

Juho Matala
 Tuula Nuutinen
 Metsäntutkimuslaitos
 Itä-Suomen alueyksikkö

Loppuraportti:

Alueelliset metsävaraennusteet muuttuvassa ilmastossa - sopeutumistoimien suunnittelu ja riskit (2006-2009)

1. Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Ilmastonmuutos vaikuttaa sekä ekosysteemiin että yhteiskuntaan. Metsätalouden kannalta ilmastonmuutoksella on ennakoitu olevan sekä suoria (mm. puiden lisääntyvä kasvu, Saxe ym. 2001, Kilpeläinen ym. 2005) että epäsuoria (mm. metsätuhoriskien lisääntyminen, Niemelä ym. 2001, Percy ym. 2002) vaikutuksia. Ennakoivan sopeutumisen kautta voidaan edistää ilmastonmuutoksen mahdollisten hyötyjen saavuttamista ja haittojen minimoimista. Metsätaloudessa sopeutumistoimiksi on esitetty mm. kiertoajan pidentämistä, harvennushakkuiden intensiteetin vähentämistä ja hakkuutähteiden talteenottoa. Metsänhoitoon ja puunkäyttöön perustuvia sopeutumistoimia ja hiilinieluja koskevat tutkimukset on yleensä tehty metsikkötason tarkasteluina (esim. Pussinen ym. 2002). Eri alueet poikkeavat toisistaan mm. puulaji-, ikä- ja kasvupaikkarakenteen suhteen, mikä vaikuttaa niiden sopeutumiskykyyn. Aluetason suunnittelussa on yleensä tavoitteena metsänhoito- ja puunkäyttöstrategia, joka muodostaa kestävänsä metsätalouden eri kriteerien suhteen tehokkaan kokonaisuuden ottaen huomioon alueen metsien rakenne. Metsänhoito- ja puunkäyttöstrategiassa pitäisi pystyä ottamaan huomioon myös ilmastonmuutoksen vaikutus puuston kasvupotentiaaliin ja metsätuhoriskeihin. Koska ilmastonmuutoksen vaikutus vaihtelee erilaisissa metsiköissä, suunnittelussa tarvitaan ilmastonmuutoksen vaikutusten kuvauksessa menetelmiä, jotka ottavat huomioon metsiköiden väliset erot.

Suomessa käytetään alueellisten ja kansallisten metsäohjelmien valmistelussa valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) koalamittauksiin perustuvia MELA-laskelmia, joissa tarkastellaan vaihtoehtoisia metsänhoito- ja puunkäyttöstrategioita (esim. Nuutinen & Salminen 1999, Nuutinen ym. 2005a, Nuutinen ym. 2005b). MELA-ohjelmiston metsikkösimulaattori perustuu yksittäisiä puita kuvaaviin metsänkehitysmalleihin (Hynynen ym. 2002), joiden avulla voidaan laskea erilaisia kestävänsä metsätalouden indikaattoreita. MELA-laskelmia on käytetty myös kasvihuonekaasujen (jatkossa khk) tulevaisuusprojektioina (esim. Sievänen 2000, Metsäntutkimuslaitos 2004, Sievänen ym. 2007). Khk-tarkasteluissa on todettu ongelmaksi nykyhetkeä kuvaavien seurantatietojen ja tulevaisuutta koskevien arvioiden epäjatkuvuuskohta ja siihen liittyvät yhteensopivuuden ja vertailtavuuden liittyvät ongelmat.

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää menetelmiä sovellettavaksi khk-tulevaisuusprojektiioihin ja kustannustehokkaiden ilmastonmuutokseen sopeutumistoimien suunnitteluun. Tutkimuksen tarkoituksena oli

- 1) täydentää MELA- laskentajärjestelmää siten, että sen avulla voidaan tarkastella alueellisten metsävarojen kehittymistä muuttuneessa ilmastossa ottaen huomioon puustoon varastoituvan hiilen (Kärkkäinen 2005) lisäksi puustosta maahan vapautuvan hiilen ja lisääntyvän puuston kasvupotentiaalin (Matala 2005, Matala ym. 2005) lisäksi muuttuva metsätuhoriski perustuen riski-indekseihin sekä
- 2) tehdä täydennetyllä järjestelmällä sopeutumistoimien suunnittelua ja khk-tarkastelua varten eri ilmasto- ja metsänkäsittelyskenaarioissa khk-inventaarion kanssa vertailukelpoisia laskelmia, joissa tarkastellaan metsävarojen tulevaa kehittymistä puuvaroina, hyödynnettävissä olevana

puubiomassana, hiilitaseena ottaen huomioon puusto, hakkuutähde ja muu puustosta maahan vapautuva hiili ja monimuotoisuusindikaattoreina (Kärkkäinen ym. 2005a, 2005b).

2. Tutkimusosapuolet ja yhteistyö

Hanke toteutettiin pääosin Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun toimintayksikössä. Yhteistyökumppaneina hankkeessa olivat Joensuun yliopiston metsätieteellisen tiedekunnan prof. Seppo Kellomäen (ilmaston muutokset vaikutukset metsäekosysteemiin) ja prof. Pekka Niemelän (bioottiset metsätuhoriskit) tutkimusryhmät. Hankkeen perustana ollut menetelmä ilmastomuutoksen kasvuvaiikutusten kuvaamiseksi ja karikesadannan laskentamenetelmän kehitystyötä oli tehty prof. Kellomäen tutkimusryhmässä ja ryhmä osallistui myös tämän hankkeen julkaisutoimintaan. Prof. Niemelän ryhmän kanssa tehtiin bioottisten tuhoriskien arvioinnin suunnittelua.

Metsäntutkimuslaitoksesta työhön osallistuivat prof. Tuula Nuutinen (hankkeen vastuututkija 1.1.2006-30.6.2009, metsänkäsittelyskenaariot), MMT Juho Matala (hankkeen vastuututkija 1.7.-31.12.2009, metsikkösimulaattorin kasvumallien ilmastovaikutukset, mallit maahan vapautuvan hiilen kuvaamiseksi, metsätuhoriskit), MMT Leena Kärkkäinen (biomassamallit) MMM Hannu Hirvelä (MELA-VMI-rajapinta), MMM Kari Härkönen (MELA-ohjelmisto), MMM Olli Salminen (alueelliset laskelmat), FT Henri Vanhanen (hyönteistuhot), FT Seppo Neuvonen (hyönteistuhot). Nuutinen, Kärkkäinen, Hirvelä, Härkönen, Salminen, Neuvonen (ja Matala vuonna 2009 ja 2010) osallistuivat työhön Metlan omalla rahoituksella. MMM:n rahoituksella oli hankkeeseen palkattuna tutkijana Matala (2 kk vuonna 2006, 3,5 kk 2007 ja 3 kk 2008) ja Vanhanen (3 kk vuonna 2009).

3. Tutkimuksen tulokset

3.1 Tutkimusmenetelmät ja aineisto

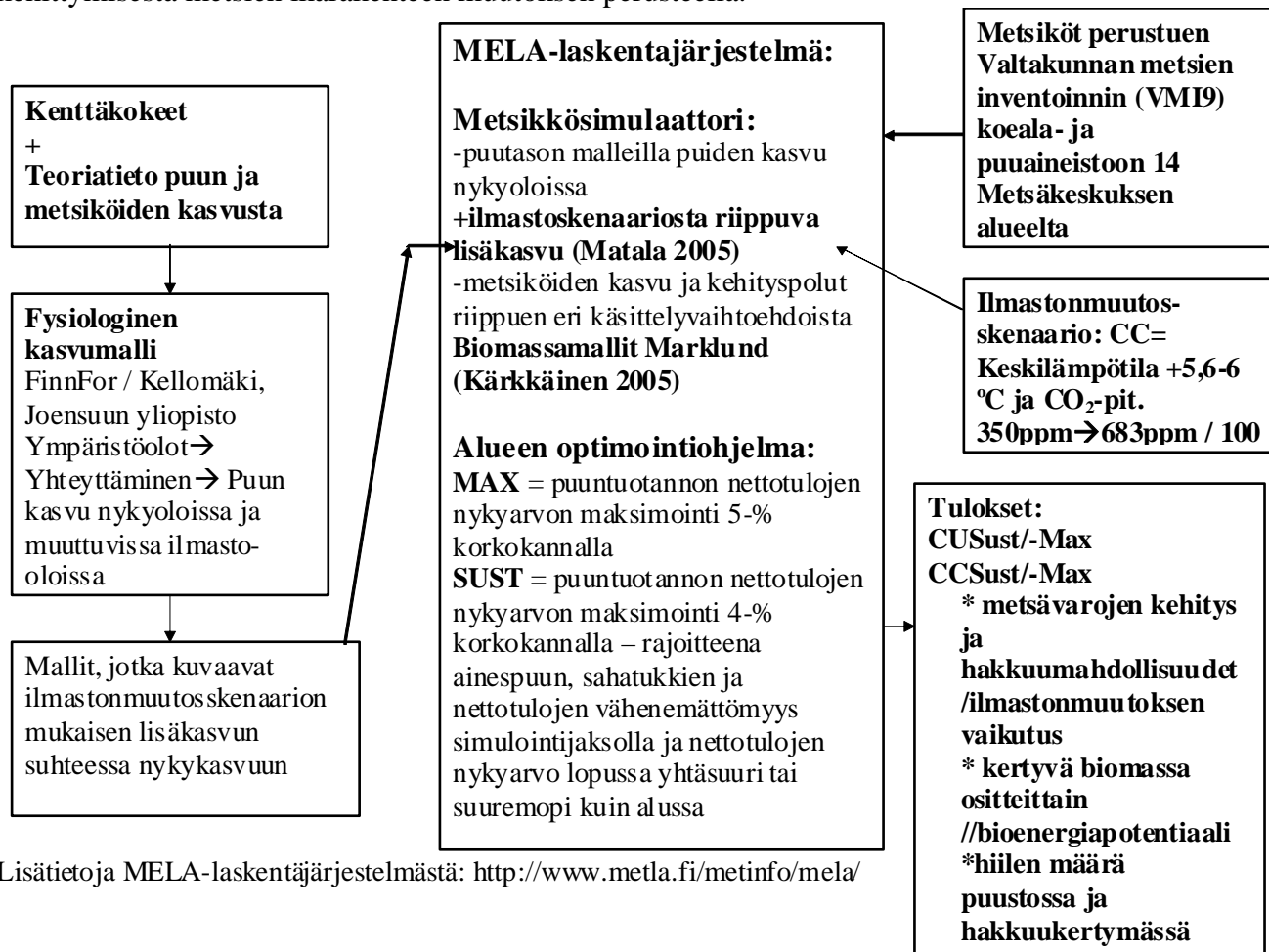
Alueelliset metsävaralaskelmat tehtiin ns. siirtomuuttuja- ja biomassamallit (Matala 2005 ja Kärkkäinen 2005) sisältävällä MELA-ohjelmistolla perustuen koko Suomen kattavaan VMI9-aineistoon (Kaavio 1), jolloin laskelmissa voitiin ottaa huomioon Suomen metsissä oleva vaihtelu ja sen mahdollinen puskurointikyky (eli millainen määrä milläkin tavalla reagoivia metsiä on tällä hetkellä ja eri ajankohtina tulevaisuudessa) ilmaston muuttuessa.

Kaavion (1) esittämässä ns. IlmastoMELA-laskentajärjestelmissä laskettiin vmi-aineistosta muodostetuille laskentayksiköille (metsiköt) kahdella ilmastoskenaariolla (nykyilmasto=CU ja muuttuva ilmasto=CC) metsänhoito-ohjeiden mukaan erilaisia vaihtoehtoisia kehityspolkuja. Näistä kehityspoluista ohjelmiston optimointiosassa valittiin metsäaluetasolla (Metsäkeskukset) optimaalisen metsänkäsittelystrategian (käsittelyskenaariot: MAX (nykyarvon maksimointi ilman kestävyysrajoitteita) ja SUST (nykyarvon maksimointi puuntuotannon kestävyys rajoitteena)) toteuttavat metsikkökohtaiset kehityspolut, joiden perusteella laskettiin kokonaismetsävarojen kehitys Metsäkeskusalueittain. Tuloksia käsiteltiin summatuloksina koko Suomeen tai Pohjois/Etelä-Suomi jaolla.

Puustosta maahan vapautuvan hiilen ennustamiseksi MELA-mallijärjestelmissä muodostettiin kirjallisuustutkimuksella hankittuun aineistoon perustuen kasvun ja karikesadannan suhdetta kuvaava regressiomalli (Matala ym.2008).

Muuttuvan ilmaston aiheuttamien metsätuhoriskien roolia tarkasteltiin hyönteistuhojen osalta kirjallisuuskatsauksella (Vanhanen ym. 2010). Lisäksi tuotettiin MELA-laskentajärjestelmissä vmi-

aineistoon perustuvat alueittaiset skenaariolaskelmat metsien rakennetunnuksien kehityksestä nyky- ja muuttuvassa ilmastossa, joiden perusteella tehtiin alustavia arvioita mäntypistiäistuhoriskin kehittymisestä metsien ikärakenteen muutoksen perusteella.



Lisätietoja MELA-laskentajärjestelmästä: <http://www.metla.fi/metinfo/mela/>

Kaavio 1. Hankeessa sovelletut laskentajärjestelmä ja -skenaariot. Huom. CU=nykyilmasto, CC=muuttuva ilmasto.

3.2 Tutkimustulokset

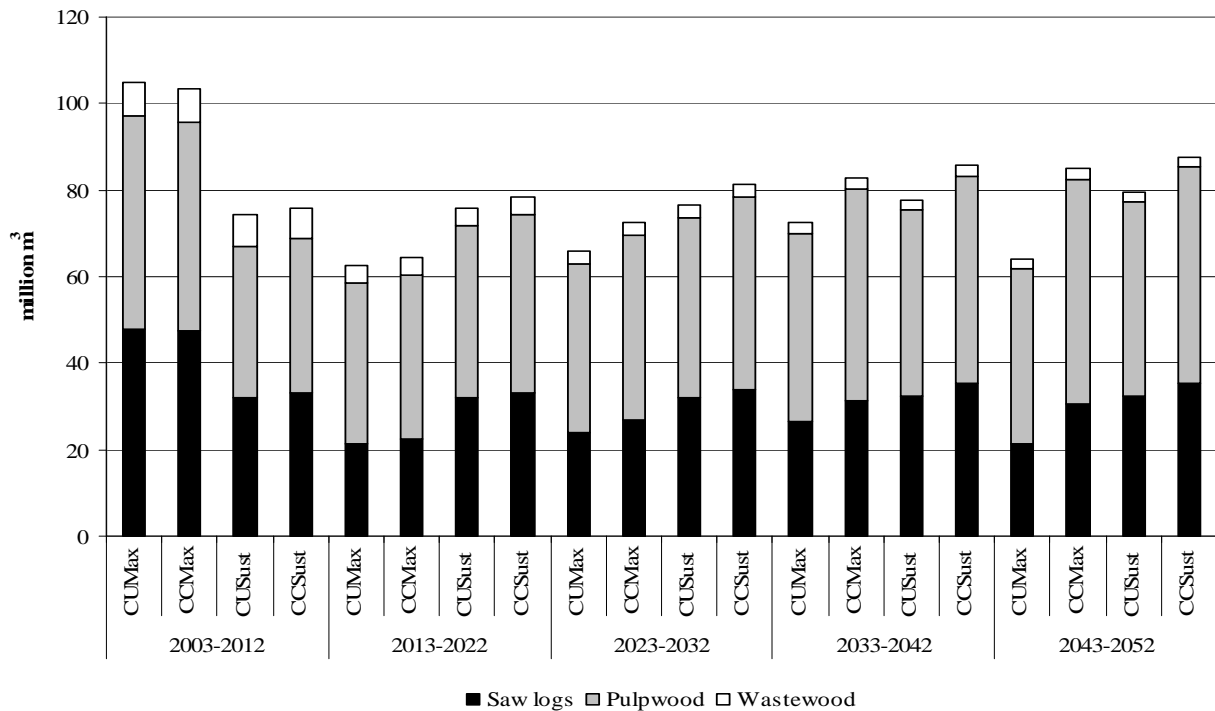
Metsävarojen kehitys

Tutkimuksessa tehtyjen metsävaralaskelmien perusteella metsien kehitys olisi tarkastellun 50 vuoden aikana (jakso 2003-2053) vahvemmin riippuvainen valittavasta metsänkäsittelystrategiasta kuin ilmaston lämpenemisen mahdollisesti aiheuttamista lisäkasvuvaikutuksista (Kärkkäinen ym. 2008, Matala ym. 2009, Nuutinen ym. 2010). Riippumatta käytettävästä ilmastoskenaariosta metsien maksimaalinen hyödyntäminen (aines- ja/tai energiapuuna) lähitulevaisuudessa vähentää mahdollisuuksia niiden käyttöön tarkastelujakson loppupuolella (Kärkkäinen ym. 2008, Kuva 1.). Lisäksi analyyseissä havaittiin kuusen päätehakuista saatavissa olevan energiapuun määrän vähenevän vuoden 2022 jälkeen kaikilla skenaarioilla nykytilanteeseen verrattuna (Kärkkäinen ym. 2008). Koska valtaosa käytettävästä metsäenergiasta tulee tällä hetkellä kuusikoiden

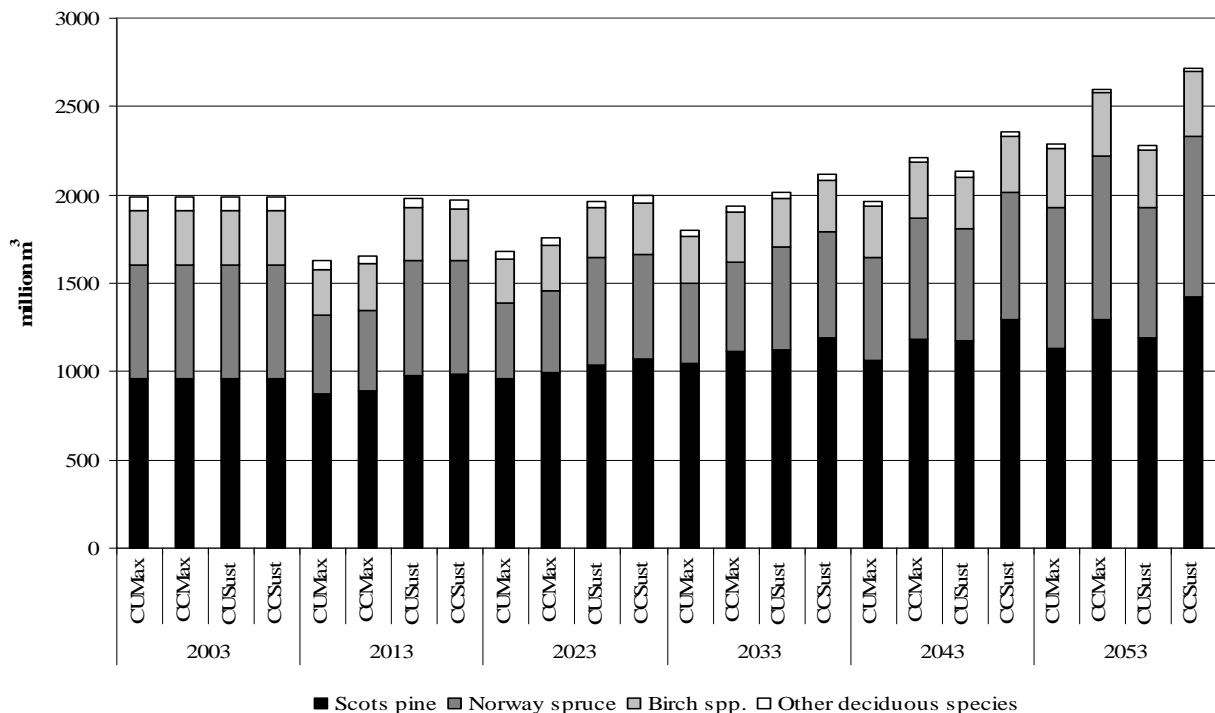
päättehakuista, lisää tämä tarvetta kehittää muista hakkuista hankittavan energiapuun saatavuutta ja hyödyntämistä, mikäli puuperäisen energiapuun käyttöä halutaan tulevaisuudessa lisätä.

Hankkeessa tehtyjen laskelmien mukaan ilmaston lämpenemisen ja hiilidioksidin määrän kasvun vaikutuksesta lisääntyvällä puuston kasvulla on kuitenkin selvä vaikutus metsävarojen kehitykseen, puubiomassan saatavuuteen ja puustoon sitoutuvan hiilen määrään, ja tämä vaikutus näkyy etenkin tarkastelujakson loppupuolella (Kärkkäinen ym. 2008, Kuva 2., Matala ym. 2009, Kuva 3.). Esimerkiksi simulointijakson alussa metsien maksimaalinen hyödyntämisen skenaario johtaa uudistushakkuiden myötä tapahtuvaan puuston hiilen määrän pienenemiseen, mikä kompensoituu laskentajakson lopussa nopeassa kasvun vaiheessa olevien nuorten metsien sekä määrän että kasvun lisääntyessä. Metsävaraennusteissa oli havaittavissa myös alueellisia eroja. Pohjois-Suomessa ilmastonmuutoksen kasvua lisäävä vaikutus näkyy Etelä-Suomea selvemmin jo simulointijakson puolivälissä (Matala ym. 2009, Kuva 3.). Simulointien viimeisillä jaksoilla ilmastonmuutoksen kasvua lisäävä vaikutus näkyy koko Suomessa sekä lisääntyvänä hakkuupotentiaalina että puuston ja siihen sitoutuneen hiilen määränä (Kärkkäinen ym. 2008, Matala ym. 2009).

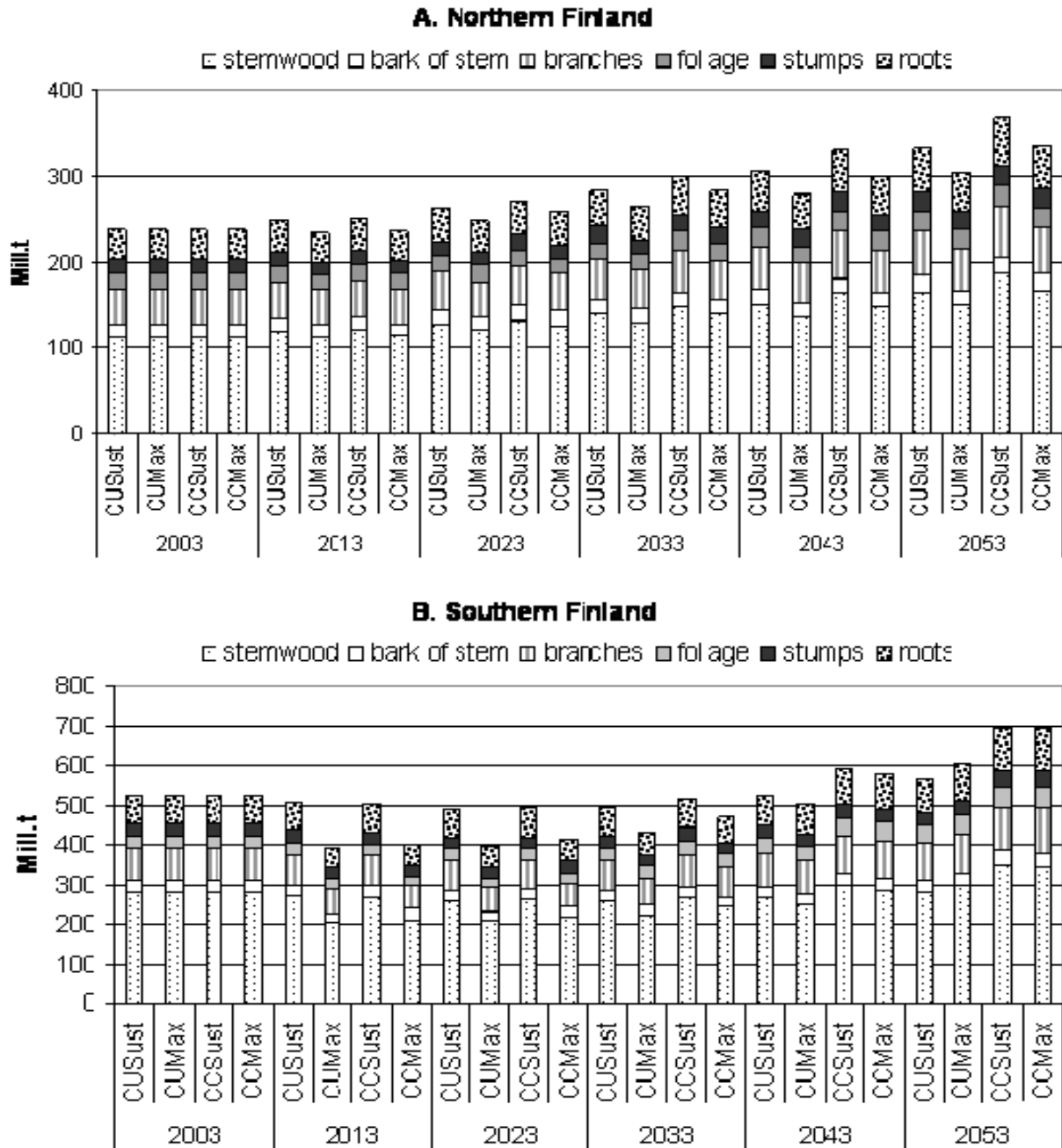
Ilmastonmuutoksen vaikutuksista hankkeessa tarkasteltiin kvantitatiivisesti vain kasvun lisääntymistä ja sen vaikutusta metsävaroihin. Ilmastonmuutos voi vaikuttaa metsiin suoraan myös sään ääri-ilmiöiden lisääntymisen myötä, jolloin esimerkiksi metsien myrskytuhot voivat lisääntyä tai esimerkiksi kuivuus voi heikentää puiden kasvua.



Kuva 1. Keskimääräinen vuosittainen hakkuukertymä (mill. m³/ koko Suomi) simuloituilla 10-vuotisjaksoilla. Skenaarioiden selitteet: Kaavio 1. Lähde: Kärkkäinen ym. 2008.



Kuva 2. Suomen puuvarannon (mill. m³) puulajeittainen kehitys hankkeen simulointilaskelmien mukaan vuosina 2003-2053. Skenaarioiden selitteet: Kaavio 1. Lähde: Kärkkäinen ym. 2008.



Kuva 3. Hiilen määrän (mill.t) kehitys elävän puuston eri ositteissa hankkeen simulointilaskelmien mukaan vuosina 2003-2053 Pohjois- (A) / Etelä-Suomi (B) -jaolla. (Pohjois-Suomi käsittää Lapin, Oulun ja Kainuun Metsäkeskusten alueet, Etelä-Suomi loput). Skenaarioiden selitteet: Kaavio 1. Lähde: Matala ym. 2009.

Tuhoriskit

Metsätuhojen riskiä on hankkeessa käsitelty hyönteistuhojen osalta kirjallisuustarkasteluin (Vanhanen ym. 2010) ja alustavin laskelmin, joissa tarkastellaan metsien ikärakentaa muutosta IlmastoMELA skenaariossa suhteessa mäntypistiäisten massatuhon aikana suosimiin ikäluokkiin.

Nykyilmastossa laaja-alaisempia tuhohyönteisiä ovat männiköissä kasvutappioita aiheuttavat rusko- ja pilkkumäntypistiäiset, joiden massaesiintymisiä tapahtuu ajoittain edullisissa olosuhteissa esim. kuivien ja lämpimien kesien yhteydessä. Metsäntutkimuslaitos seuraa pistiäiskantojen kehitystä, ja tarvittaessa torjuntaa voidaan suorittaa ruiskutuksilla. Muita merkittäviä tuholaisia ovat erityisesti havupuuväestöjen lähellä ytimenävertäjät ja havutikaskuoriaiset. Kuusikoille vahinkoja aiheuttavat kirjanpainajat, joilla ei kuitenkaan Suomessa ole toistaiseksi havaittu laajoja massaesiintymisiä. Tunturikoivikoille laajamittaista tuhoa ovat aiheuttaneet tunturimittarit ja viime vuosina myös hallamittarit.

Epäsuorasti ilmastonmuutos voi vaikuttaa metsiin esimerkiksi lisääntyvän tuhohyönteisriskin kautta, mikäli sääolosuhteet muuttuvat hyönteisille suotuisemmiksi (Vanhanen ym. 2010) tai mikäli metsien rakenne muuttuu tuhohyönteisiä suosivaan suuntaan. Koska Suomi on monien tuhohyönteisten näkökulmasta nykyään ilmastollista äärialueita, voi ennustettu lämpeneminen lisätä niiden massaesiintymisten riskiä. Tällaisia lajeja ovat jo nykyisin Suomessa ilmenevistä lajeista rusko- ja pilkkumäntypistiäiset, kirjanpainajat, havununna ja myös tunturi- ja hallamittarit. Mikäli ilmastonmuutos lisää myös myrskytuhoja voivat ne puolestaan lisätä kirjanpainajien ja ytimenävertäjien massaesiintymisten riskiä, jos kaatunutta puustoa ei saada tehokkaasti korjattua maastosta. Olosuhteiden parantuessa voi Suomeen myös levitä uusia tuhohyönteislajeja, esimerkiksi lehtinunna.

IlmastoMELA:lla tehtyjen skenaariolaskelmien metsien ikärakenteeseen perustuvissa mäntypistiäisten tuhoriskitarkasteluissa havaittiin riskin olevan enemmän riippuvainen metsien käsittelyskenaariosta kuin ilmastoskenaariosta. Alustavien tulosten mukaan näiden tuhojen riski säilyy suurempana Etelä- kuin Pohjois-Suomessa, mutta jatkoanalyysit tarkentavat tuloksia pienemmälle aluetasolle (Metsäkeskustaso).

Sopeuttava metsänhoito

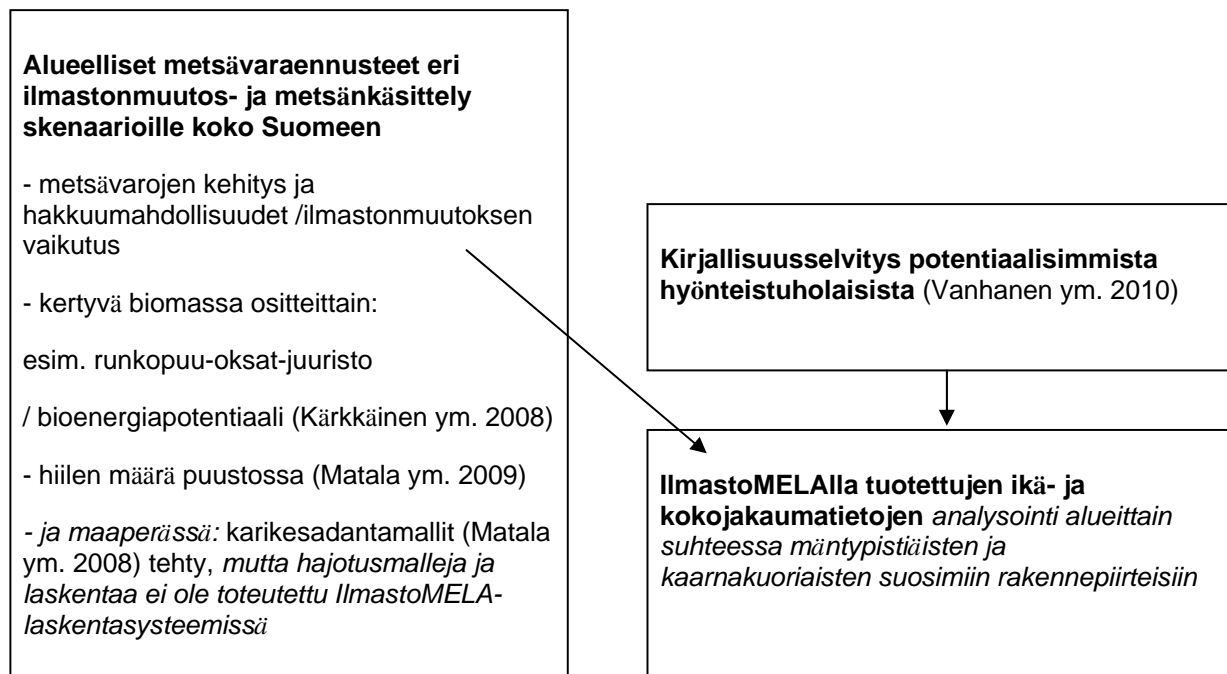
Metsien käytön ja hoidon vahva vaikutus metsävarojen kehitykseen tämän hankkeen simuloinneissa osoittaa myös metsänhoidon mahdollisuuksia metsien sopeuttamisessa muuttuviin olosuhteisiin. Ilmastonmuutokseen sopeuttavalla metsienhoidolla voidaan tarkoittaa esimerkiksi paremmin uusiin olosuhteisiin sopeutuvan geneettisen alkuperän tai puulajin käyttöä metsien uudistamisessa, harvennusten ja päätehakkuiden aikaistamista lisäkasvun hyödyntämiseksi, metsien kasvukunnon ylläpitämiseksi ja tuhoriskien vähentämiseksi (Kellomäki ym. 2008). Metsien sopeutuminen kuitenkin tapahtuu suurelta osin nykyisen metsänkäsittelyn aikaansaaman metsien ominaisuuksien pohjalta ekologisten tekijöiden ohjaamana, koska metsien kehitys ja sitä kautta siihen vaikuttaminen aktiivisella hoidolla on hidasta.

Sopeuttavaa metsänhoitoa ei suoraan tutkittu hankkeessa, mutta tehdyissä metsävaralaskelmissa harvennushakkuista kertyvän puuston määrä suhteessa päätehakkuiden puumäärään kasvoi metsien ikärakenteen ja ilmastonmuutoksen kasvuvaikutusten seurauksena, mikä osoittaa harvennushakkuiden merkityksen lisääntymistä tulevaisuuden puunhankinnassa (Kärkkäinen ym. 2008, Matala ym. 2009). Tämä yhdessä leudontuvien talvien kanssa lisää tarvetta kehittää

korjuuteknologiaa, joka soveltuu myös sulan maan aikaan ja myös turvemailla tehtäviin harvennushakkuisiin ja mahdollistaa niiden lisäämisen aiheuttamatta vahinkoja jäävälle puustolle. Tuhoriskien, kuten juurikäpäongelmat (Mattila & Nuutinen 2007) jo nyt ja lisäksi ilmastonmuutoksen mahdollisesti aiheuttamat kuivuusongelmat (Kellomäki ym. 2008), vähentämisen kannalta Etelä-Suomen kuusikoiden sopeuttava metsänhoito voi muodostua haastavaksi. Mahdollisuutena voisi tässä olla puulajin vaihto karuimmilla kasvupaikoilla männyille ja rehevämmillä koivulle.

3.3 Toteutusvaiheen arviointi

Tutkimuksen käytännön toteutuksen vastuu oli hankkeeseen saadulla rahoitukselle palkatulla tutkijalla (Juho Matala). Käytettävissä olevien resurssien jäätyä alkuperäisessä tutkimussuunnitelmassa esitettyä tarvetta pienemmäksi tutkimuksen tavoitteita tarkistettiin hankkeen aikana (tarkistukset esitettiin väliraporteissa) ja osa tavoitteista tarvitsee jatkotyötä (Kaavio 2), jota toteutetaan ainakin osittain Metlan omien tutkimushankkeiden puitteissa. Pää tavoitteena esitetyt metsävaralaskelmat Suomeen ilmastonmuutosoloissa ja niiden analysointi puuston hiilen määrän (Matala ym 2009) ja bioenergiapotentiaalin suhteen (Kärkkäinen ym. 2008) saatiin toteutettua suunnitelman mukaan, mutta maaperän hiilen laskentaa niissä ei toteutettu. Mallisysteemin täydentämiseksi näiltä osin hiililaskennan tarpeisiin tehtiin karikesadantaa kuvaavat mallit (Matala ym. 2008). Monimuotoisuusindikaattorien käyttöä metsävaralaskelmien yhteydessä ei toteutettu hankkeen aikana. Tuhoriskien arvioinnissa keskityttiin hyönteistuholaisiin kirjallisuuskatsauksella (Vanhanen ym. 2010) ja riski-indeksien laadinta muutettiin metsävaralaskelma-aineistoon paremmin soveltuvaksi kriittisten rakennepiirteiden arvioinniksi, mistä on tähän mennessä saatu alustavia tuloksia mäntypistiäisten osalta.



Kaavio 2. Saavutetut tulokset ja tutkimustyössä kesken olevat analyysit. Kesken olevat asiat kursivilla.

3.4 Hankkeen julkaisut:

Tieteelliset referoidut julkaisut:

- Briceno-Elizondo, E., Garcia-Gonzalo, J., Peltola, H., Matala, J. & Kellomäki, S. 2006. Sensitivity of growth of Scots pine, Norway spruce and silver birch to climate change and forest management in boreal conditions. *Forest Ecology and Management* 232(1-3): 152-167.
- Matala, J., Ojansuu, R., Peltola, H., Raitio, H. & Kellomäki, S. 2006. Modelling the response of tree growth to temperature and CO₂ elevation as related to the fertility and current temperature sum of a site. *Ecological Modelling* 199(1): 39-52.
- Nuutinen, T., Matala, J., Hirvelä, H., Härkönen, K., Peltola, H., Väisänen, H. & Kellomäki, S. 2006. Regionally optimized forest management under changing climate. *Climatic Change* 79(3-4): 315-333.
- Mattila, U. & Nuutinen, T. 2007. Assessing the incidence of butt rot in Norway spruce in southern Finland. *Silva Fennica* 41(1): 29-43.
- Nuutinen, T., Hirvelä, H., Salminen, O. & Härkönen, K. 2007. Alueelliset hakkuumahdollisuudet valtakunnan metsien 10. inventoinnin perusteella, maastotyöt 2004-2006. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/2007: 215-248.
- Matala, J., Kellomäki, S. and Nuutinen, T. 2008. Litterfall in relation to volume growth of trees – analysis based on literature. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23(3):194-202.
- Kärkkäinen, L., Matala, J., Härkönen, K., Kellomäki, S. and Nuutinen, T. 2008. Potential recovery of industrial wood and energy wood raw material in different cutting and climate scenarios for Finland. *Biomass & Bioenergy* 32:934-943.
- Kellomäki, S., Peltola, H., Nuutinen, T., Korhonen, K.T. & Strandman, H. 2008. Sensitivity of managed boreal forests in Finland to climate change, with implications for adaptive management. *Philosophical Transactions of the Royal Society B, Biological Sciences* 363: 2341-2351.
- von Gadow, K., Nuutinen, T. & Kellomäki, S. 2008. Adaptive design of forested landscapes. In: von Gadow, K. & Pukkala, T. (eds.). *Designing green landscapes. Managing Forest Ecosystems* 15: 3-30.
- Matala, J., Kärkkäinen, L., Härkönen, K., Kellomäki, S. & Nuutinen, T. 2009. Carbon sequestration in the growing stock of trees in Finland under different cutting and climate scenarios. *European Journal of Forest Research* 128(5): 493-504.
- Nuutinen, T., Kärkkäinen, L., Matala, J. 2010. Potential removals of roundwood for industry and energy, and remaining carbon in the growing stock for different cutting and climate scenarios in Finland. Manuscript in print, *French Forest Review*.

Muut julkaisut:

- Matala, J., Niemelä, P. & Nuutinen, T. The role of pest insect damages in the development of regional forest resources under changing climate. Abstrakti: *Adaptation of Forests and Forest Management to Changing Climate with Emphasis on Forest Health: A Review of Science, Policies, and Practices*; Umeå, Sweden, 25.-28.8.2008. <http://www.forestadaptation2008.net/media/16250/1/0/> s.161.
- Nuutinen, T., Kärkkäinen, L. & Matala, J. 2008. Potential removals of roundwood for industry and energy, and remaining carbon in the growing stock for different cutting and climate scenarios in Finland. *Recolte potentielle de bois rond pour l'industrie et l'énergie, et stock de carbone sur pied en forêt selon différents scénarios sylvicoles et climatiques en Finlande*. Abstrakti: *Abstracts of International Conference The European Forest-Based Sector: Bio-Responses to Address New Climate and Energy Challenges?*

Organized under the auspices of the French Presidency of the Council of the European Union. http://www.gip-ecofor.org/docs/34/rsums_confancy2008_20081105.pdf s.20-21.

Matala, J. 2009. Kirjoitus verkkosivuille: Alueelliset metsävaraennusteet muuttuvassa ilmastossa. Metsävaratietojärjestelmän ja metsäsuunnittelun tutkimus- ja kehittämisohjelma (MSU), Uutiskirje 2/2009, <http://www.metla.fi/uutiskirje/msu/2009-2/index.html> .

Vanhanen, H., Matala, J., Neuvonen, S. ja Nuutinen, T. 2009. Climate change, forest resources and forest pests in Finland. Käsikirjoitus.

4. Tulosten arviointi

4.1 Tulosten käytännön sovellutuskelpoisuus

Tässä tutkimuksessa kehitetty lähestymistapa ja saadut tulokset tarjoavat uuden välineen metsä-, teollisuus-, energia- ja ilmastopolitiikan poikkisektoraaliseen valmisteluun ja toteutukseen. Hankkeessa sovellettu yksittäisiin puihin perustuva laskentamalli mahdollistaa hiilinielujen ja –varastojen eri komponenttien yhteismitallisen laskennan seuranta- ja suunnittelutehtävissä eri tasoilla kotimaassa ja kansainvälisesti.

VMI-aineistoon perustuvilla MELA-laskelmilla voidaan tuottaa KHK-tilastoinnin kanssa yhteensopivia tietoja mm. energiapuukäytön tavoitteiden mitoittamiseen (Nuutinen ym. 2010) KMO- ja AMO-prosesseissa. Lisäksi MELA-laskelmien ja niihin pohjautuvien tuhoriskiarvioiden avulla voidaan jatkossa tarkastella vaihtoehtoisten hakkuustrategioiden seurausvaikutuksia. Tulosten perusteella voidaan esimerkiksi arvioida, lisääkö joku tietty hakkuustrategia sellaisten metsäkohteiden määrää, jotka ovat alttiimpia ilmastonmuutoksen vaikutuksille tai sen ja tuholaisen yhteisvaikutuksille tai mikä on ilmastonmuutoksen rooli eri hakkuustrategioissa.

Hankkeessa tehtyjen skenaariolaskelmien tuloksissa esille nousee harvennushakkuiden merkityksen korostuminen tulevaisuudessa. Tämä ja samoin havaittu kuusikoiden päätehakkuiden väheneminen osoittaa tarvetta kehittää erityisesti harvennushakkuista hankittavan energiapuun saatavuutta ja hyödyntämistä, mikäli puuperäisen energiapuun käyttöä halutaan tulevaisuudessa edelleen lisätä. Harvennushakkuiden osuuden lisääntyessä on tarpeen kiinnittää kasvavaa huomiota myös korjuuvaurioiden minimoimiseen ja kuusikoissa juurikäävän torjuntaan.

4.2 Tulosten tieteellinen merkitys

Julkaisut energiapuun saatavuuden ja hiilen määrän (Kärkkäinen ym. 2008, Matala ym. 2009, Nuutinen ym. 2010) suhteesta ilmastonmuutokseen soveltavat uutta ilmastonmuutoksen kasvuaikutusten laskentamenetelmää ja yhdistävät ensimmäistä kertaa metsäaluetason suunnittelun ja käsittelyn optimoinnin puu- ja metsikkötason kasvuennusteisiin tämän kaltaisissa laskelmissa.

Karikesadannan mallinnus puiden kasvuun sitoen (Matala ym. 2008) mahdollistaa osaltaan kokonaisvaltaisemmat laskelmat metsien hiilitaseesta, koska käyttämässämme menetelmässä voidaan huomioida elävän puuston sisältämän hiilen lisäksi myös maahan kertyvä puista variseva aines. Kehitetyn mallin avulla voidaan huomioida myös erilaisten ja eri tavalla eri skenaarioissa käsiteltyjen metsiköiden erot kariketuotannossa, koska kariketuotannon ollessa linkitettyä suoraan puiden tilavuuden kasvuun saadaan myös karikkeen laskenta dynaamisesti riippuvaiseksi kasvuolosuhteissa (ilmastonmuutos, metsiköiden ominaisuudet) tapahtuviin muutoksiin. Jatkokehitystyössä tämän aineksen maassa tapahtuvan hajoamisen liittäminen mallisysteemiin olisi tärkeää.

Hankkeessa kehitetty tuhoriskien arvioiminen resurssinäkökulmasta (eli alttiiden metsien osuuden muutoksen kautta) täydentää aiempia tuohyönteispopulaatioiden muutoksen kautta tehtyjä ilmastonmuutostarkasteluja, ja nämä yhdistämällä voidaan jatkossa arvioida aiempaa tarkemmin tuohyönteisriskien kehittymistä.

5. Loppuraportin tiivistelmä:

Liite 1.

Raportissa käytetyt lähdeviitteet:

- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H. & Haapala, P. 2002. Models for predicting stand development in MELA System. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 835. 116 s.
- Kellomäki, S., Peltola, H., Nuutinen, T., Korhonen, K.T. & Strandman, H. 2008. Sensitivity of managed boreal forests in Finland to climate change, with implications for adaptive management. *Philosophical Transactions of the Royal Society B, Biological Sciences* 363: 2341-2351.
- Kilpeläinen, A., Peltola, H., Ryyppö, A. & Kellomäki, S. 2005. Scots pine responses to elevated temperature and carbon dioxide concentration: growth and wood properties. *Tree Physiology* 25: 75-83.
- Kärkkäinen, L. 2005. Evaluation of performance of tree-level biomass models for forestry modeling and analyses (väitöskirja). Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja - The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 940. 108 p. + litteet
- Kärkkäinen, L., Nuutinen, T., Salminen, O. & Korhonen, K.T. 2005a. MELA-malliin perustuva arviointi. Julkaisussa: Hilden, M., Auvinen, A.-P. & Primmer, E. (toim.). Suomen biodiversiteettiohjelman arviointi. *Suomen Ympäristö* 770: 25-27.
- Kärkkäinen, L., Nuutinen, T., Salminen, O. & Korhonen, K.T. 2005b. MELA-laskelmiin perustuvat pitkän aikavälin tarkastelut. Julkaisussa: Hilden, M., Auvinen, A.-P. & Primmer, E. (toim.). Suomen biodiversiteettiohjelman arviointi. *Suomen Ympäristö* 770: 102-108.
- Kärkkäinen, L., Matala, J., Härkönen, K., Kellomäki, S. and Nuutinen, T. 2008. Potential recovery of industrial wood and energy wood raw material in different cutting and climate scenarios for Finland. *Biomass & Bioenergy* 32:934-943.
- Matala, J. 2005. Impacts of climate change on forest growth: a modelling approach with application to management. *Dissertationes Forestales* 7. 26s + osajulkaisut. <http://www.metla.fi/dissertationes/df7.htm>
- Matala, J., Ojansuu, R., Peltola H., Sievänen, R. and Kellomäki, S. 2005. Introducing effects of temperature and CO2 elevation on tree growth into a statistical growth and yield model. *Ecological Modelling* 181: 173-190.
- Matala, J., Kellomäki, S. and Nuutinen, T. 2008. Litterfall in relation to volume growth of trees – analysis based on literature. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23(3):194-202.
- Matala, J., Kärkkäinen, L., Härkönen, K., Kellomäki, S. & Nuutinen, T. 2009. Carbon sequestration in the growing stock of trees in Finland under different cutting and climate scenarios. *European Journal of Forest Research* 128(5): 493-504.
- Mattila, U. & Nuutinen, T. 2007. Assessing the incidence of butt rot in Norway spruce in southern Finland. *Silva Fennica* 41(1): 29-43.
- Metsäntutkimuslaitos. 2004. Selvitys Suomen metsien koskevista nieluarvioista. Maa- ja metsätalousministeriön tilaama muistio. 10.11.2004.
- Niemelä, P., Chapin, F.S.III., Danell, K. and Bryant, J.P., 2001. Herbivory-mediated responses of selected boreal forests to climatic change. *Climatic Change* 48: 427 – 440.

- Nuutinen, T., Hirvelä, H. & Salminen, O. 2005a. Etelä-Suomen metsien kehitys - vuosille 2001-2005 tehtyjen alueellisten metsäohjelmien vaikutusanalyysi. Metlan työraportteja 12. 22 s.
- Nuutinen, T., Hirvelä, H. & Salminen, O. 2005b. Alueelliset hakkuumahdollisuudet Suomessa. Metlan työraportteja 13. 73 s.
- Nuutinen, T., Matala, J., Hirvelä, H., Härkönen, K., Peltola, H., Väisänen, H. & Kellomäki, S. 2006. Regionally optimized forest management under changing climate. *Climatic Change* 79(3-4): 315-333.
- Nuutinen, T., Kärkkäinen, L., Matala, J. 2010. Potential removals of roundwood for industry and energy, and remaining carbon in the growing stock for different cutting and climate scenarios in Finland. Manuscript in print, *French Forest Review*.
- Nuutinen, T. & Salminen, O. 1999. Hakkuumahdollisuusarviot. Julkaisussa: Reunala, A., Halko, L. & Marila, M. (toim.). Kansallinen metsäohjelma 2010 - Taustaraportti. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 6/1999: 124-131.
- Percy, K.E., Awmack, C.S., Lindroth, R.L., Kubiske, M.E., Kopper, B.J., Isebrands, J.G., Pregitzer, K.S., Hendrey, G.R., Dickson, R.E., Zak, D.R., Oksanen, E., Sober, J., Harrington, R. and Karnosky, D.F., 2002. Altered performance of forest pests under atmospheres enriched by CO₂ and O₃. *Nature* 420: 403 – 407.
- Pussinen, A., Karjalainen, T., Mäkipää, R., Valsta, L. ja Kellomäki, S. 2002. Forest carbon sequestration and harvests in Scots pine stand under different climate and nitrogen deposition scenarios. *Forest Ecology and Management* 158: 103-115.
- Saxe, H., Cannell, M.G.R., Johnsen, Ø, Ryan, M.G. and Vourlitis, G. 2001. Tree and forest functioning in response to global warming. *New Phytologist* 149: 369-400.
- Sievänen, R. 2000. Kansallisen ilmasto-ohjelman metsätoimialan taustaselvitys. Maa- ja metsätalousministeriön tilaama muistio. 2.5.2000. Metsäntutkimuslaitos.
- Sievänen, R., Kareinen, T., Hirvelä, H. & Ilvesniemi, H. 2007. Hakkuumahdollisuusarvioihin perustuvat metsien kasvihuonekaasutaseet. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2007: 329-339.
- Vanhanen, H., Matala, J., Neuvonen, S. ja Nuutinen, T. 2010. Climate change, forest resources and forest pests in Finland. Käsikirjoitus.