

Hannu Hökkä, Jaakko Repola,  
Mikko Moilanen ja Markku Saarinen

## Kuusen luontainen taimettumisen ojitettujen korpien muokatuilla ja muokkaamattomilla pienaukoilla ja pienillä avohakkuualoilla – tapaustutkimus Pohjois-Suomesta

Seloste artikkelista: Hökkä, H., Repola, J., Moilanen, M. & Saarinen, M. 2012. Seedling establishment on small cutting areas with or without site preparation in a drained spruce mire – a case study in northern Finland. *Silva Fennica* 46(5): 695–705.  
<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf46/sf465695.pdf>

**M**erkittävä osa ojitetuista turvemaan korvista on lähestymässä uudistamiskypsyyttä myös Pohjois-Suomessa. Perinteiselle avohakkuulle ja kuusenviljelylle kaivataan luontaisen uudistamisen vaihtoehtoja erityisesti pohjoisessa, missä toisen puusukupolven perustamisen kannattavuus ei pienen puuntuotoksen vuoksi välttämättä kestä suuria metsikön perustamiskustannuksia.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin pienaukkohakkuun (78, 177 ja 314 m<sup>2</sup>:n ympyrä) ja pienikokoisen avohakkuun (0,25–0,37 ha:n aukko) sekä kevyen maanmuokkauksen vaikutusta luontaiseen taimettumiseen yhdellä kenttäkokeella Pohjois-Suomessa. Koekohde oli vuonna 1961 ojitettu ohutturpeinen lehtokorpi. Puusto oli koetta perustettaessa 18–20 metriä pitkää kuusikkoa, jossa kasvoi sekapuuna hieskoivua. Kokeeseen sisältyi kaikkiaan 33 pienaukkoa ja neljä avohakkuukoelaa neljässä lohossa (yksi avohakkuukoelaa kussakin lohossa). Hakkuu tehtiin talvella 2004–2005. Kahdella loholla tehtiin lisäksi maanmuokkaus kesäkuussa 2005.

Muokkausmenetelmä oli kaivurilaikutus, jossa kairavinkoneen kauhalla poistettiin laikuittain 5–10 cm kerros pintaturvetta. Muokattavilla avohakkuukoelaloilla vain toinen puoli muokattiin. Pienaukoista muokattiin yhdellä loholla neljä ja toisella kolme. Taimettuminen inventoitiin keväällä 2006 ja vuosittain keväällä 2008–2010. Inventointi tehtiin sijoittamalla viisi taimikoealaa (yksi 10 m<sup>2</sup> ja neljä 5 m<sup>2</sup> inventointikoealaa) jokaiselle pienaukolle ja 18 taimikoealaa (5 m<sup>2</sup>) avohakkuukoelaloille (jos muokattu, niin 9 koealaa muokatulla ja 9 koealaa muokkaamattomalla puoliskolla). Tähän tutkimukseen otettiin mukaan vuonna 2006 inventoinnissa havaitut alle 0,1 m pituiset taimet, joiden oletettiin syntyneen hakkuun jälkeen sekä seuraavina vuosina syntyneet uudet taimet.

Tulosten analyysissä pienaukon kokoa ei huomioitu, vaan erikokoisten pienaukkojen taimimääristä laskettiin lohkoittain keskiarvo. Maanmuokkauksen vaikutusta testattiin muokatuilla lohkoilla. Varianssi-analyysin tulosten mukaan muokkaamattomien pienaukkojen ja pienten avohakkuualojen taimimäärät olivat viiden vuoden kuluttua hakkuusta merkittävästi suurempia kuin muokattujen. Muokattujen alojen keskimääräinen taimimäärä vuonna 2010 oli pienaukoilla 1370 ja avohakkuualoilla 780 kpl hehtaarilla, kun vastaavat luvut muokkaamattomilla aloilla olivat 4460 ja 1670 kpl hehtaarilla.

Hakkuumenetelmän vaikutusta testattiin vertailemalla muokkaamattomia pienaukkoja avohakkuukoeloihin tai muokattujen avohakkuukoelalojen muokkaamattomiin puolikkaisiin. Tässäkin tarkastelussa pienaukkojen kokovaihtelua ei huomioitu, vaan erikokoisista pienaukoista laskettiin lohkoittaiset keskiarvot. Kahden vuoden aikana hakkuun jälkeen taimimäärä lisääntyi nopeasti pienaukoilla mutta selvästi hitaammin avohakkuualoilla. Vuoden 2010 keväällä (5 kasvukautta hakkuusta) pienaukoilla oli keskimäärin 15 500 tainta ja avohakkuualoilla 6700 tainta. Näistä yli 10 cm pitkiä taimia oli pienaukoilla 5050 kpl hehtaarilla ja avohakkuualoilla 1200 kpl hehtaarilla. Koivun osuus

taimista lisääntyi selvästi kolmannen vuoden jälkeen ja oli avohakkuualoilla keskimäärin suurempi (45%) kuin pienaukoilla (22%) vuonna 2010. Taimien tilajakauma oli pienaukoilla tasaisempi, sillä tyhjien koealojen osuus oli pienaukoilla 20% ja avohakkuualoilla 41%.

Tämän tapaustutkimuksen tulosten mukaan korpikuusikoiden pienaukot taimettuvat nopeammin ja tasaisemmin kuuselle kuin pienet avohakkuualat. Maanmuokkaus ei edistänyt taimettumista, vaan oli päinvastoin haitallinen toimenpide. Tulokset tukevat aiempia havaintoja korpikuusikoiden hyvästä luontaisesta taimettumisesta uudistamishakkuun jälkeen.

■ Hannu Hökkä, Jaakko Repo & Markku Saarinen,  
Metla, Rovaniemi  
Mikko Moilanen, Metla, Oulu  
Sähköposti hannu.hokka@metla.fi

Katri Luostarinen

## Siperianlehtikuusen trakeidien seinän paksuuden ja ontelon läpimitan vaihtelu rungossa säteen ja pituussuuntaan

Seloste artikkelista: Luostarinen, K. 2012. Tracheid wall thickness and lumen diameter in different axial and radial locations in cultivated *Larix sibirica* trunks. *Silva Fennica* 46(5): 707–716.

<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf46/sf465707.pdf>

### Johdanto

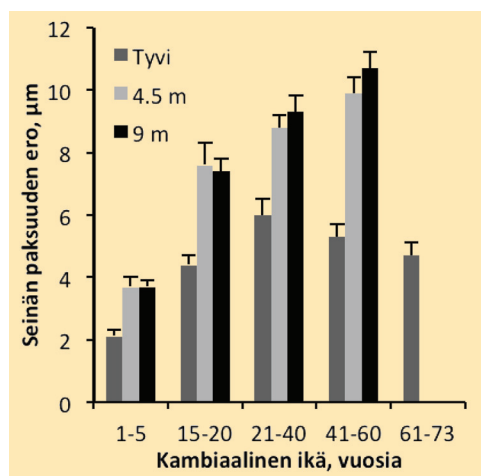
Solujen koon vaihtelu puiden rungoissa varsinkin säteen suuntaan on hyvin tiedossa, mutta pituuden suuntaista vaihtelua on tutkittu varsin vähän. Siperianlehtikuusella (*Larix sibirica* Ledeb.) monet puuaineksen ominaisuudet muuttuvat poikkeuksellisen paljon säteen suuntaan, mutta vain harvoja ominaisuuksia on tutkittu myös pituuden suuntaan (luston leveys, tiheys, kuidun pituus ja leikkauslujuus). Solujen ominaisuuksien vaihtelun tunteminen myös rungon pituuden suunnassa on kuitenkin tärkeää, sillä solujen koko ja rakenne vaikuttavat

suoraan muihin puuaineksen ominaisuuksiin ja niiden kautta käyttöominaisuuksiin. Esimerkiksi mustakuusella *Picea mariana* (Mill.) Britton, Sterns & Poggenb. rungon yläosista saadun kuituaineksen on todettu tiivistyvän paremmin kuin alaosista saadun kuituaineksen, jolloin yläosien kuiduista on pystytty valmistamaan parempaa keskikovaa kuitulevyä (MDF) kuin rungon tyviosan kuiduista.

Suomeen on istutettu huomattavia määriä siperianlehtikuusta ja valtaosa istutusmetsistä on jo saavuttanut vaiheen, jossa ne pitäisi viimeistään harventaa. Lisäksi laji voi olla täällä selvästi nopeakasvuisempi kuin alkuperäisillä kasvualueillaan. Siten siperianlehtikuusen nopeasti kasvaneen puuaineksen ominaisuuksia on syytä tutkia, jotta parhaat mahdolliset käyttötarkoitukset voidaan määrittää. Tässä tutkimuksessa tutkittiin säteen sekä pituuden suuntaista trakeidien seinän paksuuden ja ontelon läpimitan vaihtelua Suomessa viljeltyjen nopeakasvuisten siperianlehtikuusien rungoissa. Ko. ominaisuuksia verrataan muihin aikaisemmin lehtikuusen puuaineksestä mitattuihin ominaisuuksiin.

### Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa tutkittiin kuudentoista 85-vuotiaan siperianlehtikuusen trakeideja rungon tyveltä sekä 4,5 m ja 9 m korkeudelta viidestä eri säteen suuntaisesta ikäluokasta: luokkien iät ytimestä laskien (kambiaaliset iät) olivat 1–5 vuotta (nuorpuu), 15–20 vuotta (aikuistuva puu), 21–40 v, 41–60 v ja 61–73 v (aikuispuu). Näytekiekot saatiin Mikkelin ammattikorkeakoululta, joka kaatoi puut sahatavaratutkimuksiinsa Punkaharjulta Metsäntutkimuslaitoksen metsiköstä (alkuperä: Raivola). Siksi kaikki näytekiekot ovat peräisin puista, jotka runkojen ulkoisten ominaisuuksien perusteella tuottivat luokan A tukkeja, joista saadaan vaativiin puusepäntuotteisiin soveltuvaa puuraaka-ainetta. Poikkileikkauspreparaateista mitattiin trakeidin kaksinkertaisen soluseinän paksuus sekä ontelon säteensuuntainen läpimitta sekä kevät- että kesäpuusta, 10 solusta jokaisesta näytteestä. Näiden 10 mittauksen keskiarvo oli ko. näytteen tulos. Lisäksi laskettiin kaksinkertaisen soluseinän paksuuden ero kesä- ja kevätpuun välillä. Tulokset analysoitiin SPSS:n varianssianalyysillä verraten mitattuja dimensioita säteen ja pituuden suuntaisten sijaintien välillä, ja mikäli säteen- ja



**Kuva 1.** Trakeidien kaksinkertaisen soluseinän paksuuden ero kesä- ja kevätpuun välillä kambiaalisen iän ja rungon korkeuden mukaan.

pituudensuuntaisten sijaintien välillä ei havaittu yhteisvaikutusta, ryhmien parittaiset vertailut tehtiin Tukeyn HSD-testillä.

## Tulokset

Säteen ja pituuden suuntaisen sijainnin yhteisvaikutus havaittiin kesäpuun kaksinkertaisessa soluseinän paksuudessa sekä kevätpuun ontelon läpimitassa. Kaksinkertaisen seinän paksuus lisääntyi nuoruudesta aikuispuuhun varsinkin kesäpuussa 4,5 ja 9 m korkeuksilla, mutta tyvellä se pieneni 40 ikävuoden jälkeen. Kevätpuun ontelon läpimitta kasvoi säteen suuntaan kaikilla korkeuksilla, mutta pysyi tyvellä pienimpänä. Kevätpuun keskimääräinen kaksinkertainen seinän paksuus oli suurempi tyvellä kuin korkeammalla rungossa. Kesäpuussa ontelon läpimitta oli lähes vakio, vain nuoruudessa 4,5 m ja etenkin 9 m korkeudella ontelon läpimitta oli suurempi kuin mitä se pienimmillään oli aikuispuussa.

Kaksinkertaisen soluseinän paksuuden ja ontelon läpimitan suhde oli yleensä positiivinen, eli seinän paksuuden kasvaessa myös ontelon läpimitta kasvoi, mutta tyvellä sekä 15–20 että 41–60 v kesäpuussa sekä 21–40 v ja 41–60 v kevätpuussa suhde oli negatiivinen. Lisäksi soluseinän paksuusero kesä- ja kevätpuun välillä oli pienin tyvellä, jossa se oli suurimmillaan 21–40 v ikäisessä puuaineksessa (kuva 1).

## Pohdinta

Trakeidien seinän paksuudet seurasivat samoja trendejä kuin sekä kevä- että kesäpuun tiheys niin, että kevätpuun tiheys ja seinän paksuus pysyivät melko vakiona säteen suunnassa, kun taas kesäpuun tiheys ja seinän paksuus kasvoivat ytimeistä rungon pintaa kohti mentäessä. Sen sijaan trakeidien ontelon läpimitta ei näyttäisi vaikuttavan tiheyteen, sillä se oli suuri etenkin aikuispuun kevätpuussa ja vakio kesäpuussa.

Kaksinkertaisen soluseinän paksuuden ja ontelon läpimitan suhde oli yleensä positiivinen, mutta tyvellä havaittiin myös päinvastaisia tuloksia. Tämä mahdollisesti selittää osaltaan tyvellä havaittua suurinta leikkauslujuutta. Myös tyven kevätpuun lievästi suurin kaksinkertaisen soluseinän paksuus on mahdollisesti lisännyt leikkauslujuutta. Tyvellä havaitut muista korkeuksista hieman poikkeavat soluominaisuudet voivat johtua etenkin keväällä esiintyvistä erilaisista ympäristötekijöistä (lumen sulaminen, lämpötila) lähellä maan pintaa kuin ylempänä maasta. On myös arveltu, että tyvellä solujen vanheneminen alkaa aikaisemmassa kambiaalisessa iässä kuin ylempänä rungossa, mikä on saattanut vaikuttaa tyven solujen erilaisiin mittoihin.

## Johtopäätökset

Tyvellä havaitut pienimmät erot kaksinkertaisen soluseinän paksuudessa kesä- ja kevätpuun välillä (aikaisemmin havaittu vastaava tiheysero) tekevät tyven puuaineksesta tasalaatuisimman. Sitä, miten korkealle siperianlehtikuusen tyven puuaineksen lievästi parhaimmat ominaisuudet ulottuvat, ei tiedetä, mutta hybridilehtikuusella tehdyissä mittauksissa ainakin lustonsisäiset tiheyserot pienenevät ytimeistä rungon pintaa kohti mentäessä vielä 1,8 m korkeudella. Näin ollen siperianlehtikuusellakin sen rungon tyviosan puuaines soveltuisi parhaiten rakenteelliseen käyttöön.

■ FT Katri Luostarinen, Metsätieteiden osasto, Itä-Suomen yliopisto, Joensuu  
sähköposti katri.luostarinen@uef.fi

Karri Uotila

## Kuusen istutusalojen varhaisperkaustarpeen estimointi

**Seloste artikkelista:** Uotila, K., Rantala, J. & Saksa, T. 2012. Estimating the need for early cleaning in Norway spruce plantations in Finland. *Silva Fennica* 46(5): 683–693. <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf46/sf465683.pdf>

**K**uusen istutusalojen pääasiallisena metsänhoidollisena tavoitteena on tehokas kaupallisesti arvokkaan puun kasvatusta. Tavoite saavutetaan parhaiten ohjaamalla metsikön puulajisuhteita ja taimikon tiheyttä taimikonhoidolla. Kuusen uudistusaloilla, jotka pääasiassa ovat viljavia maita, suuri ongelma on kilpaileva kasvillisuus. Kilpaileva kasvillisuus, heinät ja lehtipuusto, heikentävät istutuskuusille tarpeellisten resurssien saantia. Metsikön kiertoajan alussa kilpaileva kasvillisuus on istutuskuusia nopeampikasvuista ja kehittyy siksi usein taimikon kasvua häiritseväksi. Kilpailun määrän lisääntyessä haitallinen vaikutus voimistuu, mutta jo vähäinen kilpailu heikentää istutuskuusten kasvua.

Puiden välinen kilpailutilanne muuttuu nuorissa istutuskuusikoissa nopeasti. Tyypillisesti etukasvuisten lehtipuiden poistamisen, eli varhaisperkaustarpeellisuuden arvioi metsäpalveluyrityksen toimihenkilö tai metsänomistaja ylimääräisellä metsäkäynnillä. Metsäkäynti on tarpeen, koska esimerkiksi metsäsuunnittelun pitkä kiertoaika on ongelmallinen taimikonhoitotarvetta arvioitaessa. Toimihenkilön metsäkäynti aiheuttaa ylimääräisen ja verraten suuren kustannuserän, etenkin suhteutettuna itse taimikonhoitotyön kustannuksiin.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin istutuskuusien kaupallisesti vähempiarvoisten lehtipuiden välisen kilpailun kehitystä 4–7-vuotiaissa istutuskuusikoissa. Tavoitteena oli metsikkötietoihin perustuen tunnistaa kohteet, jotka todennäköisesti tarvitsevat varhaisperkaustarpeen tai päinvastoin. Tutkimuksessa rakennettiin empiirinen malli, joka mahdollistaa varhaisperkaustarpeen arvioinnin metsäsuunnittamietoihin perustuen.

Tutkimuksessa inventoitiin 197 tuoreen tai lehtomaisen kankaan istutuskuusikkoa Pohjois-Savossa vuonna 2007. Taimikoiden koko vaihteli 0,5–8,8

hehtaariin. Taimikot valittiin ositetulla otannalla varmistuen eri ikäluokkien kohtuullisen tasainen esiintyminen aineistossa. Päätehakkuun ja uudistamisen välinen aika arvioitiin metsänkäyttöilmoitusten ja taimikon perustamisilmoitusten perusteella.

Taimikoiden puusto mitattiin systemaattisella linjoittaisella ympyräkoealautannalla. Koealan pinta-ala oli 20 m<sup>2</sup> ja koealojen määrä vaihteli 8–23 riippuen koealan koosta. Yhteensä koealoja mitattiin 3081. Koealoilta määriteltiin tärkeimmät kasvupaikka- ja metsikkötiedot. Kasvatuskelpoiset kuuset luokiteltiin kolmeen perkaustarveluokkaan. Luokittelu perustui puiden kilpailulliseen asemaan: *Vähäinen perkaustarve* (lehtipuut metrin säteellä kasvatettavaa puuta lyhempiä kuin kasvatettava puu), *Huomattava perkaustarve* (lehtipuut kasvatettavan puun pituisia tai hieman pidempiä), *Kiireellinen perkaustarve* (kasvatettavan puun latvus pahasti lehtipuiden peitossa tai vahingoittunut lehtipuiden vaikutuksesta). Aineisto analysoitiin multinomiaalisella logistisella sekamallilla MLwiN ohjelmistolla. Parhaiten perkaustarvetta selittävät tekijät sisällytettiin perkaustarvetta ennustavaan malliin.

Varhaisperkaustarve istutuskuusikoissa oli suuri. Lähes 60% kasvatettavista taimista tarvitsivat varhaisperkausta. Perkaustarve oli huomattava 37% taimista ja kiireellinen 21%. Korkeasta perkaustarpeesta huolimatta, perkaustarpeen jälkiä näkyi vain noin 10% taimikoista.

Kasvupaikkatekijöistä maaperän liiallinen märkyys, eli merkit ajoittain seisovasta vedestä, oli perkaustarpeeseen voimakkaimmin vaikuttavia tekijöitä. Märkydestä kärsivillä kasvupaikoilla perkausta tarvitsevien taimien osuus oli suuri. Myös metsätyyppi, maanmuokkaus ja maalaji vaikuttivat perkaustarpeeseen. Kasvatuskelpoiset taimet olivat etenkin turveilla selvästi keskimääräistä useammin perkaustarpeessa. Myös viljava metsätyyppi näkyi erityisesti kiireellisesti perkausta tarvitsevien taimien osuuden nousuna. Sen sijaan muokkaamattomien maiden taimikoiden taimet tarvitsivat harvemmin perkausta kuin muokattujen. Myös toteutettu varhaisperkaus, kuten toivottavaa, vähensi huomattavasti perkausta tarvitsevien taimien määrää.

Uudistamisviive (päätehakkuun ja uudistamisen välinen aika) tai taimikon ikä eivät vaikuttaneet merkittävästi perkaustarpeen kehitykseen. Uudistamisviiveen vähäisen merkittävyyden selittänee

metsänkäyttöilmoitukseen ja taimikon perustamisilmoitukseen perustuva ajanjakson määrittelyn epävarmuus. Huomattavaa oli, että tutkimuksessa havaittiin perkaustarpeen olevan suuri jo 4-vuotiaissa kuusentaimikoissa, jolloin perkaustarpeen kehitys näytti jo saavuttaneen vakiintuneen tilan. Tämän perusteella voi olettaa, että perkaustarpeen määrittely onnistuu jo 4-vuotiaassa kuusentaimikossa kohtuullisen luotettavasti. Sen sijaan jo aineiston alimmalla iällä vakiintunut vastemuuttuja tarkoitti sitä, että mallilla ei voi tarkemmin ennustaa perkausjankohtaa.

Perkaustarpeen kehityksen estimointi, joka perustuu yksinkertaisiin kasvupaikan muuttujiin, on haasteellista. Tyypillisillä kivennäismaiden muokatuilla kuusen istutusaloilla varhaisperkaustarpeen ennustettavuus mallilla on heikko. Sen sijaan mallilla voidaan metsikkötietoihin perustuen poimia tapaukset, joissa perkaustarve on oletettavasti joko kiireellinen tai vähäinen.

Perkausta tarvitsevien taimien osuus on varhaisperkausikäisissä istutuskuusikoissa kaiken kaikkiaan suuri. Sellaisia kohteita on hyvin vähän, joissa valtaosa taimista selviäisi lehtipuiden kilpailusta ongelmitta noin kolmen metrin valtapituudessa toteutettavaan taimikonharvennukseen saakka. Eli ainespuun tuotannon kannalta nuori istutuskuusikko pitää yleensä varhaisperata.

■ Karri Uotila, Metla, Suonenjoki  
Sähköposti karri.uotila@metla.fi

Veikko Hiltunen

## Päätöstuen kehittäminen Metsähallituksen osallistavassa strategisessa metsäsuunnittelussa

Seloste väitöskirjasta: Hiltunen, V. 2012. Developing decision support in participatory strategic forest planning in Metsähallitus. 47 sivua + 4 osajulkaisua.  
<http://www.metla.fi/dissertationes/df141.pdf>

### Taustaa

#### Päätöstuki

Päätöksentekoprosessilla ymmärretään yleisesti toimintaketjua ratkaistavan ongelman yksilöinnistä ratkaisun löytymiseen. Päätöksentekoprosessi sisältää seuraavat päävaiheet: päätösongelman jäsentäminen, ratkaisuvaihtoehtojen ja niiden tulosten määrittely, päätöksentekijän tavoitteiden selvittäminen, päätösvaihtoehtojen arviointi ja vertailu sekä parhaan vaihtoehdon valinta. Ns. päätöstukimenetelmät auttavat päätöksentekijää em. vaiheiden toteutuksessa ja lopulta löytämään tavoitteidensa kannalta parhaan ratkaisun. Yleisesti käytettyjä päätöstukimenetelmiä ovat mm. matemaattisen optimoinnin menetelmät ja monikriteeriset päätöstukimenetelmät. Näitä menetelmiä on laajasti kehitetty ja sovellettu myös metsien käytön tarkasteluita varten.

#### Osallistava strateginen metsäsuunnittelu Metsähallituksessa

Metsähallitus hoitaa ja hallinnoi noin yhdeksää miljoonaa hehtaaria Suomen valtion omistamia maa-alueita ja noin kolmea miljoonaa hehtaaria vesialueita. Maa-alueista noin puolet on talousmetsiä ja puolet suojelualueita, erämaita ja muita metsätalouden ulkopuolella olevia alueita. Maa-alueet sijaitsevat pääosin Pohjois- ja Itä-Suomessa, ja vesialueista suurin osa on Suomen aluevesiä Suomenlahdella ja Pohjanlahdella. Toimintaa ohjaavat lainsäädän-

tö ja valtio-omistajan tulohjaus sekä asiakkaiden tarpeet ja toimintaympäristön odotukset. Alueiden käytön johtava periaate on monikäyttö.

Srateginen, pitkän aikavälin metsäsuunnittelu on keskeinen työväline alueiden monipuolisen käytön toteuttamisessa. Suunnitelmat laaditaan 10-vuotiskaudelle ja ne tarkistetaan kauden puolivälissä. Suunnittelu toteutetaan alueellisina hankkeina. Suunnittelualueita on seitsemän ja niiden maa-ala vaihtelee noin puolesta miljoonasta hehtaarista noin kahteen miljoonaan hehtaariin. Suunnitteluprosessia kutsutaan nimellä ”Metsähallituksen alueellinen luonnonvarasuunnittelu” (Ivs). Tarkastelussa ovat mukana kaikki Metsähallituksen maa- ja vesialueet ja suunnittelu kattaa alueiden eri käyttömuodot. Käytännössä prosessi kuitenkin painottuu metsien käytön suunnitteluun, mm. vesien käytön suunnittelun tietopohjan puutteiden vuoksi. Luonnonvarasuunnittelu käynnistyi Metsähallituksessa 1990-luvun puolivälissä, ja nyt kaikissa alueissa on tehty vähintään kaksi suunnitelmaa.

Suunnittelun päätavoite on tasapainoinen ja laajasti hyväksytty alueiden ja metsävarojen käytön toimintamalli suunnitelma-alueelle seuraavalle 10-vuotiskaudelle. Tämän vuoksi suunnittelu tehdään yhteistyössä alueellisten sidosryhmien ja kansalaisten kanssa. Sidosryhmien edustajista koostuva yhteistyöryhmä on mukana työssä koko suunnitteluprosessin ajan. Asioiden esittelyn, keskustelujen ja neuvottelujen ohella ryhmän työn tukena käytettiin aluksi numeerisia monikriteerisiä päätöstukimenetelmiä, kuten analyttistä hierarkiaprozessia ja vuorovaikutteista päätösanalyysiä. Menetelmien eduksi nähtiin, että ne mm. tuottavat täsmällisiä tuloksia ja mahdollistavat monipuoliset tulosten herkkyyssanalyytit. Varsin pian kuitenkin huomattiin, että numeerinen päätösanalyysi vaatii suunnitteluun osallistujilta syvällistä paneutumista ja käyttäjältään erityisasiantuntemusta, jota ei ole aina käytettävissä. Käytännön tilanteita varten tarvitaan osallistujille nopeammin omaksuttavia ja käyttäjälleen helpompia menetelmiä.

### Tutkimuksen tavoitteet, tutkimusmenetelmät ja aineistot

Väitöskirjatyön tavoitteena oli kehittää luonnonvarasuunnittelun päätöstukea. Työssä tutkittiin suoran kokonaisvaltaisen arvottamisen ja äänestysmenetelmien käyttöä suunnitelmavaihtoehtojen arvottamisessa. Lisäksi tutkittiin äänestysmenetelmien ja vuorovaikutteisen päätösanalyysin yhteiskäyttöä sekä ns. MESTA-menetelmän käyttöä vaihtoehtojen arvioimisessa. Työssä arvioitiin myös mitä vaikutuksia ”ylhäältä alas” -suunnittelun lähestymistavalla olisi metsien käytön tehokkuuteen koko Metsähallituksen tasolla verrattuna nykyiseen ”alhaalta ylös” -lähestymistapaan sekä näiden tulosten hyväksyttävyyttä aluetasolla.

Äänestysmenetelmistä *plurality voting* -äänestyksessä jokaisella äänestäjällä on yksi ääni, jonka hän antaa parhaana pitämälleen ehdokkaalle, kun taas *approval voting (AV)* -äänestyksessä äänestäjä antaa äänen jokaiselle ehdokkaalle (esim. suunnitelmavaihtoehdot), jonka hän hyväksyy. *Borda count* -menetelmässä arvioinnin kohteet, esim. kriteerit, asetetaan tärkeys- tai hyvyysjärjestykseen ja *cumulative voting* -äänestyksessä osallistujat antavat pisteitä arviointikohteille; yleensä jokainen jakaa kohteille 100 pistettä haluamallaan tavalla. *Multi-criteria approval (MA)* -menetelmässä kullekin kriteerille määritellään hyväksymisraja ja kriteereiden keskinäinen tärkeysjärjestys. Tämän jälkeen vaihtoehdot luokitellaan jokaisen kriteerin suhteen joko hyväksyttäväksi tai ei-hyväksyttäväksi, sen mukaan millaisen arvon ko. vaihtoehto tuottaa ao. kriteerille. Kokonaisuutena parhaita ovat vaihtoehdot, jotka ovat hyväksyttäviä joko kaikkien tai tärkeimpien kriteereiden suhteen. Kaikissa em. menetelmissä ryhmän näkemys saadaan yhdistämällä ryhmän jäsenten arvottamistulokset.

Vuorovaikutteisessa päätösanalyysissä (*interactive decision analysis, IDA*) muotoillaan aluksi päätöshierarkia, joka havainnollistaa vaihtoehtojen, kriteereiden ja suunnittelun kokonaisvaltaisen tavoitteen väliset suhteet. Tämän jälkeen muotoillaan kriteerikohtaiset osahyötymallit ja määritellään kriteereiden keskinäiset painot. Lopuksi jokaiselle vaihtoehdoille lasketaan kokonaisvaltaista hyvyttä kuvaava hyötyindeksi ao. vaihtoehdon tuottamien kriteerikohtaisten osahyötöjen summana. Ns. herkk-

kyysanalyysillä voidaan tutkia, kuinka herkästi eri vaihtoehtojen hyötyindeksit reagoivat kriteereiden painoarvojen muutoksiin.

MESTA-menetelmässä osallistuja (pääöksentekijä) arvottaa vaihtoehtoja holistisesti säätämällä kriteereiden hyväksymisrajoja (eli säätämällä käypää tulosaluetta) graafisen käyttöliittymän kautta, niin että kaikki kriteerit ja kaikkien vaihtoehtojen kriteerikohtaiset arvot ovat koko ajan näkyvillä.

Hierarkkisen suunnittelun ”alhaalta ylös” -lähestymistavassa ratkaisut perustuvat kunkin alatasoin yksikön tuotantomahdollisuuksiin ja suunnitelmat vastaavat mahdollisimman hyvin nimenomaan kyseistä aluetta koskevia tavoitteita. Ylätason suunnitelma koostetaan alatasolla hyväksytyistä suunnitelmista, eikä se näin välttämättä ole ylätasolla optimaalinen.

”Ylhäältä alas” -suunnittelussa koko yksikön resursseja tarkastellaan kokonaisuutena ja niiden käyttö järjestetään siten, että suunnitelmat ovat optimaalisia koko yksikön tasolla. Alatasoin yksiköistä tuleva palaute voi toimia optimoinnin rajoitteina ja näin vaikuttaa lopputulokseen. Suunnitelmien käytännön toteuttamisessa voi kuitenkin ilmetä ongelmia, jos alatasoin palaute on riittämätöntä tai jos esim. vaikutusten epätasaiseen jakautumiseen eri alayksiköille liittyviä seikkoja ei pystytä ottamaan riittävästi huomioon. Suunnittelutasojen välisen ja sisäisen johdonmukaisuuden saavuttaminen onkin todettu hierarkkisen suunnittelun suureksi haasteeksi.

Väitöskirjatyössä äänestysmenetelmien, vuorovaiikutteisen päätösanalyysin ja MESTA-menetelmän käyttöön liittyvät tutkimukset kytkettiin käynnissä olleisiin luonnonvarasuunnittelun hankkeisiin. Suunnittelun lähestymistapaa koskevassa tutkimuksessa hyödynnettiin olemassa olevia suunnitelma-aineistoja.

## Tulokset

### Päätöstuki

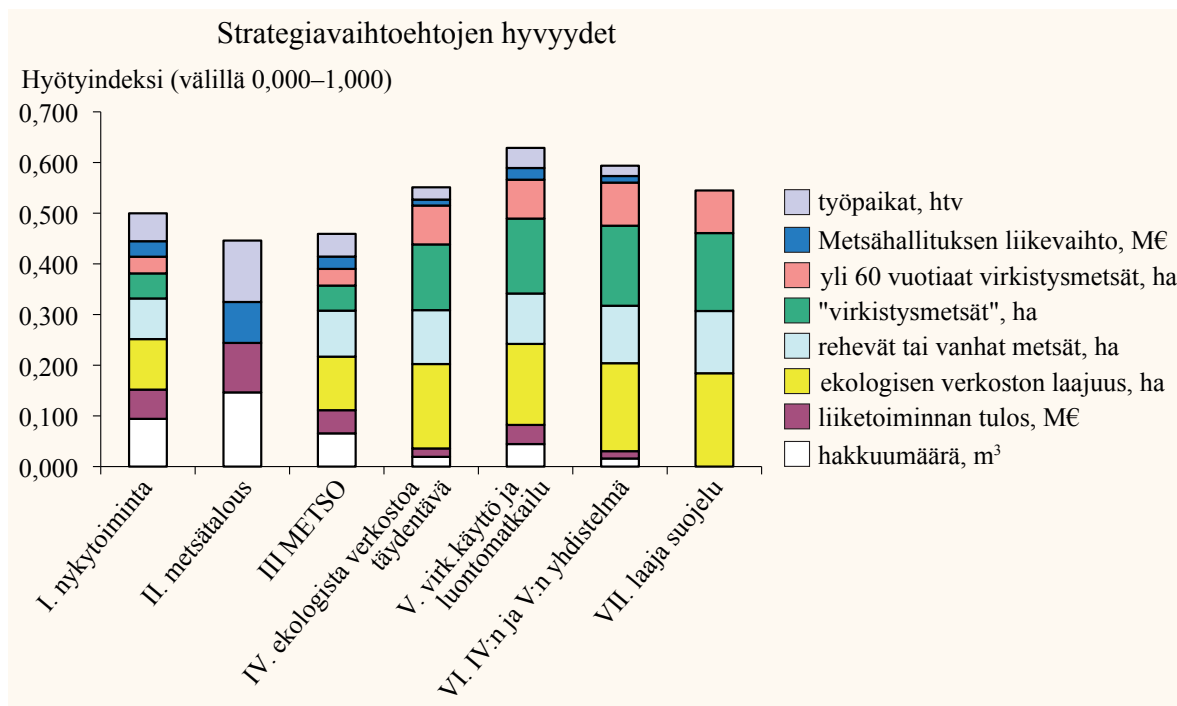
Tutkimuksen tulokset osoittavat, että Metsähallituksen osallistavan suunnittelun ympäristössä korostuvat sovellettavien päätöstukimenetelmien ymmärrettävyys, helppokäyttöisyys ja tulosten jäljitettävyys. Menetelmiä voidaan käyttää

**Taulukko 1.** Esimerkki vaihtoehtojen arvottamisesta *multicriteria approval* -menetelmällä. Kriteerit (merkitty kirjaintunnuksilla) on asetettu tärkeysjärjestykseen ns. ”*Borda count*”-menetelmällä, ja niille on määritelty kriteerikohtaisesti tulosraja joka vähintään täytyy saavuttaa. Jokaisen vaihtoehdon tulosriviltä nähdään kunkin kriteerin kohdalta ylittykö hyväksymisraja (+ merkki) vai ei (– merkki). Vaihtoehto 5 osoittautuu parhaaksi, sillä se on hyväksyttävä neljän tärkeimmän kriteerin suhteen, mihin tulokseen muut vaihtoehdot eivät yllä.

Vaihtoehdot	Kriteerit							
	G	D	E	B	A	H	F	C
Ve 1	+	+	–	+	–	+	+	+
Ve 2	–	+	–	–	–	+	+	+
Ve 3	–	–	+	+	+	–	–	–
Ve 4	+	+	–	–	–	+	+	+
Ve 5	+	+	+	+	–	+	+	+
Ve 6	–	–	+	+	+	–	–	–
Ve 7	+	+	–	–	–	+	+	+
Ve 8	–	–	+	+	+	–	–	–

joustavasti ja toisiaan täydentäen. Usein ratkaisu löytyy äänestysmenetelmien avulla. Ne ovat helpoja ymmärtää ja käyttää ja niissä riittää asioiden kuvaaminen luokittelu- tai järjestysasteikon tasolla. Tutkituista menetelmistä *approval voting* (AV) osoittautui käyttökelpoiseksi kriteereiden valinnassa, *Borda count* -menetelmä tavoitekartoituksessa ja *multicriteria approval* (MA) vaihtoehtojen arvioinnissa (taulukko 1). Jos ratkaisua ei löydetä äänestysmenetelmien avulla, analyysijä voidaan syventää esim. vuorovaiikutteisen päätösanalyysin (IDA) kaltaisilla suhteasteikkolisilla menetelmillä (kuva 1). Myös MESTA-menetelmän käyttö tuki ryhmän päätöksentekoa. Sen sijaan vaihtoehtojen suora kokonaisvaltainen arvottaminen ei edistänyt ryhmän päätöksentekoa.

Päätöstukimenetelmien joustavan käytön ohella tutkimuksessa tuli painokkaasti esille suunnitelmavaihtoehtojen keskeinen merkitys. Niiden onnistunutta laatimista pidettiin kaikissa osatutkimuksissa suunnittelun tärkeimpänä osavaiheena. Vaihtoehdot havainnollistavat osallistujille alueen luonnonvarojen tuotantomahdollisuuksia ja tulosten välistä riippuvuutta, mikä edesauttaa osallistujia heidän omien tavoitteidensa määrittämisessä.



**Kuva 1.** Esimerkki vaihtoehtojen arvottamisesta vuorovaikutteisen hyötyanalyysin avulla. Kuva on tilanteesta, jossa useat vaihtoehdot olivat keskenään tasavertaisia MA-analyysin perusteella. IDAn avulla sen sijaan löytyi selkeä voittajaehdokka. Tulosten herkkyyksianalyysissä ratkaisu osoittautui myös vakaaksi. Kuva havainnollistaa kunkin vaihtoehdon tuottaman suhteellisen kokonaishyödyn ohella, miten hyöty koostuu kriteerikohtaisesti.

### Hierarkkiset analyysit

Nykyisin Metsähallituksen ”alhaalta ylös” -suunnittelussa kullekin suunnittelualueelle etsitään alueellisesti paras ratkaisu, joten suunnitelmat ovat alueellisesti optimaalisia ja Metsähallituksen luonnonvarasuunnitelma muodostuu niiden summana.

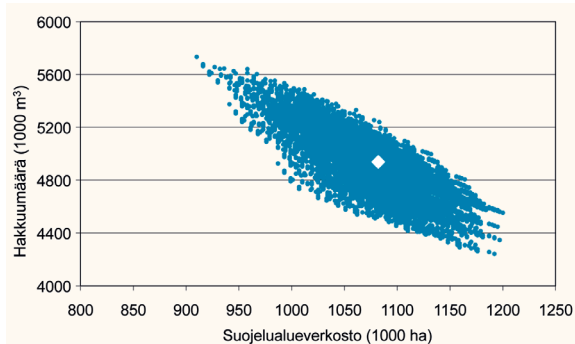
Tutkimuksen ”ylhäältä alas” -tarkastelu aloitettiin ko. lähestymistavan periaatteiden mukaisesti Metsähallituksen koko paikkatietoaineistolla, joka sisältää noin 1,5 miljoonaa kuviota. Näin laajan aineiston käsittely ei kuitenkaan onnistunut Metsähallituksen käytössä olevalla metsäsuunnittelun ohjelmistolla. Tämän jälkeen muodostettiin uusi tutkimusaineisto siten, että kuudesta lvs-alueesta poimittiin jokaisesta viisi suunnitelmavaihtoehtoa, jotka olivat yleiseltä tavoitemäärityltään samanlaisia kaikissa alueissa. Ylä-Lapin alue jätettiin pois aineistosta sen erityisominaisuuksien vuoksi. Mukaan otetuista suunnitelmavaihtoehtoista voitiin siten muodos-

taa Metsähallituksen tasolle yhteensä  $5^6 = 16125$  suunnitelmavaihtoehtoa. Niiden tulokset kuvattiin viidellä kriteerillä, jotka olivat yhteisiä ja samanlaisia kaikissa alueissa. Kriteerit olivat ekologisen verkoston laajuus, hakkuumäärä, Metsähallituksen työpaikat, virkistysalueiden ala ja Metsähallituksen liikevaihto.

Hierarkkiset analyysit osoittivat, että nykyinen alueellisiin ratkaisuihin perustuva metsävarojen käyttö ei ole tehokkainta koko Metsähallituksen tasolla (kuva 2). Metsähallituksen tasolla löytyi seitsemän vaihtoehtoa, joissa jonkun tai joidenkin kriteereiden arvot olivat parempia kuin nykyratkaisussa, ilman että yhdenkään muun kriteerin arvo olisi heikentynyt nykyratkaisusta. Parannukset olivat kuitenkin verraten pieniä, kriteerikohtaisesti enintään yhden prosentin luokkaa.

”Ylhäältä alas” -tulokset osoittivat myös, että jos koko Metsähallituksen tasolla halutaan maksimoida ekologista verkostoa tai hakkuita, niin joka alueessa





**Kuva 2.** Kuvassa siniset pisteet esittävät ”ylhäältä alas” -lähestymistavalla tuotettuja 16 125 suunnitelmavaihtoehdon tulemaa suojelualueverkoston ja hakkuumäärän suhteen. Valkoinen neliö esittää ”alhaalta ylös” -lähestymistavan tuottamaa tulosta. Tehokkaat suunnitelmavaihtoehdot sijoittuvat kuvassa pisteparven oikeaan yläpintaan.

on valittava nykyisen suunnitelman sijasta se vaihtoehto joka maksimoi ko. näkökulman. Osallistujien suunnitteluhankkeissa ilmaisemien tavoiteasetelmien perusteella tämä ei kuitenkaan saavuttaisi toimintaympäristön hyväksyntää yhdessäkään alueessa. Jos virkistyskäyttömahdollisuuksia halutaan kehittää koko Metsähallituksen tasolla tinkimättä hakkuumahdollisuuksista, nykyiset suunnitelmat olisi korvattava toisilla kolmessa alueessa. Myös näiden vaihtojen hyväksyttävyyys olisi epävarmaa.

Tärkeimpinä jatkotutkimushankkeina väitöskirjatyössä tunnistettiin uusien päätöskäytösmenetelmien kuten tavoiteoptimoinnin (GP), stokastisen monikriteerisen hyväksymisanalyysin (SMAA) ja outranking-menetelmien soveltamisen tutkiminen. Lisäksi havaittiin, että luonnonvarojen käytön tehostaminen edellyttää sekä alueiden välisen että alueiden ja koko Metsähallitus-tason välisen vuorovaikutuksen ja koordinaation lisäämistä. Tämä puolestaan vaatii osallistumis- ja päätöksentekoprosessien kehittämistä.

Tämä väitöskirjatyö perustui Metsähallituksen ja Metsäntutkimuslaitoksen väliseen tutkimus- ja kehittämisyhteistyöhön ja prosessi osoitti konkreettisesti, että tutkimus ja käytäntö voivat tukea toisiaan ja saavuttaa molemminpuolista hyötyä yhteistyöstä.

■ Veikko Hiltunen, Metsähallitus  
veikko.hiltunen@metsa.fi