttaa sosio-ekonomisten tekijöiden integroitumista häiriödynamiikkamallin soveltamiseen (*Osatutkimus III*).

Kiitokset. Hankkeessa eri vaiheissa työskentelivät ja tutkimuksen valmistumiseen myötävaikuttivat MMM Ruut Rabinowitsch-Jokinen, MMT Tuomas Aakala ja MMM Russell Grenfell ; heille parhaat kiitokset. Kiitokset myös tutkimuksen ohjausryhmälle, johon kuuluivat Prof. Leena Finér (Metla), MMT Katja Matveinen-Huju, MMT Sauli Valkonen (Metla) ja ympäristöpäällikkö Erkki Hallman (Metsähallitus). Tiedon kokoamisessa hyödynnettiin myös henkilökohtaisia kontakteja kansainväliseen tutkimusalan avainhenkilöihin.

Kirjallisuus

Armstrong, G.W., Cumming, S.G., and Adamowicz, W.L. 1999. Timber supply implications of natural disturbance management. *Forestry Chronicle* 75(3): 497-504.

Armstrong, G.W., Adamowicz, W.L., Beck, J.A., Cumming, S.G., and Schmiegelow, F.K.A. 2003. Coarse filter ecosystem management in a nonequilibrating forest. *Forest Science* 49(2): 209-223.

Angelstam, P.K. 1998. Maintaining and restoring biodiversity in European boreal forests by developing natural disturbance regimes. *Journal of Vegetation Science* 9(4): 593-602.

Angelstam, P. & Kuuluvainen, T. 2004: Boreal forest disturbance regimes, successional dynamics and landscape structures – a European perspective. *Ecological Bulletins* 51: 117-136.

Bergeron, Y., Harvey, B., Leduc, A., and Gauthier, S. 1999. Forest management guidelines based on natural disturbance dynamics: stand- and forest-level considerations. *Forestry Chronicle* 75(1): 49-54.

Bergeron, Y., Leduc, A., Harvey, B.D., and Gauthier, S. 2002. Natural fire regime: A guide for sustainable management of the Canadian boreal forest. *Silva Fennica* 36(1): 81-95.

Connell, J.H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. [Science](#) 199 (4335): 1302–1310. [doi:10.1126/science.199.4335.1302](https://doi.org/10.1126/science.199.4335.1302)

Hebert, D., Harvey, B., Wasel, S., Dzus, E.H., Donnelly, M., Robert, J., and Chambers, F.H. 2003. Implementing sustainable forest management: some case studies. In: Burton, P.J., Messier, C., Smith, D.W., and Adamowicz, W.L. (eds). *Towards sustainable management of the boreal forest*. National Research Council of Canada, Ottawa. pp. 893-953

Hunter, M.L. Jr., Jacobson, G.L. and Webb, T. 1988. Paleoecology and the coarse filter approach in maintaining biological diversity. *Conservation Biology* 2: 375-385.

Karjalainen, E. & Sievänen, T. 2006. Metsä elvyttää ja virkistää – mutta minkälainen metsä? Teoksessa: Jalonen, R. Hanski, I., Kuuluvainen, T., Nikinmaa, E., Pelkonen, P., Puttonen, P. Raitio, K. & Tahvonen, O. (toim.) *Uusi metsäkirja*. Gaudeamus.

Keto-Tokoi, P. & Kuuluvainen, T. 2010. Suomalainen aarniometsä. Maahenki.

Klenk, N.L., Bull, G.Q. and MacLellan, J.I. 2009. The “emulation of natural disturbance” (END) management approach in Canadian forestry: A critical evaluation. *Forestry Chronicle* 85: 440-445.

Kuuluvainen, T. 2002. Natural variability of forests as a reference for restoring and managing biological diversity in boreal Fennoscandia. *Silva Fennica* 36(1): 97-125.

- Kuuluvainen, T. 2009. Forest management and biodiversity conservation based on natural ecosystem dynamics in northern Europe: The complexity challenge. *Ambio* 38: 309–315.
- Kuuluvainen, T. & Aakala, T. 2011. Natural forest dynamics in boreal Fennoscandia: a review and classification. *Silva Fennica* 45(5)
- Landres, P.B., Morgan, P., and Swanson, F.J. 1999. Overview of the use of natural variability concepts in managing ecological systems. *Ecological Applications* 9: 1179–1188.
- Metsänkäsittelymenetelmien monipuolistaminen. 2011. Maa- ja metsätalousministeriö, 22 s.
- Pennanen, J. 2002. Forest age distribution under mixedseverity fire regimes – a simulation-based analysis for middle boreal Fennoscandia. *Silva Fennica* 36: 213–231
- Puettmann, K.J., Coates, K.D., and Messier, C. 2009. *A Critique of Silviculture: Managing For Complexity*. Island Press, Washington, DC.
- Pullin, A.S. and Stewart, G.B. 2006 Guidelines for systematic review in conservation and environmental management. *Conservation Biology* 20: 1647-1656.
- Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim.) 2010: Suomen lajien uhanalaisuus. Punainen kirja 2010. Ympäristöministeriö & Suomen Ympäristökeskus. 685 s.
- Raunio, A., Schulman, A. & Kontula, T. (toim.). 2008. Suomen luontotyyppien uhanalaisuus. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Suomen Ympäristö 8/2008. Osat I ja 2. 264 + 572 s.
- Rülcker, C., Angelstam, P. and Rosenberg, P. 1994. Naturlig branddynamik kan styra naturvård och skogskötsel in boreal skog. *SkogForsk* 8.
- Similä, M. & Junninen, K. (toim.) 2011: Metsien ennallistamisen ja luonnonhoidon opas. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja B 157. 193 s.
- Valkonen, S., Sirén, M. & Piri, T. (toim.) 2010: Poiminta- ja pienaukkohakkuut – vaihtoehtoja avohakkuulle. Metsäkustannus oy. 125 s.
- Zackrisson, O. 1977. The influence of forest fires on North Swedish boreal forest. *Oikos* 29: 22-32.