

Hankkeen nimi:

Metsien tuuli- ja lumituhoriskien hallinta ja metsänhoidon sopeuttamistarve muuttuvassa ilmastossa (The evaluation of the need to adapt forest management in order to consider the risks of wind- and snow-induced damage to forests under changing climate)

Rahoituksen saajat: Joensuun yliopisto / Itä-Suomen yliopisto (1.1.2010 alkaen)
(rahoitus enintään 100% hyväksyttävistä lisäkustannuksista) ja Ilmatieteen laitos (rahoitus enintään 50% hyväksyttävistä kokonaiskustannuksista)

Vastuullinen johtaja: Heli Peltola, Itä-Suomen yliopisto, Metsätieteiden osasto, PL 111, 80101 Joensuu

Tutkimuksen määräaika: Hyväksyttävien kustannusten osalta **1.1.2009-31.3.2010**,
rahoituspäätös 16.2.2009 (Loppuraportti 31.3.2010)

Rahoitusta myönnetty (MMM): 45 000 €

Avainsanat: Tuulituho, lumituho, maan routaisuus, metsänhoito, riskien hallinta, ilmastonmuutos

1. Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää miten nykyistä metsänhoitoa tulisi sopeuttaa muuttuvassa ilmastossa, jotta kyettäisiin huomioimaan metsien hoidossa metsien tuuli- ja lumituhoriskit. Hankkeen osatavoitteet olivat seuraavanlaiset: 1. Analysoida kuinka ilmastonmuutos vaikuttaa Suomessa kovien tuulten ja lumituhoon tarvittavien lumisadantaepisodioiden esiintymisriskiin (alueellinen ja ajallinen vaihtelu, todennäköisyys/toistuvuus) sekä maan routaisuuteen perustuen useiden eri ilmastomallien tuottamiin skenaarioihin; 2. Analysoida nykyisten metsänhoitokäytäntöjen soveltamisen vaikutuksia pääpuulajeillamme (mänty, kuusi ja koivu) metsien tuuli- ja lumituhoriskeihin nyky- ja muuttuvassa ilmastossa perustuen prosessipohjaisilla kasvu- ja tuotomalleilla ja mekaniisilla tuuli- ja lumituhomallilla tehtäviin mallilaskelmiin metsänhoidon vaikutuksista metsien tuhoriskeihin (analyysit: puu-, metsikkö-, metsäalue- ja valtakunnan tasolla); 3. Arvioida metsänhoidon sopeuttamistarvetta Suomessa tilanteessa, jossa kovien tuulten ja puiden suurten lumikertyminen alueellinen jakauma ja toistuvuudet ovat muuttumassa sekä maan roudaton aika on lisääntymässä. Muutokset roudan esiintymisessä heikentävät oleellisesti puiden ankkuroitumista maahan myöhäisyyksystä varhaiskevääseen ja vaikuttavat myös maan kantavuuteen ja puunkorjuun edellytyksiin.

2. Tutkimusosapuolet ja yhteistyö

Tutkimushankkeeseen osallistuivat Joensuun yliopisto, 1.1.2010 alkaen Itä-Suomen yliopisto (JOY) ja Ilmatieteen laitos (IL). Koko hankkeen johtamisesta sekä JOY:n osuudesta hankkeessa vastasi MMT, dosentti Heli Peltola Itä-Suomen yliopistosta ja FT Ari Venäläinen IL:stä vastasi heidän osuudesta. Hankkeeseen osallistui JOY:stä myös prof. Seppo Kellomäki ja osin hankerahoituksella mallintaja FM Hannu Väisänen ja FT, tutkijatohtori Veli-Pekka Ikonen. IL:stä Ari Venäläisen lisäksi hankkeessa työskentelivät tutkijat, FM Hilppa Gregow ja Saku Seppo.

IL:la oli päävastuu hankkeessa kovien tuulten ja lumituhoon tarvittavien lumisadantaepisodioiden esiintymisriskin (alueellinen ja ajallinen vaihtelu, todennäköisyys/toistuvuus) sekä maan routaisuuden analysoinnista nyky- ja muuttuvassa ilmastossa. Vastaavasti JOY:n vastuulla oli mallilaskemat nykyisten metsänhoitokäytäntöjen soveltamisen vaikutuksista metsien tuuli- ja lumituhoriskeihin nyky- ja muuttuvassa ilmastossa (puu-, metsikkö-, metsäalue- ja valtakunnan tasolla). Lisäksi JOY:n ja IL:n oli yhdessä määrä arvioida metsänhoidon sopeuttamistarvetta Suomessa em. laskelmiin perustuen.

3. Tutkimuksen tulokset

3.1 Tutkimusmenetelmät ja aineisto

Simulointimallit (JOY). Tässä työssä hyödynnettiin mallilaskelmissa olemassa olevia Joensuun yliopiston (JOY) metsätieteellisessä tiedekunnassa kehitettyjä malleja: 1) mekaniisista tuuli- ja lumituhomallia (HWIND), jolla voidaan laskea puiden kaatumiseen ja katkeamiseen tarvittavia kriittisiä tuulenopeuksia ja lumikuormia, ja 2) prosessipohjaisia kasvu- ja tuotomalleja (FinnFor ja SIMA), joiden avulla voidaan tutkia metsänhoidon ja ilmastonmuutoksen vaikutusta metsien kasvuun ja kehitykseen pääpuulajeillamme (syöttötiedot HWIND mallilaskelmiin), mutta myös puuston vaikutusta lumen kertymiseen metsikössä ja maan routaisuuteen. Kaikki em. mallit ovat monipuolisesti validoidut aiemmissa tutkimushankkeissa. Em. mallien avulla simuloitiin tässä hankkeessa nykyisten metsänhoitokäytäntöjen soveltamisen vaikutuksia pääpuulajeillamme (mänty, kuusi ja koivu) puuston kehitykseen (kasvu ja puulajisuhteet) ja/tai hakkuupotentiaaliin sekä metsien tuuli- ja lumituhoriskeihin sekä ns. nyky- (1971-2000) että muuttuvassa ilmastossa (pääosin FinAdapt, osin ACCLIM ilmastonmuutosskenaario) puu-, metsikkö-, metsäalue- ja/tai valtakunnan tasolla.

Mallilaskelmat – puustotunnusten vaikutuksista metsien tuuli- ja lumituhoriskeihin (JOY). HWIND mallilla tutkittiin (1) herkkyyksianalyysin avulla miten eri puusto- ja metsikkötason tunnuksat (puulaji, puun pituus ja solakkuus, puuston tiheys, avohakkuualan koko tai vastaavasti tuulenpuoleisen puuston tarjoama suojavaikutus) vaikuttavat puiden kaatumiseen ja/tai katkeamiseen tarvittaviin tuulennopeuksiin ja/tai lumikuormiin männyllä, kuusella ja koivulla. Lisäksi (2) tehtiin esimerkkisimulointeja FinnFor mallilla männyllä ja kuusella taimikonhoidon jälkeisen kasvatusstiheyden ja puuston harventamisen vaikutuksesta (esim. perusmetsänhoito vs. energiapuuharvennus) puuston kehitykseen kiertoajan kuluessa. Tässä yhteydessä HWIND mallilla simuloitiin ko. metsiköissä eri asemassa (valtapuut ja vallitut puut) olevien puiden kaatumiseen tarvittavaa tuulennopeutta ns. nykyilmastossa (esimerkkinä Joensuun ilmastolliset olosuhteet). Vastaavasti (3) metsäkeskus- ja valtakunnan tasolla tehtiin mallisimulointeja SIMA- ja HWIND malleilla 2001-2100 ja tutkittiin miten metsänhoito (ns. hoitamattomuus, puulajisuhteita ei aktiivisesti ohjata taimikonhoidossa ja harvennuksissa, vs. tehokas metsänhoito) ja ilmastomuutos vaikuttavat yhdessä ja erikseen metsien kehitykseen (mm. puuston kasvu, metsien rakenne, esim. puulajisuhteet) ja hakkuupotentiaaliin ja vastaavasti metsien tuulituhoriskeihin nyky- ja muuttuvassa ilmastossa (FinAdapt, ACCLIM, IL tuotti ilmastomuutoskenaariot).

FinAdapt skenaariossa oletettiin, että 2100 mennessä lämpötila kohoaa Suomessa keskimäärin 4,5 astetta, nousun ollessa suurempi talvi- kuin kesäaikaan. Vastaavasti vuotuisen sadannan oletetaan kasvavan noin 20% ja enemmän talvella kuin kesällä. ACCLIM skenaariossa lämpötila – ja sadanta nousee keskimäärin lähes samalla tavalla, toisaalta kesällä sateisuus lisääntynee prosentuaalisesti enemmän ja talvella vähemmän kuin FinAdapt skenaariossa (ks. **Kuva 10**). Em. mallilaskelmissa käytettiin lähtöpuustona sekä teoreettisia puustoja (puu- ja metsikkötason tarkastelut) että olemassa olevaa VMI-aineistoa (aluetason ja valtakunnan tason tarkastelut).

Eri tuulennopeuksien, lumikuormien ja roudan ajallinen ja alueellinen toistuvuus nyky- ja muuttuvassa ilmastossa (IL). Metsien tuuli- ja lumituhoriskeiden arvioimiseksi selvitettiin todennäköisyydet/toistuvuudet kovien tuulten ja suurten puiden lumenkertymien ajallisesta ja alueellisesta vaihtelusta eri puolilla Suomea (7 valitulle havaintosääasemalle, Etelä-, Keski-, Pohjois-, Itä- ja Länsi-Suomi) nykyilmastossa. Lumenkertymät (puiden oksille) laskettiin IL:n havaintoverkoston havaintojen pohjalta hyödyntäen mallia, jossa otetaan huomioon mitattu sademäärä, ilman lämpötila ja tuulennopeus (Gregow ym. 2008). Havaintoasemille saadut arvot interpoloitiin hilaruudukkoon (ruutukoko muutamia kilometrejä), hyödyntäen myös lumisateen määrään vaikuttavia taustamuuttujia (järvet, meret, maaston korkeus, maaston muodot). Lisäksi analysoitiin maaroudan kehitystä ilman puuston ja lumen vaikutusta sekä vastaavasti kovien tuulennopeuksien ja/tai suurten lumikuormien esiintymistä eri roudan syvyyksillä em. havaintosääasemilla sekä tuotti kovien tuulten suunnan keskimääräiset jakaumat (vv. 1971-2000).

Eri ilmastomallien tuottamiin tuloksiin (9 erilaista mallia vertailussa) perustuen arvioitiin myös Suomessa odotettavissa olevan ilmastomuutoksen vaikutuksia voimakkaiden tuulten esiintymisriskiin ja muutokseen verrattuna nykytilanne (alueellinen ja ajallinen vaihtelu, todennäköisyys ja toistuvuus). Käyttämällä useamman ilmastomallin ja vaihtoehtoisten ilmastoskenaarioiden tuottamaa tietoa tarkastelussa, saatiin myös käsitys eri skenaarioiden antamasta vaihtelusta. FinAdapt ilmastomuutoskenaarioon perustuen tutkittiin myös puuston lumituhoulttiutta muuttuvassa ilmastossa eri puolilla Suomea (eri metsäkeskusten alueet) verrattuna nykyilmasto (puuston kehitys, SIMA; lumenkertymismalli, IL, Gregow ym. 2008; ks. Kilpeläinen ym. 2010) sekä maan routaisuuden vastaavaa kehitystä (FinnFor) eri puolilla Suomea (ks. Kellomäki ym. 2010).

3.2 Tutkimustulokset

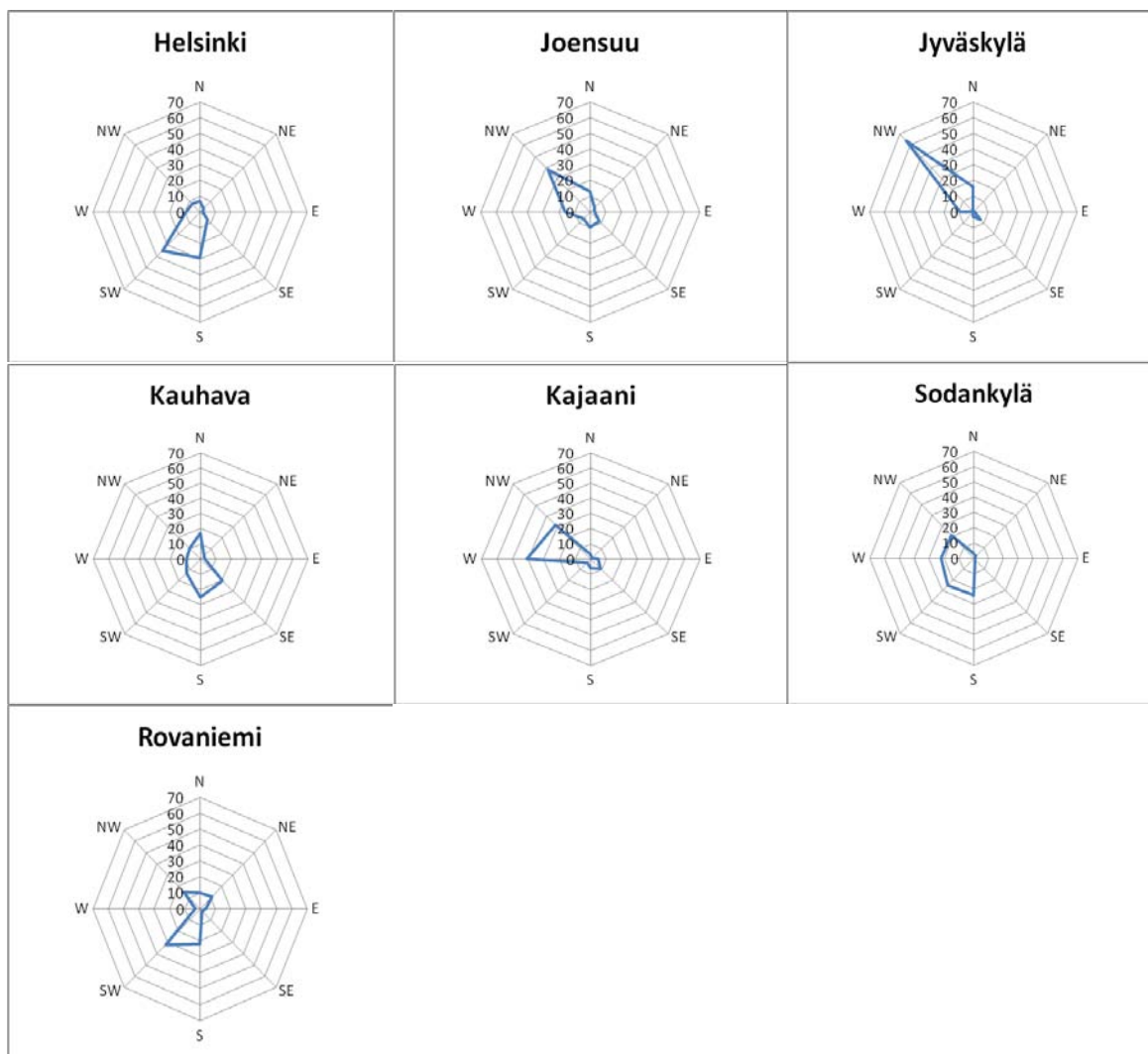
Kuinka ilmastonmuutos vaikuttaa Suomessa kovien tuulten ja lumituhoon tarvittavien lumisadantaepisodioiden esiintymisriskiin sekä maan routaisuuteen?

Kovien tuulennopeuksien ja suurten lumikuormien esiintymisriski on hyvin erilainen eri puolilla Suomea jo ns. nykyilmastossakin (**Taulukko 1**). Esimerkiksi Eteläisemmässä Suomessa (Helsingissä) keskimäärin kerran kymmenessä vuodessa tuulennopeus on 18,4 m/s (10 min keskituuli), kun vastaava tuuli esim. Itä-Suomessa (Joensuussa) on 13,8 m/s. Toisaalta Etelä-Suomessa lumituhoa aiheuttavat lumikuormat ovat harvinaisempia (esim. Joensuu 31 kg/m² ja Helsinki 22,7 kg/m² kerran 10 vuodessa).

Taulukko 1. Eri sääasemilla kovien tuulennopeuksien ja lumikuormien toistuvuus kerran 10:ssä ja 50:ssä vuodessa ns. nykyilmastossa (1971-2000) sekä odotettavissa oleva kovien tuulennopeuksien muutos (%) muuttuvassa ilmastossa verrattuna nykyilmasto perustuen 9 eri malliskenaariotarkasteluun (2046-2065 ja 2081-2100).

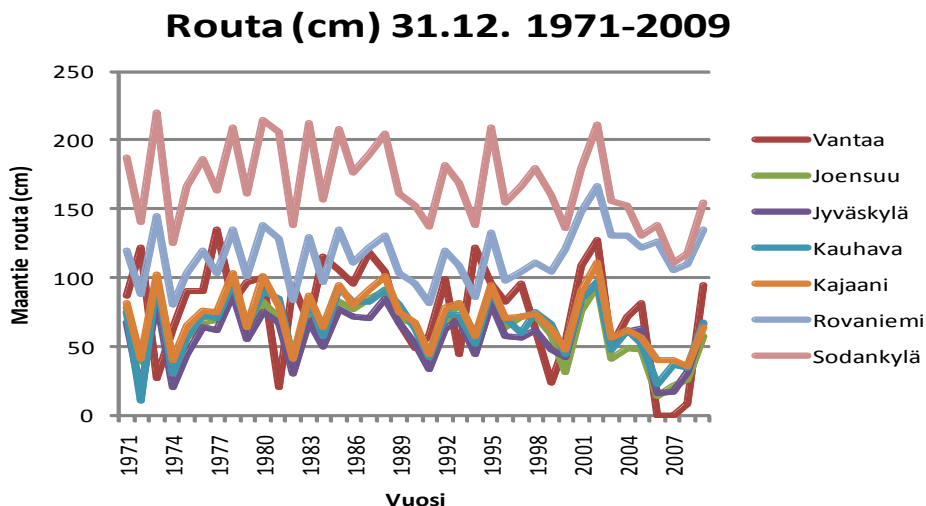
Sääasema	Toistuvuus	Tuuli (m/s): 1971-2000	Tuuli, muutos %: 2046-2065	Tuuli, muutos %: 2081-2100	Lumikuorma (kg/m ²): 1971-2000
HKI	10	18,4	0 %	1 %	22,7
	50	20,2	1 %	1 %	27,9
JOE	10	13,8	0 %	1 %	31,0
	50	15,6	1 %	2 %	38,4
JYV	10	15,9	0 %	0 %	28,8
	50	17,9	1 %	1 %	34,2
KAU	10	17,3	0 %	0 %	23,4
	50	19,7	0 %	1 %	32,3
KAJ	10	16,9	1 %	2 %	25,1
	50	19,3	2 %	3 %	32,4
ROV	10	17,4	1 %	3 %	25,8
	50	19,5	2 %	3 %	28,5
SOD	10	14,2	0 %	2 %	33,3
	50	16,3	1 %	3 %	42,6

Eri puolilla Suomea kovilla tuulilla on myös hyvin erilaiset suuntajakaumat (**Kuva 1**). Tämä kannattanee huomioida metsänhoidon suunnittelussa ainakin sellaisilla kohteilla, joilla voidaan olettaa olevan keskimääräistä suurempi tuulituhoriski.

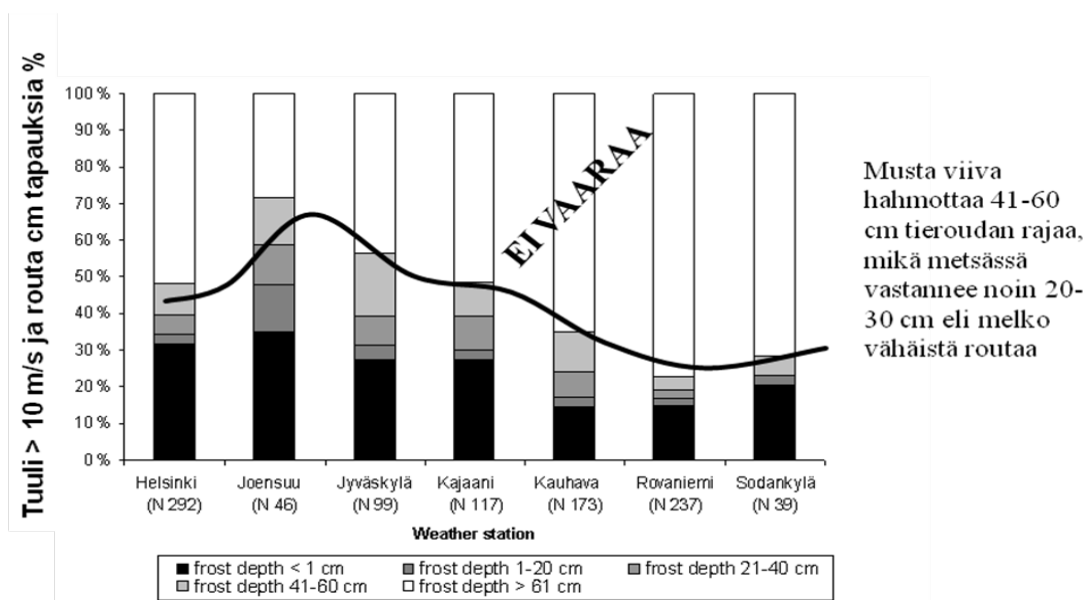


Kuva 1. Koviin tuulennopeuksien (> 11 m/s) suuntajakauma eri havaintosääasemilla ns. nykyilmastossa (1971-2000).

Vastaavasti Etelä-Suomessa maan vähäisempi routaantuminen ja routajakson lyhyempi kesto lisäävät yhdessä esim. puuston tuulituhojen riskiä (myös lumituhojen) myöhäissyksystä varhais-kevääseen eli tuulisimpaan vuodenaikaan verrattuna esimerkiksi Pohjois-Suomeen. Roudan esiintyminen on myös selvästi vähentynyt viime vuosikymmeninä eri puolilla Suomea (**Kuva 2**). Tuulituhoriskiä lisää erityisesti se, että huomattava osuus ns. kovista tuulista esiintyy varsinkin Etelä-Suomessa juuri roudattomana tai vähärouhtaisena ajanjaksona (**Kuva 3**). Myös merkittävimmät metsien tuulituhot (mm. Pyry ja Janika 2001, 7 milj. m³) ovat Suomessa sattuneet roudattomana aikana. Roudan vähyys on myös heikentänyt mm. maan kantavuutta puunkorjuussa.

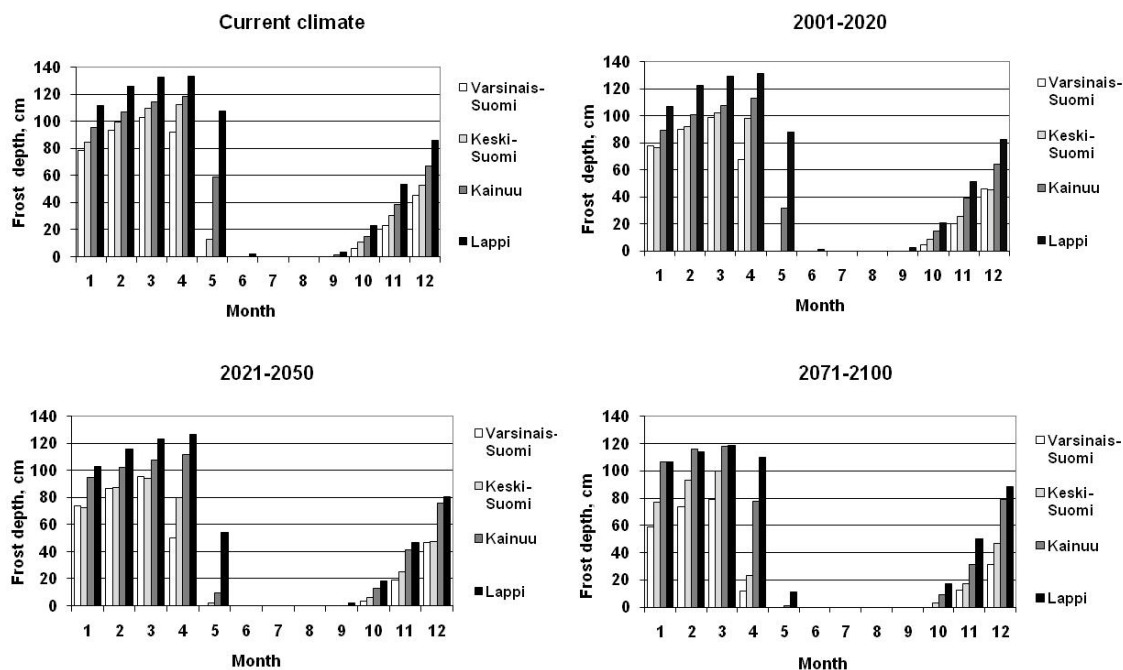


Kuva 2. Roudan keskimääräinen paksuus eri puolella Suomea 1971-2009 lumettomissa olosuhteissa.

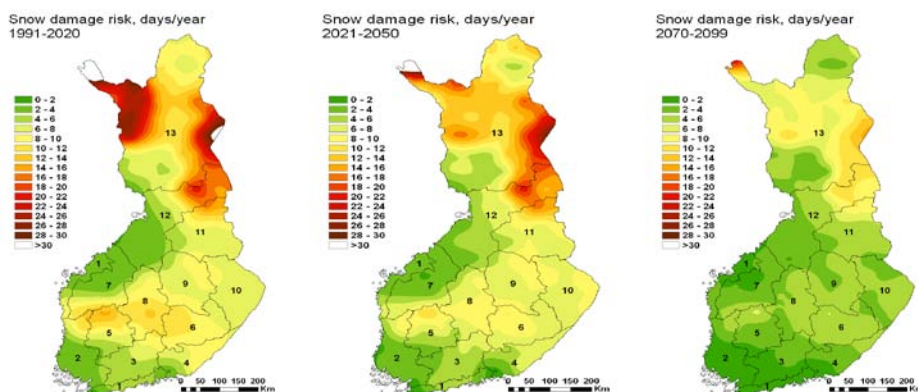


Kuva 3. Yli 10 m/s tuulien esiintyminen erilaisissa routaolosuhteissa Suomessa ns. nykyilmastossa (1971-2000).

Muuttuvassa ilmastossa ei onneksi oleteta kovien tuulenopeuksien esiintymisen lisääntyvän Suomessa (**Taulukko 1**). Toisaalta maan roudattoman ajanjakson oletetaan lisääntyvän selvästi ja eritoten Joensuu-Oulu akselin eteläpuolella 2050 eteenpäin (**Kuva 4**). Tämä lisäänee tulevaisuudessa metsien tuulituhoriskia eritoten Etelä-Suomessa, ainakin mikäli metsien hoito ja puuston rakenne säilyvät nykyisenlaisina muuttuvassa ilmastossa. Pohjois-Suomessa puut ovat myös keskimäärin paksumpia samalla puuston valtapituudella kuin Etelä-Suomessa, mikä selittää niiden keskimäärin vähäisempää tuulituhoriskia (pidemmän routa-ajanjakson lisäksi). Toisaalta tulevana vuosikymmeninä oletetaan puuston lumituhoriskin vähenevän Suomessa (varsinkin 2050-), koska huomattavan osan talvisateista odotetaan tulevan jatkossa vetenä (**Kuva 5**).



Kuva 4. Maan routaisuuden odotettavissa oleva muutos Suomessa tulevina vuosikymmeninä (FinAdapt ilmastoskenaario).

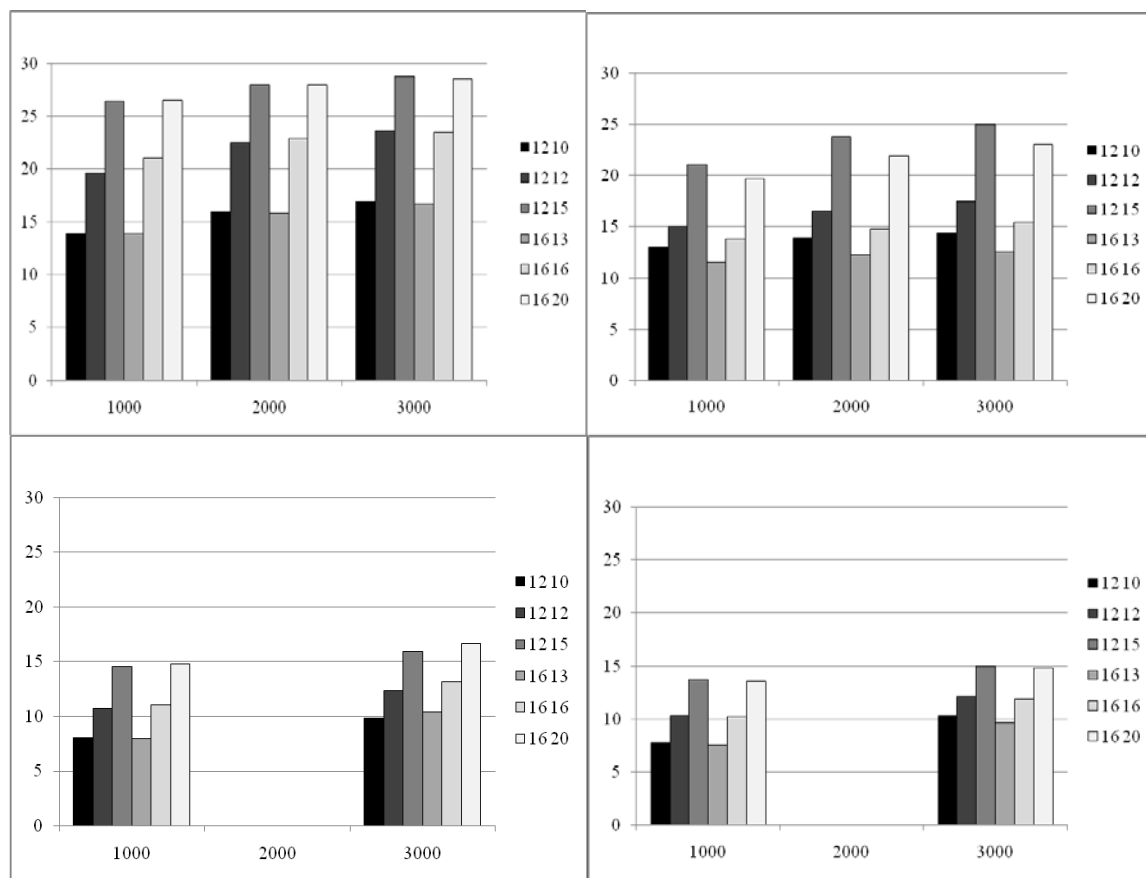


Kuva 5. Lumituhoriskipäivien (yli 20 kg/m² esiintyminen) oletettavissa oleva muutos Suomessa tulevina vuosikymmeninä (FinAdapt ilmastoskenaario).

Nykyisten metsänhoitokäytäntöjen soveltamisen vaikutukset metsien tuuli- ja lumituhoriskeihin nyky- ja muuttuvassa ilmastossa?

Pääpuulajeistamme kuusi on selvästi herkempi tuulituhoille kuin esim. mänty ja koivu (**Kuva 6**). Koivu on lisäksi usein lehdetön syysmyrskyjen aikaan, mikä vähentää sen tuhoriskiä entisestään. Riippumatta puulajista, puuston tuulituhoriski lisääntyy puuston pituuden lisääntyessä ja/tai puiden solakkuuden lisääntyessä. Tuulituhoriskiin vaikuttaa merkittävästi myös se, kuinka paljon tuulille altista reunaa avohakkuualalla on ja millainen puusto sijaitsee ko. reunassa. Tuhoriski on suuri eritoten vasta harvennetuissa varttuneissa kasvatusmetsäkoissa, jotka sijaitsevat uuden avohakkuualan reunassa. Eri metsäkoiden puustojen tuulituhoriskiin vaikuttaa myös naapurikuvioiden väliset pituserot, mikä tieto on käyttökelpoinen esim. metsäsuunnittelussa kun suunnitellaan hakkuiden toteuttamista eri kuvioille metsäalueella (**Kuva 8**). Puuston lumikuorma lisää tuhoriskiä entisestään ja

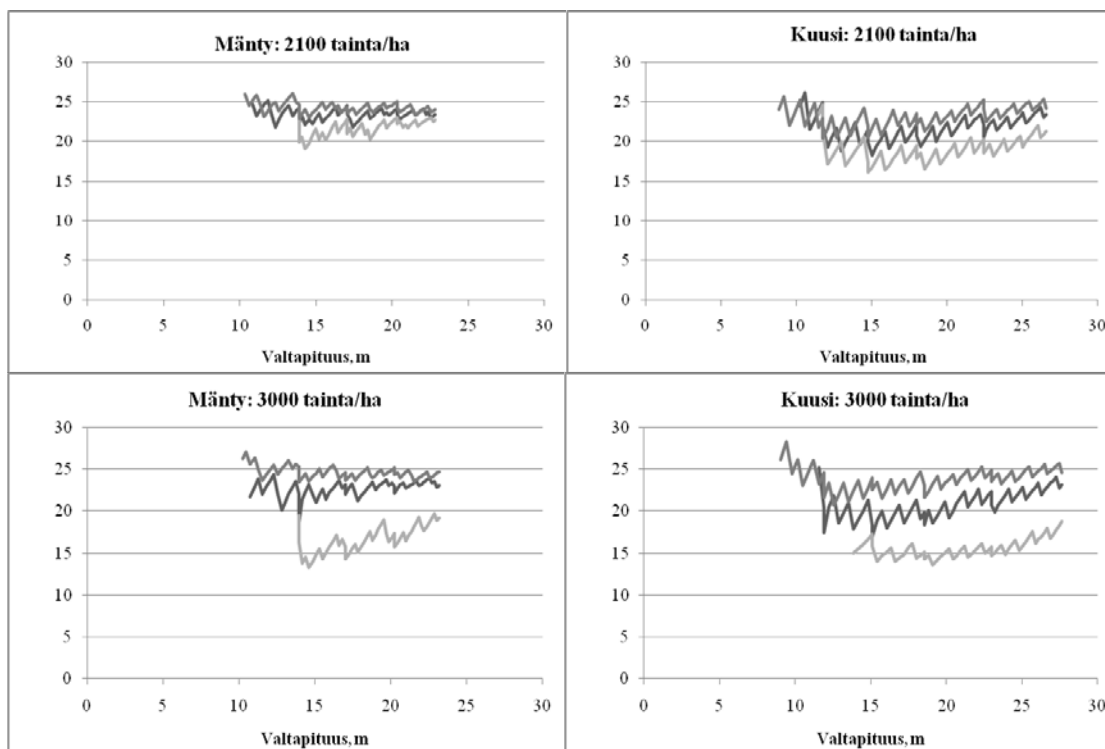
eritoten liian tiheässä kasvaneet solakat puut (eritoten männyt ja koivut, latvuksen painopiste ylhäällä), ovat herkimpiä tuhoille eli tarvitsevat alhaisempia tuulenopeuksia puiden kaatumiseksi/katkeamiseksi (**Kuva 6**).



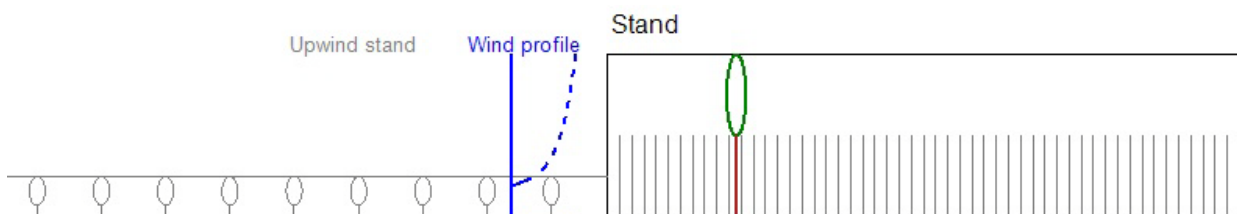
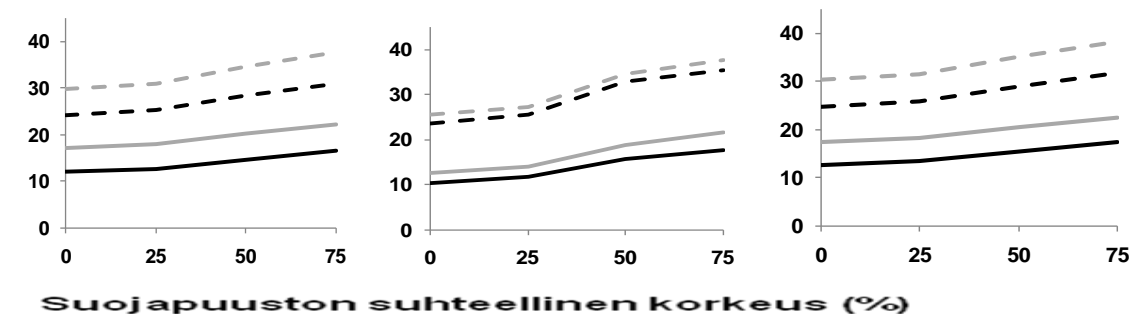
Kuva 6. Esimerkkilaskelmat männyin (vasemmalla) ja kuusen (oikealla) kaatumiseen tarvittavista tuulenopeuksista avohakkuualan laidassa erilaisilla taimikon kasvatustiheyksillä (1000, 2000 ja 3000 puuta/ha) ja puustotunnuksilla (puuston pituus ja rinnankorkeusläpimitta, esim. 12 m ja 10 cm: selite 12 10). Alakuvissa on oletettu latvuksen lumikuormaksi 20 kg/m², yläkuvissa ei lumikuormaa esiinny. Esimerkit kuvaavat mahdollisia puustontiheyksiä ennen ja jälkeen ensiharvennuksen.

Taimikonhoidon laiminlyöminen joko kokonaan tai taimikon kasvattaminen liian tiheänä ensiharvennuksen asti (ns. energiapuuharvennus) voi lisätä puuston tuuli- ja lumituhojen riskiä, eritoten jos taimikon varhaishoito on laiminlyöty (**Kuva 7**). Tällaisessa metsikössä kaikkein solakimmat puut ovat eritoten alttiita tuhoille. Tässä mielessä ei tulisi pyrkiä esim. energiapuun kasvatukseen varsinkaan sellaisilla alueilla, jotka ovat alttiita lumi- ja tuulituhoille. Oikea-aikaisella ns. hyvällä metsänhoidolla vahvistetaan puustoa tuhoja vastaan samalla, kun tuotetaan kestävästi ainespuuta.

Alaharvennuksessa poistettaessa kasvussaan jälkeen jääneitä puita (eli keskimäärin solakimpia puita), parannetaan samalla metsikön tuhonkestävyyttä. Myöhäistä yläharvennusta esim. kuusikoissa (myös männikoissä) tulisi välttää tuulituhoriskialueilla, koska ”suojassa” kasvaneet puut eivät ole ehtineet sopeutua lisääntyvään latvuksen tuulikuormaan ja ovat näin ollen alttiita tuhoille. Toisaalta, koska kovien tulenopeuksien ja suurten lumenkertymien esiintyminen vaihtelee huomattavasti eri puolilla Suomea, voi samanlainen metsien hoito lisätä toisaalla tuhoja ja toisaalla ei, mikä on huomioitava metsien hoitoa suunniteltaessa.

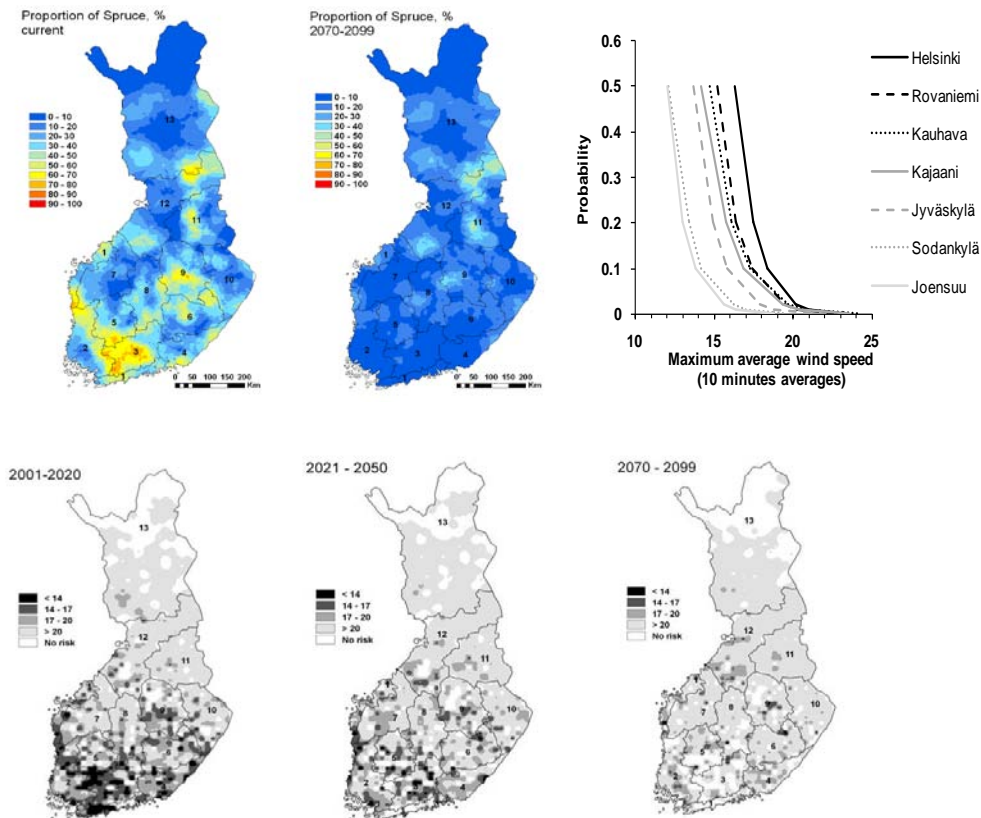


Kuva 7. Esimerkkilaskelma mänyllä ja kuusella siitä, miten taimikonhoidon jälkeinen kasvatustiheys vaikuttaa puun kaatumiseen tarvittavaan tuulennopeuteen valtapuuston latvuksessa ($1 \times$ valtapuuston pituus, m/s) ja sen vaihteluun eri asemassa kasvavilla puilla (aikasarjat ylhäältä alas eri kuvien sisällä: valtapuut, metsikön puiden keskiarvo, vallitut puut). Esimerkkilaskelmat on tehty MT-kasvupaikkatyypillä Joensuun ilmastolla (FinnFor-HWIND mallit), lähtöpuustojen ollessa keskimäärin 4 m pituisia ja käyttäen Väli-Suomen harvennusmalleja (Tapion hyvän metsänhoidon suositukset 2006).



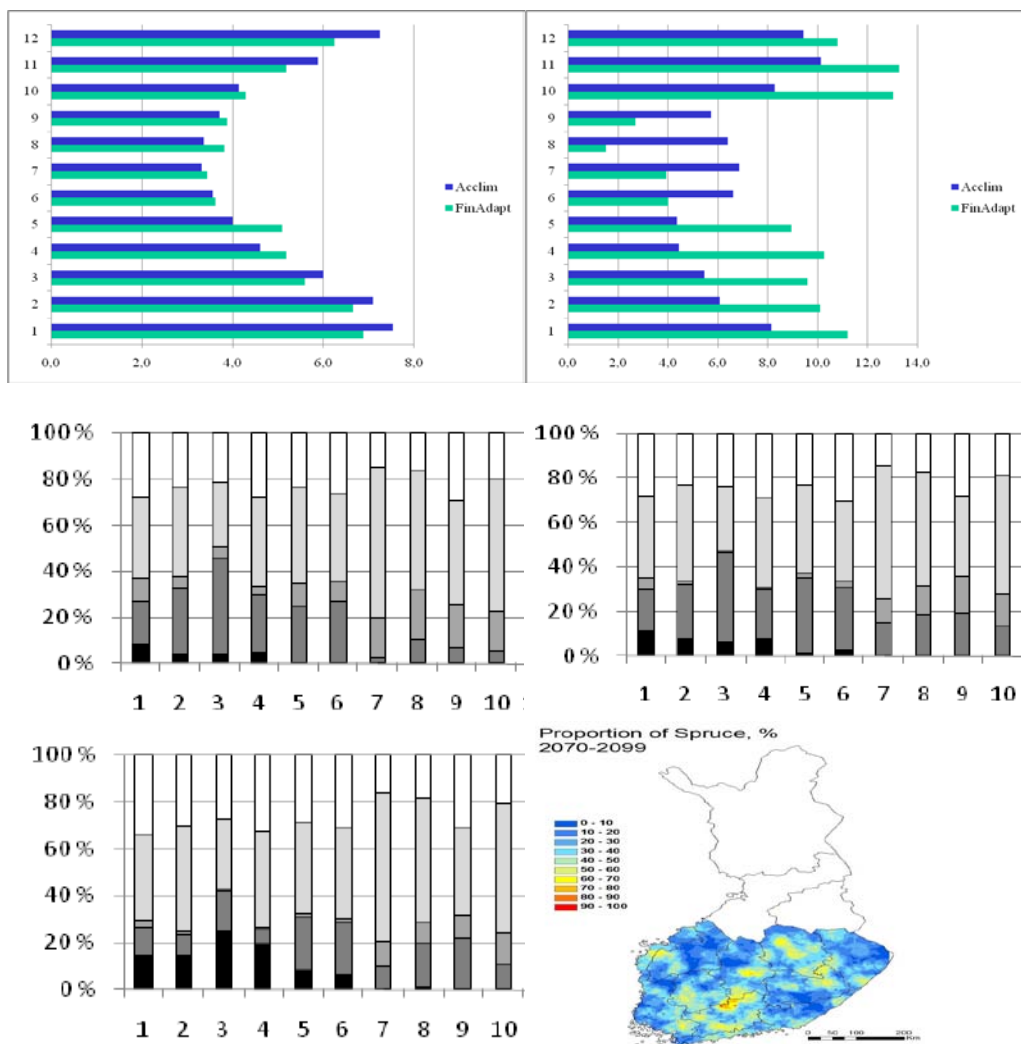
Kuva 8. Tuulenpuoleisen tuholle alttiin metsikön laidan edessä sijaitsevan pienemmän puuston vaikutus puuston kaatumiseen tarvittavaan tuulennopeuteen. Esimerkit 0, 25, 50 ja 75% suojavaikutus, suojan puuttuessa on kyseessä avohakkuualan laita (avohakkuualan halkaisija $10 \times$ reunapuuston pituus). Kuvassa vasemmalta oikealle: mänyllä (latvussuhde 40%), kuusella (latvussuhde 70%) ja koivulla (lehdessä, latvussuhde 40%) erilaisilla puustotunnuksilla: h 16 m ja d/h 1:70, h24 m ja d/h 1:70, h 16 m ja d/h 1:110 sekä h 24 m ja d/h 1:110 (suurimmista tuulennopeuksista alhaisimpiin).

Ilmastonmuutoksen oletetaan lisäävän merkittävästi puuston kasvua ja hakkuupotentiaalia Suomessa tulevina vuosikymmeninä, ja suhteellisesti ottaen enemmän Pohjois-Suomessa kuin Etelä-Suomessa. Toisaalta, muuttuvasta ilmastosta (esim. FinAdapt skenaario) koivun oletetaan myös hyötyvän kuusta ja mäntyä enemmän ja valtaavan kasvutilaa molemmilta puulajeilta (eritoten kuuselta Etelä-Suomessa tuoreilla kankailla), ellei taimikonhoidossa ja puuston harvennuksissa ohjata puulajisuhteita siten, että havupuuvaltaiset taimikot säilyvät edelleen havupuuvaltaisina (**Kuva 9**). Tämän seurauksena, voisi tuhoriskin olettaa jopa vähentyvän varsinkin Etelä-Suomessa syys- ja talvimyrskyjen aikaan (ellei samalla huomioida mahdollisia muutoksia maan routaisuudessa). On kuitenkin hyvä huomata, että myös ns. nykyilmastossa kuusen osuus vähenee esimerkkilaskelmissa 2100 mennessä, ellei puulajisuhteita ohjata aktiivisesti metsien hoidossa.



Kuva 9. Ilmastonmuutoksen mahdollinen vaikutus kuusen osuuteen (yläkuva) sekä puiden kaatumiseen tarvittavien tuulenopeuksien esiintymiseen VMI-koaloilla 2001-2100 (FinnAdapt ilmastonmuutosskenaario, SIMA ja HWIND simuloinnit), ellei taimikonhoidossa ja puuston harvennuksissa ohjata aktiivisesti puulajisuhteita siten, että havupuuvaltaiset taimikot säilyvät edelleen havupuuvaltaisina.

Toisaalta uudempaa ACCLIM ilmastonmuutosskenaariota käytettäessä vastaavissa laskelmissa ja esittäessä koivua valtaamasta alaa havupuulajeilta (ns. tehokas metsänhoito), kuusi pärjää myös muuttuvassa ilmastossa paremmin (kesät sateisempia kesällä ja vähempisateisia talvella vrt. FinAdapt) ja metsien tuulituhoriskit voivat jopa lisääntyä verrattuna ns. nykyilmastoon samalla tarkastelujaksolla. Näin ollen on hyvä muistaa, että tulevaisuuden riskiarvioihin vaikuttavat huomattavasti sekä käytetty metsänhoito että ilmastonmuutosskenaario. Tämän vuoksi onkin syytä tehdä em. laskelmia vaihtoehdoilla skenaarioilla, jotta voidaan tunnistaa ilmastonmuutokseen liittyvät epävarmuustekijät. Toisaalta, oletettavasti tulevaisuudessa Etelä-Suomessa jopa 80% ns. kovista tuulista on jatkossa roudattomana aikana kun nykyisin se on noin 50%. Tämän vuoksi metsien tuulituhoriskit tuskin vähenevät tulevaisuudessa. Lisäksi etenkin seuraavina vuosikymmeninä lumituhouja esiintyy vielä edelleen ja koivu ja mänty ovat kuusta alttiimpia näille tuhoille.



Kuva 10. Keskimääräinen lämpötilan (vasemmalla ylhäällä) ja sadannan (oikealla ylhäällä) muutos (%) koko Suomessa eri kuukausina 2081-2100 verrattuna nykyilmastoon (1971-2000) sekä vastaavasti kriittisten tuulenopeuksien osuus Etelä-Suomessa (metsäkeskukset 1-10) eri tuulenopeusluokissa 2001-2020 ja 2081-2100 ns. nykyilmastossa (keskellä) ja muuttuvassa ilmastossa 2081-2100 (ACCLIM, alakuvat) ns. tehokkaalla metsänhoidolla (puulajisuhteiden aktiivinen ohjaus).

Metsänhoidon sopeuttamistarve Suomessa tulevaisuudessa?

Ilmastonmuutos lisää metsien kasvua ja hakkuupotentiaalia, mutta samalla myös metsien hoidon tarvetta: esim. on tarpeen tehdä useammin toistuvia harvennuksia (tai vaihtoehtoisesti voimakkaampina) ja kiertoaikaa jopa lyhentää nykyisestä, mikäli pidetään kiinni nykyisistä puuston uudistuskypsyttä määrittävistä järeyksistä. Suomessa käytössä olevat ns. Hyvän metsänhoidon suositusten (Tapio 2006, 2007) harvennusmallit, jotka perustuvat puuston valtapituuteen ja pohjapinta-alaan, ottavat automaattisesti huomioon lisääntyvän puuston kasvun, ja soveltunevat näin erinomaisesti myös metsien hoidon apuvälineeksi muuttuvassakin ilmastossa. Toisaalta eritoten avohakkuut lisäävät tuhoille alttiita metsien laitoja ja niiden ajoitukseen tuleekin kiinnittää nykyistä enemmän huomiota metsäsuunnittelussa (huomioiden samalla myös kovien tuulten alueellinen suuntajakauma).

Jos kasvukaudenaikainen kuivuus yleistyy, eritoten kuusen kasvu voi taantua nykyisin kuuselle viljeltävillä tuoreilla kankailla, mikä lisää osaltaan erilaisia tuhoriskejä. Myös ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi esitetty tarve lisätä metsäenergian hyödyntämistä voi osaltaan lisätä metsien tuuli- ja lumituhoriskejä, mikäli tämä johtaa esimerkiksi taimikon hoitamattomuuteen tai merkittävään hoidon viivästymiseen ja/tai liialliseen taimikonhoidon jälkeiseen tiheyteen energiapuuharvennuksen kannattavuuden lisäämiseksi. Tätä tulisi välttää eritoten riskialueilla, sillä hoitamattomat metsät ovat alttiimpia lumi- ja tuulituhoille ja niiden tuhoalttius lisääntyy harvennuksen jälkeen. Alaharvennukseen verrattuna puuston yläharvennus voi lisätä puuston (eritoten kuusella, myös muilla puulajeilla) tuulituhoriskejä tulevaisuudessa varsinkin riskialueilla maan routaisuuden vähentyessä, mitä tulisi käyttää jatkossa harkiten tällaisilla kohteilla.

Näin ollen metsien hoidossa ja uudistamisessa tulisi korostetusti kiinnittää huomioita hyvään metsänhoitoon (puulaji/alkuperävalinta ja uudistamistapa, taimikonhoito ja harvennukset ajallaan, kiertoajan lyhentäminen riskialueilla) ja huomioida samalla eri puulajien kasvupaikka- ja maalajivaatimukset, jotta puuston kasvuedellytykset turvataan muuttuvassa ilmastossa. Metsien tuuli- ja lumituhoriskien voidaan olettaa joka tapauksessa lisääntyvän lähivuosisikymmeninä sekä metsikkö- että aluetasolla eritoten Etelä-Suomessa, jossa riippumatta metsien hoidosta, maan routaisuuden oletetaan vähenevän selvästi. Roudan väheneminen vaikeuttaa myös puunkorjuuta tulevaisuudessa. Muuttuvassa ilmastossa keskimääräisen tuulisuuden odotetaan lisääntyvän Suomessa vain hyvin vähän (2-6%). Myrskyjen ja/tai kovien tuulten ei myöskään odoteta lisääntyvän merkittävästi (ks. Taulukko 1). Lisäksi metsien lumituhoriskien oletetaan onneksi myös vähenevän 2050 eteenpäin. Tuuli- ja lumituhoon tarvittavien kovien tuulten ja lumenkertymien alueellisen toistuvuusrisikin huomioiminen metsänhoidon suunnittelussa auttaa varautumaan tuhoriskeihin hyvän ja ajallaan tehtävän metsänhoidon ohella.

3.3 Toteutusvaiheen arviointi

Hankkeen aikana ei ollut varsinaisia ongelmia hankkeen toteutuksessa. Toisaalta, lopulta ei käytetty useita eri ilmastoskenaarioita hankkeessa, koska IL:n mukaan FinAdapt ja ACCLIM skenaariot olivat ns. parhaat ja luotettavimmat, eikä niiden lopulta oletettu merkittävästi eroavan toisistaan 2050 mennessä. Toisaalta, eroja havaittiin FinAdapt ja ACCLIM skenaarioiden välillä eritoten keskimääräisen sateisuuden jakautumisessa eri kuukausille (lämpötilan osalta erot selvästi vähäisempiä) 2100 mennessä, millä on merkitystä esim. kuusen menestymiseen. Tämän vuoksi tullaan vielä lähitulevaisuudessa tekemään tarkempia vertailulaskelmia eri ilmastonmuutosskenaarioiden käytön ja metsänhoidon vaikutuksista puuston kehitykseen, hakkuupotentiaaliin ja tuuli- ja lumituhoriskeihin niin metsikkö- (joillakin sääasemilla) kuin metsäkeskus- että valtakunnan tasollakin. Lisäksi on tarkoitus eri havaintosääasemilla tutkia tarkemmin vielä tuuli-lumi-routa kombinaatioita (nyky- ja muuttuvassa ilmastossa) liittyen Hilppa Gregowin väitöskirjatyöhön sekä käynnissä olevaan Suomen Akatemian (2008-2010) rahoittamaan tutkimushankkeeseen (nämä hankkeet tukevat toisiaan), ko. tulokset tulevat olemaan myös ISON käytettävissä jatkossa.

3.4 Julkaisut

Tämän tutkimushankkeeseen liittyvät tieteelliset julkaisut kansainvälisissä referoiduissa sarjoissa ja käsikirjoitukset sekä pidetyt esitelmät tieteellisissä ja muissa seminaareissa on listattu liitteessä 1 vuosille 2009-2010. Ko. töiden rahoituslähteenä on ollut tämän MMM:n rahoittaman hankkeen lisäksi Heli Peltolan johtama ja Suomen Akatemian 2008-2010 rahoittama tutkimushanke "Impacts of temporal and spatial variability of critical weather events and forest management on the risk of wind and snow induced damage in forest stands". Tämän hankkeen tiimoilta tämän vuoden kuluessa on tarkoitus valmistua myös Hilppa Gregowin väitöskirjatyö teemasta "Kovien tuulennopeuksien ja suurten lumikuormien ajallinen ja paikallinen vaihtelu Suomessa nyky- ja muuttuvassa ilmastossa sekä niiden vaikutus metsien tuuli- ja lumituhoriskeihin".

4 Tulosten arviointi

4.1 Tulosten käytännön sovelluskelpoisuus

Tämän tutkimushankkeen tulokset hyödyttävät suoraan useita toimijoita: käytännön metsätaloutta, asiantuntijaorganisaatioita, viranomaisia, jne (esim. metsänomistajat, metsäkeskukset, metsänhoitoyhdistykset, metsäyritykset, vakuutusyritykset, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, MMM) tuottaen käytäntöön sovellettavissa olevaa tietoa metsien tuuli- ja lumituhoriskeistä ja miten niitä voidaan välttää hyvän metsänhoidon keinoin. Lisäksi uusi tutkimustieto kovien tuulennopeuksien ja suurten lumikuormien alueellisista toistuvuusriskeistä (myös kovien tuulten suuntajakaumista) sekä roudan ajallisesta ja alueellisesta vaihtelusta palvelee yleisemminkin eri toimijoita em. tuhoriskien hallinnan lisäksi.

4.2 Tulosten tieteellinen merkitys

Tämän hankkeen tutkimusteema on tärkeä sikäli, että vaikkei kovien tuulten ja/tai suurten puiden lumikuormien toistuvuus näytä lisääntyvän tulevaisuudessa, niin jo odotettavissa oleva maan roudattoman ajanjakson lisääntyminen tulee joka tapauksessa lisäämään metsien tuuli- ja lumituhoriskejä lähivuosisikymmeninä puiden ankkuroitumisen heikentyessä. Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi esitetty tarve lisätä myös metsäenergian hyödyntämistä, esim. energiapuuharvennusten muodossa, voi lisätä nuorten kasvatusmetsien tuuli- ja lumituhoriskejä tämän tutkimuksen esimerkkilaskelmien valossa. Tämän tutkimushankkeen tuottaman tiedon avulla voidaan arvioida metsänhoidon vaikutuksia metsien tuuli- ja lumituhoriskeihin nyky- ja muuttuvassa ilmastossa sekä puu-, metsikkö-, metsäalue- että valtakunnan tasolla. Hankkeen tulosten perusteella on mahdollista tehdä myös metsänhoidon sopeuttamistarpeen arviointia perustuen tulevaisuudessa odotettavissa olevien kovien tuulennopeuksien ja lumikertyminen alueelliseen esiintymiseen ja niiden toistuvuuteen ja roudattoman ajanjakson yleistymiseen. Vaikka odotettavissa olevan ilmastonmuutoksen vaikutusten ja metsien hoidon sopeuttamistarpeen oletetaan olevan erityisen tärkeää v. 2050 eteenpäin, jo lähitulevaisuudessa on syytä aloittaa sopeuttamistoimet niillä alueilla, joilla tuhoriskien ennakoidaan olevan merkittävä tulevaisuudessa.

Tutkimushankkeen tulokset tuovat selvää lisäarvoa aiempaan tietämykseen, mm.: kovien tuulennopeuksien ja lumikuormien alueellinen toistuvuus nyky- ja muuttuvassa ilmastossa sekä maan routaisuudessa tapahtuneet sekä odotettavissa olevat muutokset Suomessa lyhyellä ja pidemmällä aikavälillä; ilmastonmuutoksen ja/tai metsänhoidon vaikutukset tuhoriskeihin. Myös kansainvälisesti hankkeen tuottama tutkimustieto on merkittävä panos. FM Hilppa Gregowin väitöskirjatyo valmistuu myös osin tämän hankkeen tuloksena.

Tuuli- ja lumituhorisriskien huomioon ottamisesta metsänhoidossa hyötyvät eritoten metsänomistajat. Tämän hankkeen tuottama tutkimustieto maan routaisuuden odotettavissa olevista muutoksista palvelee vastaavasti myös esim. puunkorjuun ongelmien tunnistamista pitkällä aikavälillä. Roudan väheneminen vaikuttaa maan kantokykyyn ja puunkorjuun edellytyksiin talviaikoina muuttuvassa ilmastossa. Hankkeen tulokset voivat auttaa myös tuuli- ja lumituhorisriskien ennakoinnissa laajemminkin (esim. sähkölinjojen suunnittelu ja ylläpito) sekä palvella esim. vakuutusyhtiöiden tietotarpeita (riskien hallinta). Tutkimustulosten tehokkaaksi hyödyntämiseksi, hankkeen tuloksia on jo osin raportoitu ja tullaan raportoidaan kansainvälisissä tieteellisissä referoituissa julkaisuissa sekä erilaisissa tieteellisissä kokouksissa ja seminaareissa pidettävissä esityksissä. Jatkotutkimuksissa tulee vielä selvittää tarkemmin mahdollisuuksia vaikuttaa metsänhoidon keinoin em. tuhoriskeihin sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä samalla kun pyritään kestävään puuntuotukseen niin metsikkö-, metsäalue- kuin valtakunnan tasollakin muuttuvassa ilmastossa. Tähän tarkoitukseen tarvitaan erilaisia todennäköisiä ilmastonmuutosskenaarioita. Näin saadaan selvitettyä myös ilmastonmuutokseen liittyvän epävarmuuden vaikutus päätöksentekoa silmällä pitäen, ja voidaan

tutkia miten erilaisilla metsänhoitoa tulisi mahdollisesti sopeuttaa eri ilmastonmuutosskenaarioiden toteutuessa.

5 Loppuraportin tiivistelmä

MMM:n rahoittama tutkimushanke Metsien tuuli- ja lumituhoriskien hallinta ja metsänhoidon sopeuttamistarve muuttuvassa ilmastossa toteutettiin Joensuun yliopiston / Itä-Suomen yliopiston (1.1.2010 alkaen) ja Ilmatieteen laitoksen yhteishankkeena. Hankkeen vastuullisena johtajana toimi Heli Peltola Itä-Suomen yliopistosta, ja Ilmatieteen laitoksen osalta vastuututkijana oli Ari Venäläinen. Hankkeelle myönnetty MMM rahoitus oli 45 000 €

Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää miten nykyistä metsänhoitoa tulisi sopeuttaa muuttuvassa ilmastossa, jotta kyettäisiin huomioimaan metsien hoidossa metsien tuuli- ja lumituhoriskit. Hankkeen osatavoitteet olivat seuraavanlaiset: 1. Analysoida kuinka ilmastonmuutos vaikuttaa Suomessa kovien tuulten ja lumituhoon tarvittavien lumisadantaepisodioiden esiintymisriskiin (alueellinen ja ajallinen vaihtelu, todennäköisyys/toistuvuus) sekä maan routaisuuteen perustuen useiden eri ilmastomallien tuottamiin skenaarioihin; 2. Analysoida nykyisten metsänhoitokäytäntöjen soveltamisen vaikutuksia pääpuulajeillamme (mänty, kuusi ja koivu) metsien tuuli- ja lumituhoriskeihin nyky- ja muuttuvassa ilmastossa perustuen prosessipohjaisilla kasvu- ja tuotosmalleilla ja mekanistisella tuuli- ja lumituhomallilla tehtäviin mallilaskelmiin metsänhoidon vaikutuksista metsien tuhoriskeihin (analyysit: puu-, metsikkö-, metsäalue- ja valtakunnan tasolla); 3. Arvioida metsänhoidon sopeuttamistarvet Suomessa tilanteessa, jossa kovien tuulten ja puiden suurten lumikertyminen alueellinen jakauma ja toistuvuudet ovat muuttumassa sekä maan roudaton aika on lisääntymässä. Muutokset roudan esiintymisessä heikentävät oleellisesti puiden ankkuroitumista maahan myöhäissyksystä varhaiskevääseen ja vaikuttavat myös maan kantavuuteen ja puunkorjuun edellytyksiin.

Hankkeen tulosten perusteella ilmastonmuutoksen ei oleteta lisäävän merkittävästi kovien tuulten esiintymistä ja/tai puuston suuria lumikuormia tulevaisuudessa. Toisaalta maan routaisuus vähenee selvästi Suomessa v. 2050 eteenpäin, mikä lisää metsien tuulituhoriskejä myöhäissyksystä varhaiskevääseen, eli kovatuulisimpana ajankohtana. Toisaalta kovien tuulten ja suurten lumikuormien riski vaihtelee merkittävästi eri puolilla Suomea nykyilmastossakin, mikä merkitsee sitä että tarve sopeuttaa metsänhoitoa vaihtelee myös alueellisesti, pyrittäessä huomioimaan em. tuhoriskit metsien hoidossa. Lisäksi ilmastonmuutos ja metsien hoito (tai vastaavasti hoitamattomuus) vaikuttavat yhdessä puuston kehitykseen ja metsien puulajisuhteisiin ja tätä kautta tuhoriskeihin. Joka tapauksessa lisääntyvä puuston kasvu edellyttää metsien hoidon tehostamista ja hyvällä metsien hoidolla voidaan tuhoriskejä vähentää.

Jatkotutkimuksissa pyritään selvittämään tarkemmin mahdollisuuksia vaikuttaa metsänhoidon keinoin em. tuhoriskeihin sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä samalla kun pyritään kestäväan puuntuotantoon niin metsikkö-, metsäalue- kuin valtakunnan tasollakin muuttuvassa ilmastossa. Tähän tarkoitukseen tarvitaan erilaisia todennäköisiä ilmastonmuutosskenaarioita. Näin saadaan selvitettyä myös ilmastonmuutokseen liittyvän epävarmuuden vaikutus päätöksentekoa silmällä pitäen, ja voidaan tutkia miten erilaisilla metsänhoitoa tulisi mahdollisesti sopeuttaa eri ilmastonmuutosskenaarioiden toteutuessa.

Tämän tutkimushankkeen tulokset hyödyttävät suoraan useita toimijoita: käytännön metsätaloutta, asiantuntijaorganisaatioita, viranomaisia, jne (esim. metsänomistajat, metsäkeskukset, metsänhoitoyhdistykset, metsäyrietykset, vakuutusyrietykset, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, MMM) tuottaen käytäntöön sovellettavissa olevaa tietoa metsien tuuli- ja lumituhoriskeistä ja miten niitä voidaan välttää hyvän metsänhoidon keinoin. Lisäksi uusi tutkimustieto kovien tuulenoikeuksien ja suurten lumikuormien alueellisista toistuvuusriskeistä (myös kovien tuulten suuntajakaumista) sekä roudan ajallisesta ja alueellisesta vaihtelusta palvelee yleisemminkin eri toimijoita em. tuhoriskien hallinnan lisäksi.

Ohjausryhmä

Sanna Paanukoski, ylitarkastaja, MMM, ohjausryhmän pj

Tiia Yrjölä, koordinaattori, MMM/luonnonvarayksikkö

Antti Asikainen, Prof., Metla, Joensuun toimintayksikkö

Kyösti Hassinen, metsäsuunnittelupäällikkö, Pohjois-Karjala Metsäkeskus

Seppo Pekurinen, vahingontorjuntapäällikkö, Finanssialan keskusliitto

Liite 1. Hankkeen julkaisut.

Tieteelliset käsikirjoitukset (* merkityt tehty pelkästään SA hankerahoituksen turvin 2008-2010)

Gregow, H., Ruosteenoja, K. 2010. How will the surface wind speeds change in Northern Europe due to global warming? Käsikirjoitus valmisteilla.

Peltola, H., Ikonen, V-P., Gregow, H., Strandman, H., Kilpeläinen, A., Venäläinen, A., Kellomäki, S. 2010. Impacts of climate change on timber production with implications on the regional risks of wind-induced damage to forests in Finland. *Forest Ecology and Management*, käsikirjoitus arvioitavana.

Dupont, S., Peltola, H., Ikonen, V.P., Väisänen, H. 2010. Integration of airflow simulations with mechanistic modeling of wind damage. Käsikirjoitus valmisteilla.

Tieteelliset julkaisut

*Kellomäki, S., Maajärvi, M., Strandman, H., Kilpeläinen, A., Peltola, H. 2010. Model computations on the climate change effects on snow cover, soil moisture and soil frost in the boreal conditions over Finland. *Silva Fennica*, hyväksytty.

*Kilpeläinen, A., Gregow, H., Strandman, H., Kellomäki, S., Venäläinen, A., Peltola, H. 2010. Impacts of climate change on the risk by snow-induced forest damage in Finland. *Climatic Change*, hyväksytty.

*Zeng, H., Pukkala, T., Peltola, H., Kellomäki, S. 2010. Application of irregular grid cellular automata optimization for the risk management of wind damage in forest planning. *Canadian Journal of Forest Research*, hyväksytty.

*Zeng, H., Garcia-Gonzalo, J., Peltola, H., Kellomäki, S. 2010. The effects of forest structure on the risk of wind damage at a landscape scale in a boreal forest ecosystem. *Annals of Forest Science*, 67, hyväksytty.

*Heinonen, T., Pukkala, T., Ikonen, V.-P., Peltola, H., Venäläinen, A., Dupont, S. 2009. Integrating the risk of wind damage into forest planning. *Forest Ecology and Management*. hyväksytty.

*Zeng, H., Peltola, H., Väisänen, H. and Kellomäki, S. 2009. The effects of fragmentation on the susceptibility of a boreal forest ecosystem to wind damage. *Forest Ecology and Management* 257:1165-1173.

*Gregow, H., Venäläinen, A., Peltola, H., Kellomäki, S., Schultz, D. 2008. Temporal and spatial occurrence of strong winds and large snow load amounts in Finland during 1961-2000. *Silva Fennica* 42(4):515-534.

*Gardiner, B., Byrne, K., Hale, S., Kamimura, K., Mitchell S.J., Peltola, H., Ruel, J-C. 2008. A review of mechanistic modelling of wind damage risk to forests. *Forestry* 81(3):447-463.

Tieteelliset esitelmät

Peltola, H., Ikonen, V.-P., Väisänen, H., Strandman, H., Heinonen, T., Pukkala, T., Kellomäki, S., Venäläinen, A., Gregow, H. 2010. Metsien tuuli- ja lumituhoriskien hallinta ja metsänhoidon sopeuttamistarve muuttuvassa ilmastossa. Metsien ja metsätalouden sopeutuminen ilmastonmuutokseen. Ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusohjelma ISTO:n hankeseminaari 17.3.2010. Helsinki.

Gregow, H., Ruosteenoja, K., Venäläinen, A. 2009. Analyses of the annual, winter time and extreme geostrophic wind speeds in northern Europe based on GCMs. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Wind effects on trees (eds. Helmut Mayer and Dirk Schindler), organized at the Albert-Ludwigs-University of Freiburg, Germany 13-16 October 2009. *Brerichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg* Nr. 19, pp. 247-253.

Peltola, H., Dupont, S., Ikonen, V-P., Väisänen, H., Venäläinen, A., Kellomäki, S. 2009. Integrated use of two dimensional airflow model Aquilon and mechanistic model HWIND for risk assessment of tree stands to wind damage. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Wind effects on trees (eds. Helmut Mayer and Dirk Schindler), organized at the Albert-Ludwigs-University of Freiburg, Germany 13-16 October 2009. *Brerichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg* Nr. 19, pp. 189-194.

Peltola, H., Ikonen, V-P., Väisänen, H., Kellomäki, S., Gregow, H., Venäläinen, A. 2009. Metsien tuuli- ja lumituhoriskit nyt ja tulevaisuudessa. II Talvitutkimuspäivät Koli, 26-27.11.2009.

Venäläinen, A., Gregow, H., Peltola, H., Ikonen, V-P. Kellomäki, S. 2009. Storm risks on forestry in Finland – occurrence and risk management. Network of Climate Change Risks on Forests (FoRisk), SNS Workshop, October 26-28, 2009, Tvärminne, Finland.

*Peltola, H. 2009. More wind and other abiotic risks – what to do? Keynote given in Session: How to deal with uncertainties and risks? Workshop on Fighting climate change: adapting forest policy and forest management in Europe. Joensuu Forestry Networking Week 2009 connecting young European experts. May 24-29, 2009.

*Kellomäki, S., Kilpeläinen, A., Peltola, H. 2008. Risk of abiotic forest damages will alter under the climate change in the boreal conditions. In book of abstracts and preliminary programme for international conference on Adaptation of forests and forest management to changing climate with emphasis on forest health: A review of science, policies and practices. August 25, 2008, Umeå, Sweden. p. 116.

*Peltola, H., Kellomäki, S. 2008. Management of silvicultural risks related to forest management under climate change. Oral presentation hold in SNS Workshop: Network of Climate change risks on forests (FoRisk), August 29, 2008, Umeå, Sweden. (one page summary published in abstract book).