

Lumiolojen muutokset Pohjois-Euroopassa ENSEMBLES-hankkeen alueellisissa ilmastomallisimulaatioissa

Joonas Eklund, 28.10.2010

Tiivistelmä

Yksi Suomen kannalta tärkeä ilmaston lämpenemisen seuraus on lumen väheneminen. Lumi vähenee, sillä lämpenemisen seurauksena entistä suurempi osa sateista tulee vetenä, minkä lisäksi myös lumikauden aikainen sulaminen lisääntyy suojasääjaksojen yleistyessä. Toisaalta kokonaissademäärä kasvaa tulevaisuudessa, mikä osaltaan kompensoi lämpenemisen vaikutusta lumen määrään. Tässä raportissa tarkastellaan lumen vesiarvon muutoksia Skandinaviassa ja erityisesti Suomessa ENSEMBLES-hankkeen hienohilaisissa alueellisissa ilmastomallisimulaatioissa. Erityisenä tarkastelun kohteena oli kolme lumi-ilmastoltaan hyvin erilaista pistettä: Jokioinen, Ilomantsi ja Sodankylä. Raportin tiedot perustuvat Joonas Eklundin Helsingin yliopistolla tekemään Pro Gradu- tutkielmaan (2010).

1. Johdanto

Lumi vaikuttaa ilmasto-oloihin monin tavoin, ennen muuta heijastamalla jopa 90 % (uusi, puhdas lumipeite) maahan saapuvasta auringonsäteilystä takaisin. Kun ilmastomuutoksen aiheuttama lämpötilan nousu vähentää lumen määrää ja sen alueellista peittoa, saapuvasta auringonsäteilystä imeytyy pinnalle entistä suurempi osa, mikä edelleen pyrkii nostamaan lämpötilaa. Lumen sulamisella on siis ilmastomuutosta voimistava vaikutus. Tämän lisäksi lumen vesiarvolla on merkitystä laajalti yhteiskunnan vesihuollolle sekä lumikuorman kautta mm. rakennusmääräyksille.

Tämän raportin perustana käytetyt mallitulokset tulevat EU:n rahoittamasta ENSEMBLES-hankkeesta. Käytetyt mallit ovat 25 km horisontaalisen hilavälin omaavia alueellisia hienohilamalleja. Rajatun alueen kattavat alueelliset ilmastomallit saavat tarvitsemansa reunaehdot joltakin, selvästi karkeampihiilaiselta, globaalilta ilmastomallilta. Tämän ns. reunaehtomallin merkitys on alueellisen mallin ilmaston suuren skaalan kehityksessä ja monissa mallisuureissa (kuten ilmanpaineen jakauma) hyvin määräävä. Lumen vesiarvoon reunaehtomalli vaikuttaa kuitenkin lähinnä määräämällä malli-ilmaston yleisen kehityksen, eli siis ilmastomuutoksen aiheuttaman lämpötilan nousun ja sademäärän kasvun. Itse lumen vesiarvo tuotetaan alueellisissa malleissa hyvin vaihtelevin tuloksin. Jokainen 11 käytetystä ilmastomallisimulaatiosta käytti samaa A1B-päästöskenaariota, joka ei tulevaisuuden kasvihuonekaasupäästöjen suhteen kuulu kumpaankaan ääripäähän.

Seuraavaksi tutustutaan pikaisesti Suomen nykyiseen lumi-ilmastoon, minkä jälkeen käydään läpi ENSEMBLES-simulaatioiden ennustamat keskimääräiset muutokset kahdelle eri 30 vuoden

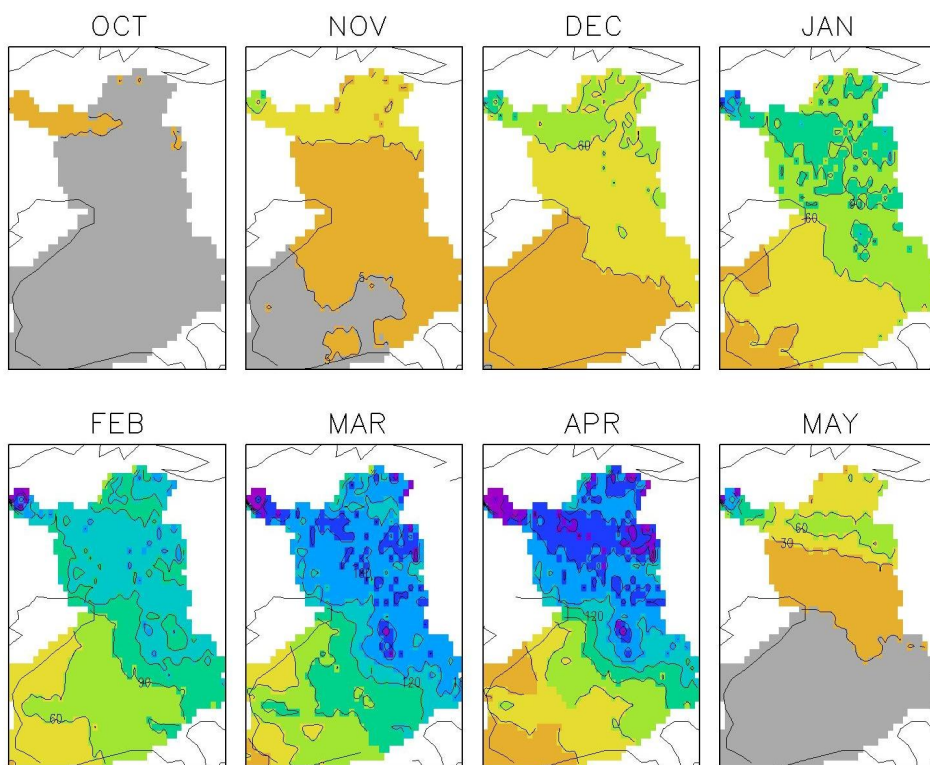
jaksolle. Nämä skenaariot ovat 2021-2050 (SC1) ja 2069-2098 (SC2). Lopuksi tarkastellaan lumen vesiärvon simuloitua vuosienvälistä vaihtelua kolmessa pisteessä eri puolilla Suomea (Jokioinen, Ilomantsi ja Sodankylä). Tämä tarkastelu antaa tietoa mm. siitä, kuinka yleisesti yksittäisiä runsaslumisia talvia voidaan odottaa esiintyvän tulevaisuudessa ilmaston lauhtumisesta huolimatta.

2. Suomen nykyinen lumi-ilmast

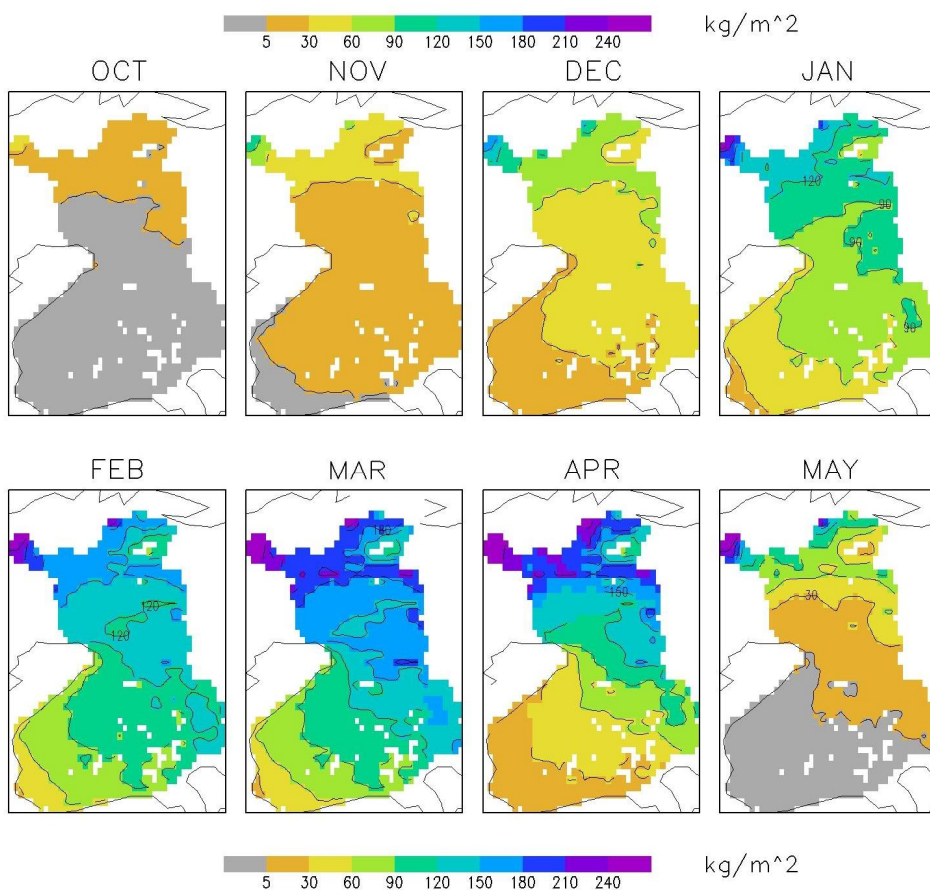
Suomen lumi-ilmastosta on olemassa varsin kattavaa tietoa Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) lumilinjamittausten muodossa, vuodesta 1951 alkaen. Lumi-ilmast eroaa luonnollisesti hyvin paljon Suomen eri osien välillä. Lumitalven pituus vaihtelee Käsivarren yli 220 vuorokaudesta lounaissaariston vajaan sataan vuorokauteen. Lumen syvyys ja vesiärvö taas kasvavat pääsääntöisesti pohjoista ja itää kohti mentäessä. Voimakas paikallinen maastonmuodoista johtuva vaihtelu on lumen määrälle tyypillistä, etenkin Itä- ja Pohjois-Suomen vaara- ja tunturialueilla. Lisäksi Suomen lumi-ilmastoa leimaa hyvin suuri vuosien välinen vaihtelu, joka taas on suurinta etelässä ja rannikkoseuduilla.

Lumen vesiärvon kuukausikeskiarvoja Suomen nykyisessä ilmastossa SYKE:n lumilinjamittausten antamana sekä mallisimulaatioiden keskiarvona esitellään kuvassa 1. Kuvan aineisto kattaa ainoastaan vuodet 1994–2001, sillä vertailukelpoinen digitaalisessa muodossa oleva havaintoaineisto oli saatavissa ainoastaan tälle jaksolle. Tästä huolimatta tuloksia voitaneen pitää varsin edustavana, sillä ERA40-uudelleenanalyysin mukaan kyseisen jakson lumiolot eivät suuresti poikenneet pidemmän 25 vuoden jakson (1971-1988 + 1994-2001) lumioloista.

Kuvan 1 yläkuvista nähdään lumen vesiärvon havaittu alueellinen jakauma. Lumitalvi alkaa Suomessa ensimmäiseksi Luoteis-Lapissa Käsivarren alueella. Siellä lunta alkaa kertyä jo lokakuun aikana, ja kasvu jatkuu huhtikuuhun saakka, jolloin Käsivarren päässä havaitaan keskimäärin jopa 300 kg/m² lumen vesiärvöjä. (Käsivarren laki onkin Suomen ylivoimaisesti runsaslumisinta aluetta, Kilpisjärvellä kevättalvella 1997 mitattu lumensyvyyden ennätys on 190 cm. Tämä vastaa lumen vesiärvöjä suuruusluokassa 400–500 kg/m².) Lounaan rannikkoseuduilla lunta taas saadaan merkittävästi vasta joulukuussa, talven keskimääräisen maksimin jäädessä 50 kg/m² tuntumaan. Toukokuussa maa onkin siellä jo täysin lumeton, kun taas pohjoisessa Käsivarren korkeilla tunturialueilla lunta on usein vielä kesäkuun puolellakin. Niinpä keskimääräinen lumitalven pituus vaihtelee maassamme lounaan alle neljästä kuukaudesta pohjoisen tunturialueiden noin kahdeksaan kuukauteen. Lumitalven pituus ja lumen määrä maan muissa osissa jäävät näiden kahden ääripään väliin. Keskimäärin Suomen alueella lumen vesiärvö saavuttaa maksiminsa maaliskuussa, ollen noin 120 kg/m². Tämä vastaa maaliskuun lumen tiheyksillä (~250 kg/m³) arviolta 50 cm lumensyvyyksiä. Tätä suurempia arvoja saavutetaan lähinnä Itä- ja Pohjois-Suomessa, suurin piirtein Oulu-Joensuu-linjan pohjoispuolella.



SYKE



Mallit

Kuva 1. Lumen vesiaron kuukausikeskiarvot Suomen alueella vuosina 1994-2001 Suomen ympäristökeskuksen aineistoon perustuvana (yläkuvat) sekä mallien keskimäärin simuloimana (alakuvat).

Kuvan 1 alakuvissa nähdään vastaavat asiat mallitulosten keskiarvona. Yleisilmeeltään mallien antama lumen vesiarvon jakauma vaikuttaa osuvan havaintojen kanssa hyvin yhteen. Mallit tuottavat keskimäärin kuitenkin hieman liian runsaita arvoja, lukuun ottamatta maaliskuuta, jolloin SYKE:n arvot ovat jopa hieman suurempia. Lisäksi havaitaan pieniä alueellisia eroavaisuuksia, kuten Kainuun vaara-alueiden havaintoja vähäisemmät lumen vesiarvot malleissa. Näistä seikoista huolimatta mallien keskimäärin simuloima lumen vesiarvo vastaa todellisuutta yllättävänkin hyvin. On kuitenkin muistettava, että kuvan 1 alakuvat ovat 11 mallisimulaation keskiarvoja, ja joukkoon mahtuu sekä selvästi vähä- että runsaslumisempia simulaatioita.

3. Lumi-ilmaston tulevat muutokset

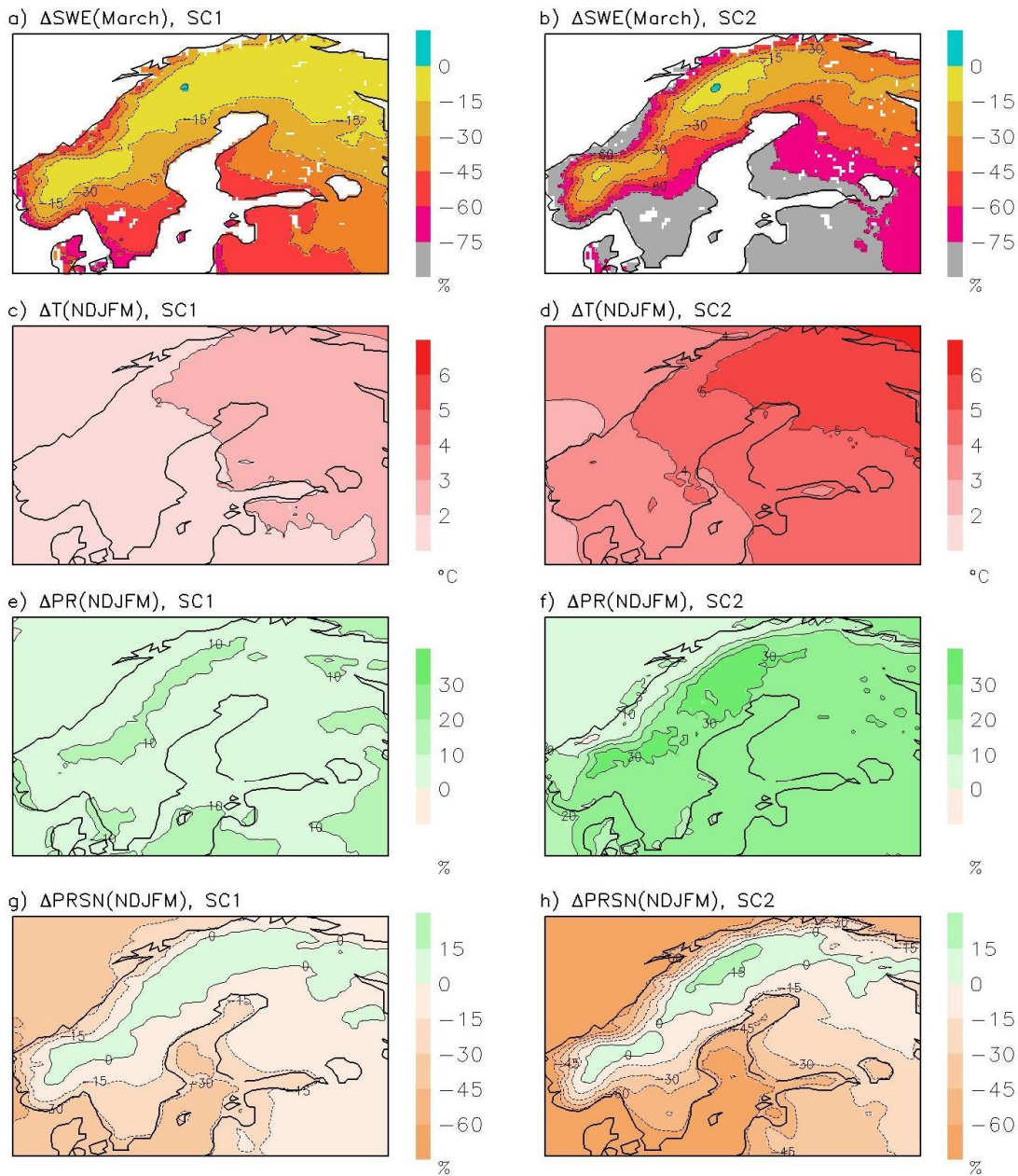
Tarkastelemme mallien ennustamia lumi-ilmastoon liittyvien suureiden muutoksia keskittyen kahteen 30-vuotiseen skenaariojaksoon, 2021-2050 ja 2069-2098. Ensimmäinen näistä jaksoista on vielä ajallisesti melko lähellä vertailujaksona käytettyjä vuosia 1971-2001. Etenkin lumen vesiarvon kohdalla muutokset ovat kuitenkin jo merkittäviä, johtuen lumen herkkyydestä lämpötilan muutoksille. Toisella skenaariojaksolla muutokset voimistuvat selvästi. Kuvassa 2 on esitettyä molempien skenaariojaksojen osalta 11 mallin tulosten keskiarvoina saadut talvikauden muutokset Skandinavian alueen karttakuvina. Kaikkien tarkasteltavien suureiden muutokset ovat lähes kaikkialla samansuuntaisia molempien skenaariojaksojen aikana, mutta selvästi voimakkaampia toisella kuin ensimmäisellä skenaariojaksolla.

Talvikauden (marras-maaliskuu) lämpötilan muutokset (kuvat 2c & 2d) rajoittuvat ensimmäisellä skenaariojaksolla 1,5–2,5 asteen nousuun. Lämpötila nousee voimakkaaimmin Skandinavian koillisosissa ja vähiten lounaassa. Toisella skenaariojaksolla nousu vaihtelee lounaisen Skandinavian reilusta kolmesta asteesta Pohjois-Suomen yli viiden asteen nousuun. Ensimmäiseen skenaariojaksoon verrattuna lämpötilan nousu on siis laajalti noin kaksinkertaista.

Sademäärän muutokset ovat ensimmäisellä skenaariojaksolla (kuva 2e) vielä varsin maltillisia. Kokonaissademäärä kasvaa kyllä kaikkialla Skandinaviassa, mutta muutokset ovat vain 10 prosentin luokkaa. Toisella skenaariojaksolla (kuva 2f) kokonaissademäärä lisääntyy jo selvästi, muutoksen ollessa suurimmassa osassa Skandinaavia 20–30 %. Skandien vuoriston itäpuolella, Keski- ja Pohjois-Ruotsin tunturialueilla sademäärä lisääntyy yleisesti yli 30 %. Ainoastaan Skandien länsipuolella Norjassa sademäärän muutos pysyttelee hieman yllättäen ensimmäisen skenaariojakson tasolla. Pienellä alueella kokonaissademäärä siellä jopa vähenee hieman vertailujaksoon nähden.

Lisääntynyt kokonaissademäärä ja nousseet lämpötilat synnyttävät suuria muutoksia lumisateen määrässä (kuvat 2g ja 2h). Lumisade lisääntyy molemmilla skenaariojaksoilla suurin piirtein samoilla alueilla, eli Pohjois-Lapissa ja Skandien vuoristossa. Kasvu on enimmäkseen 0-15 %. Ruotsin Lapissa on kuitenkin alue, jossa toisella skenaariojaksolla lumisateen määrä lisääntyy yli 15 %. Muualla Skandinaviassa lumisateen määrä vähenee. Ensimmäisellä skenaariojaksolla laskua havaitaan 0-30 %, ja toisella skenaariojaksolla se on yleisesti noin kaksi kertaa ensimmäistä voimakkaampaa.

SC1 ja SC2 muutokset



Kuva 2. Mallien keskimäärin simuloimat talvi-ilmaston (SWE: maaliskuu; muut suureet: marras-maaliskuu) muutokset vertailujaksolta (1971–2001) ensimmäiselle (SC1 = 2021–2050) ja toiselle skenaariojaksolle (SC2 = 2069–2098). Lumen vesiarvon SWE, kokonaissademäärän PR ja lumisateen määrän PRSN muutokset ovat suhteellisia muutoksia (%), 2 metrin lämpötilan T muutokset absoluuttisia muutoksia (°C).

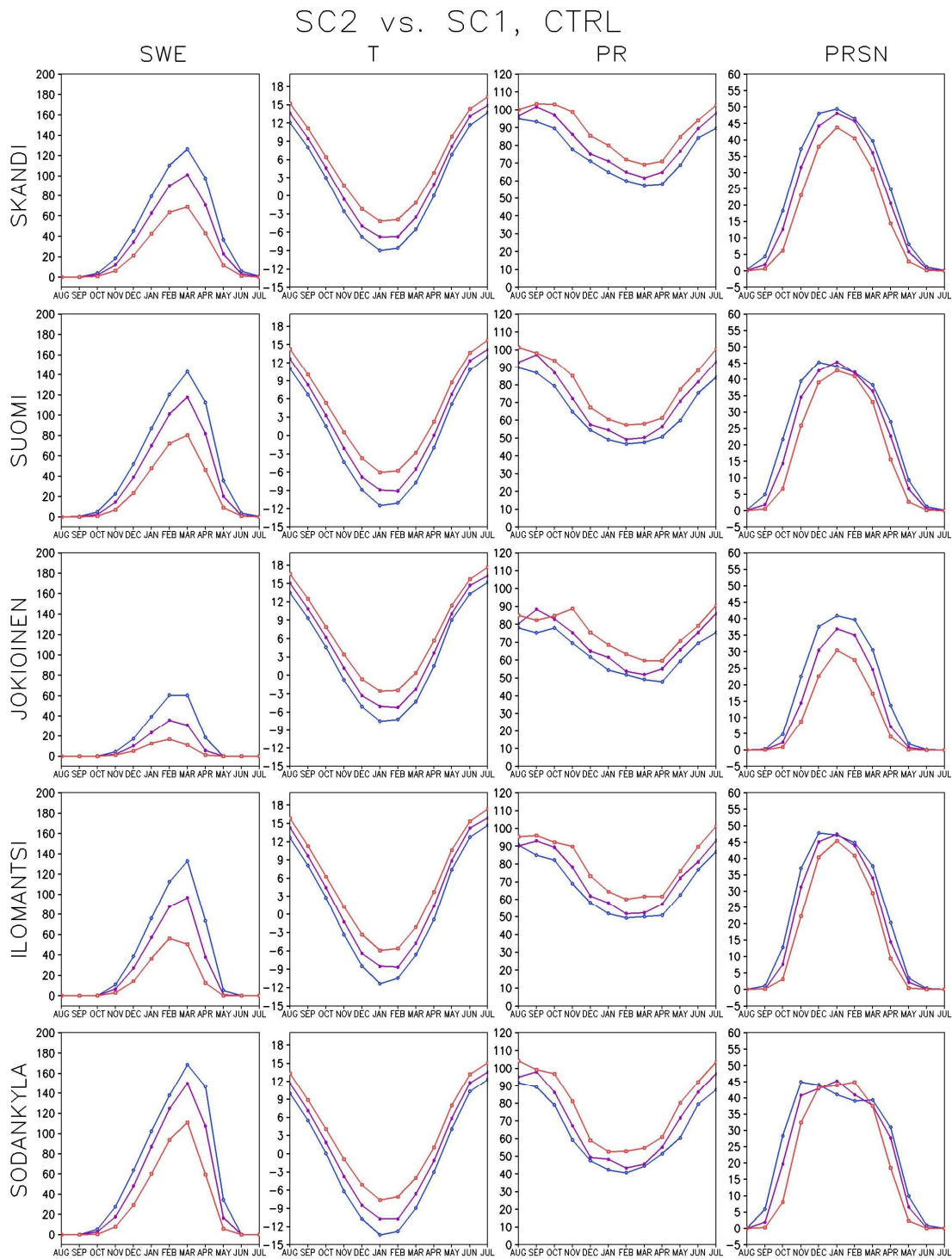
Ensimmäisellä skenaariojaksolla lumen vesiarvon tilanne on lumisateen määrän muutosten valossa hieman yllättävä (kuva 2a). Lumen vesiarvo laskee koko Skandinaviassa, lukuun ottamatta hyvin pientä aluetta Ruotsin Lapissa. Alueilla, joilla lumisateen määrä kasvaa, lumen vesiarvon pieneneminen rajoittuu välille 0–15 %. Etelää kohti mennessä muutos kasvaa. Lounais-Suomessa lumen vesiarvo pienenee jo lähes puoleen, ja Etelä-Ruotsissa laskua on yli 60 % (tosin siellä jo vertailujakson arvot ovat hyvin alhaisia, jolloin prosentuaaliset muutokset ovat herkästi suuria).

Sademäärän kasvusta huolimatta lumi siis vähenee jo ensimmäisellä skenaariojaksolla selvästi. Lämpötilan nousu näyttäisi siis dominoivan lumen määrän käyttäytymistä, sillä kohtuullisen runsas kokonaissademäärän kasvu tai edes lumisateen määrän lisääntyminen eivät johda lumen vesiarvon kasvuun.

Toisella skenaariojaksolla lumen vesiarvo vähenee koko eteläisessä Skandinaviassa yli 60 %, laajalti jopa yli 75 % (kuva 2b). Eteläisestä Ruotsista ja Baltian maista lumi häviää lähes kokonaan. Suomessa laskua havaitaan koko maassa, Lapin 15–40 prosentista etelän yli 75 prosenttiin. Kun vielä otetaan huomioon eteläisen Suomen suhteellisen vähäiset lumimäärät vertailujaksolla, jää siellä lumen määrä tämän vuosisadan lopun ilmastossa hyvin vähäiseksi. Pohjoisessa tilanne on lumen suhteen selvästi lohdullisempi, sillä vaikka prosentuaaliset pudotukset ovat merkittäviä, on Pohjois-Suomessa silti talvella vielä varsin paljon lunta. Lumen säilymisen suhteen tilanne näyttää parhaimmalta Ruotsin Lapin korkeilla alueilla, missä lumen vesiarvo vähenee hyvin vähän. Pienellä alueella lumen vesiarvo jopa hieman lisääntyy ensimmäisen skenaariojakson tapaan, kun lisääntynyt lumisateen määrä (lisäystä yli 30 %) tasapainottaa voimakkaasta lämpenemisestä (yli 5 °C) aiheutuvaa sulamisen lisääntymistä.

Kuvassa 3 tarkastellaan lähemmin talven kulkua eri alueilla (Skandinavian ja Suomen aluekeskiarvot sekä Jokioisten, Ilomantsin ja Sodankylän hilapisteet) kuukausikeskiarvokäyrien avulla. Käyräkuvista tehdään sama huomio kuin kuvan 2 yhteydessä, eli toisen skenaariojakson muutokset ovat yleisesti noin kaksinkertaisia ensimmäiseen vertailujaksoon nähden. Tämä pätee etenkin lämpötiloille, talvikuukausina lämpötilan nousu on ensimmäisen skenaariojakson aikana kahden asteen luokkaa mutta toisella skenaariojaksolla jo viiden asteen verran. Kesäkuukausien lämpeneminen jää toisellakin skenaariojaksolla vain noin kolmeen asteeseen. Siinä missä talvikauden sademäärä lisääntyy ensimmäisellä skenaariojaksolla yhdestä reiluun viiteen millimetriin kuukaudessa, on muutos toisella skenaariojaksolla pääasiassa 5–10 mm/kk. 30 vuoden jaksoja tarkasteltaessakin sademäärässä esiintyy jonkin verran satunnaista kuukausikohtaista vaihtelua, sillä Jokioisten kohdalla syyskuussa sademäärä laskee toisella skenaariojaksolla reilut 5 mm ensimmäiseen skenaariojakssoon nähden.

Lumisateen määrän muutosten suunta riippuu tarkasteltavasta alueesta ja vuodenajasta. Jokioisissa lumisade vähenee vertailujaksoon nähden talven kaikkina kuukausina selvästi, muutoksen voimistuessa toisella skenaariojaksolla. Ilomantsissa lumisateen määrä pysyy vielä ensimmäisellä skenaariojaksolla tammi- ja helmikuussa ennallaan, mutta toisella skenaariojaksolla se vähenee jo näinäkin kuukausina. Lumisateen väheneminen on kuitenkin suurinta alkui- ja loppupalvesta, toisen skenaariojakson tammi- ja helmikuun lukemien ollessa yhä varsin lähellä ensimmäisen skenaariojakson ja vertailujakson lukemia. Sodankylän kylmemmässä ilmastossa lumisade vähenee loka-marraskuussa sekä huhtikuussa, vähenemisen ollessa voimakkaampaa toisella kuin ensimmäisellä skenaariojaksolla, kun taas joului- ja tammikuussa molemmilla skenaariojaksoilla havaitaan lähes samansuuruista kasvua vertailujaksoon nähden. Erityisen silmään pistävää on kuitenkin lokakuun lumisateiden määrän lasku: vertailujaksolla lunta satoi malleissa lähes 30 mm/kk, toisella skenaariojaksolla enää reilut 5 mm/kk.



Kuva 3. Mallien keskimäärin simuloimat vertailujakson 1971-2001 (sininen), ensimmäisen skenaariojakson 2021-2050 (violetti) ja toisen skenaariojakson 2069-2098 (punainen) kuukausikeskiarvot lumen vesiarvolle SWE (kg/m^2), 2 metrin lämpötilalle T ($^{\circ}\text{C}$), sademäärälle PR (mm/kk) ja lumisateen määrälle PRSN (mm/kk) Suomen ja Skandinavian aluekeskiarvoina sekä paikkakunnille Jokioinen, Ilomantsi ja Sodankylä. Aika-akseli alkaa elokuusta ja päättyy heinäkuuhun.

Kun lumisateen määrä vähenee, vähenee myös yleensä myös lumen vesiarvo. Kuten kuvan 3 lumen vesiarvon kuvaajista nähdään, lumen vesiarvon muutos on kuitenkin selvästi voimakkaampaa kuin

lumisateen määrän muutos. Jopa Sodankylässä, missä lumisateen määrä pysyy lähes vakiona, lumen vesi-arvo vähenee melko selvästi, varsinkin toisella skenaariojaksolla.

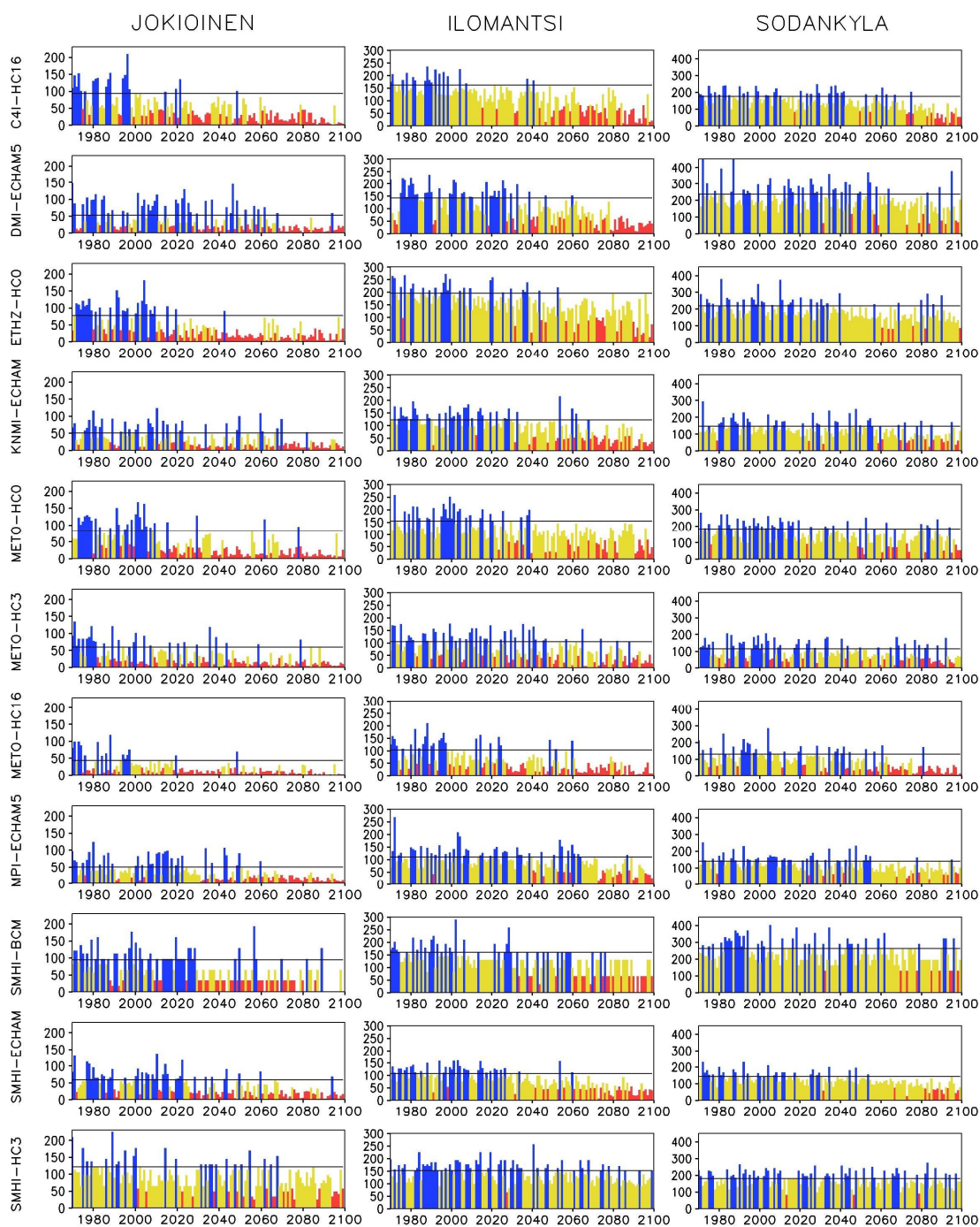
Lumen vesi-arvo vähenee molemmilla skenaariojaksoilla kaikissa tarkastelukohteissa ja kaikkina kuukausina. Tulevaisuudessa lunta on siis läpi talven keskimäärin selvästi nykyistä vähemmän. Lumen määrän vähenemiselle mainittiin jos aikaisemmin kuvan 2 yhteydessä pääasiallisiksi syyksi lämpötilan nousu. Kokonaissademäärän kasvu kyllä osaltaan lisää lumen vesi-arvoa, mutta samanaikaisesta lämpenemisestä seuraava lumisateen osuuden lasku kokonaissademäärästä vähentää lumen vesi-arvoa selvästi enemmän. Tämän lisäksi lämpötilan noususta seuraa myös (maassa jo olevan lumen) lisääntyntä sulamista, mikä puolestaan vähentää lumen vesi-arvoa etenkin keväällä (tarkempi diagnostinen analyysi: Eklund 2010, luvut 5.2 ja 6.2).

Lumen vähenemisen lisäksi havaitaan myös siirtymää talven maksimilumimäärän ajankohdassa, siten että maksimilumimäärä saavutetaan tulevaisuudessa jopa kuukautta nykyistä aikaisemmin. Syynä lumimaksimin siirtymälle on pääasiassa lumen entistä aikaisempi ja nopeampi sulaminen keväällä. Esimerkiksi Ilomantsin tarkastelupisteessä vertailujakson maaliskuun maksimi-arvo 140 kg/m^2 vähenee ensimmäisellä skenaariojaksolla 100 kg/m^2 maaliskuiseen maksimiin, ja toisella skenaariojaksolla havaitaan enää 60 kg/m^2 maksimi helmikuussa.

Edellisissä kohdissa kuvattiin muutoksia kaikkien mallien yhteenlaskettuja 30 vuoden keskiarvoja käyttäen. Yksittäiset mallisimulaatiot eroavat kuitenkin toisistaan huomattavasti, varsinkin lumen vesi-arvon kohdalla, ja Suomen talvi-ilmaston vuosienvälinen lumen määrän vaihtelu on vielä mallien keskinäistä hajontaakin suurempaa.

Kuvassa 4 on kaikkien 11 tarkastellun mallisimulaation lumen vesi-arvon talvikohtaiset maksimi-arvot (eli kunkin talven suurin kk-keskiarvo) vertailujakson alusta (talvi 1970–1971) toisen skenaariojakson loppuun saakka (talvi 2098–2099). Nämä 129 talven pituiset ajanjaksot on esitetty Jokioisten, Ilomantsin ja Sodankylän pisteille. Lisäksi kuvissa on vertailukohtana kunkin mallisimulaation lumimaksimien vertailujakson keskiarvo. Yksittäisten talvien lumimaksimit on merkitty siten, että siniset pylväät kuvaavat vertailujakson keskiarvoa runsas- ja keltaiset vähälumisempia talvia. Punaiset pylväät taas edustavat niitä talvia, jolloin lumen vesi-arvon maksimi jää alle puoleen vertailujakson keskiarvosta.

Mallisimulaatiot eroavat toisistaan hyvin voimakkaasti lumen vesi-arvon maksimien suuruuksissa. Jokioisissa lumen vesi-arvon vertailujakson keskiarvo on mallista riippuen noin $45\text{--}120 \text{ kg/m}^2$, lumisimpien yksittäisten talvien osuessa välille $120\text{--}220 \text{ kg/m}^2$. Ilomantsissa kyseiset arvot ovat vertailujakson keskiarvoille $105\text{--}195 \text{ kg/m}^2$ ja yksittäisille maksimeille $170\text{--}290 \text{ kg/m}^2$, Sodankylän vastaavien lukemien ollessa $120\text{--}270 \text{ kg/m}^2$ ja $210\text{--}440 \text{ kg/m}^2$. Lumen vesi-arvon maksimeissa erot mallisimulaatioiden välillä ovat siis jopa yli kaksinkertaisia. Niinpä ei ole kovin mielekästä tarkastella mallien absoluuttisia eroja, vaan ennemminkin muutosten suuruutta kunkin mallin vertailuarvoon (vertailujakson keskiarvo) nähden. Pylväsdigrammien väriskaalat toteuttavat tämän, sillä pylväiden värit määräytyvät aina suhteessa kyseisen mallin vertailujakson keskiarvoon.



Kuva 4. Lumen vesiarvon mallikohtaiset kunkin talven kuukausikeskiarvomaksimit vuosille 1971–2099 Jokioisten, Ilomantsin ja Sodankylän hilapisteissä. Vertailuksi mukana on myös kunkin mallin vertailujakson maksimien keskiarvo (vaakaviiva), jonka perusteella yksittäisten vuosien maksimit on väritetty ('punainen' < keskiarvo/2 < 'keltainen' < keskiarvo < 'sininen').

Vaikka mallit eroavatkin toisistaan vahvasti lumimaksimien absoluuttisten suuruuksien suhteen, on niiden yleisessä kehityksessä havaittavissa selviä yhteneväisyyksiä. Jokioisissa siniset ja keltaiset pylväät ovat suurimmassa osassa mallisimulaatioista vallitsevia noin vuoteen 2020 saakka, joskin väliin mahtuu myös useita punaisella merkittyjä eli hyvin vähälumisia talvia (mikä on odotettua, sillä nykyilmastossakin Jokioisten lumimäärät jäävät silloin tällöin hyvin pieniksi). 2020-luvulta alkaen siniset pylväät jäävät selvään vähemmistöön, ja vuosisadan loppupuoliskon aikana näitä

runsaslumisia talvia on simulaatiosta riippuen enää nollasta viiteen kappaletta. Vuosisadan alkupuoliskolla vallitseva väri on keltainen, eli lumimaksimit jäävät enimmäkseen keskiarvon alle ollen kuitenkin vielä kohtuullisia, kun taas vuosisadan loppupuoliskolla punaiset pylväät ovat lähes kaikissa malleissa pääosassa. Poikkeuksen tästä tekee ainoastaan yksi malli, jossa lumimaksimit pysyvät aivan vuosisadan loppua lukuun ottamatta lähes samalla tasolla. Tämä johtuu pääasiassa kyseisen mallin lähtötilanteen liiallisesta kylmyydestä.

Ilomantsissakin lumimäärät vähenevät vuosisadan loppupuolella selvästi, mutta lunta on kuitenkin useimpina talvina vielä kohtuullisesti, vuosisadan alkupuoliskolla vertailujakson keskiarvo ylittyy vielä usein. Erittäin vähälumiset talvet yleistyvät siellä vasta aivan vuosisadan loppupuoliskolla. Ilomantsissakin sama yksittäinen mallisimulaatio eroaa linjasta, säilyttäen nykyisenkaltaiset lumitalvet aivan vuosisadan loppuun saakka. Koska mallisimulaatioiden lumisateen määrä (ei kuvaa) ei Ilomantsissa koko aikana juurikaan muutu, aiheuttaa lumen vesiaron vähenemisen lämpenemisestä aiheutuva runsaampi lumen talven aikainen (ja keväällä aikaisempi) sulaminen.

Sodankylässä lämpeneminen on hyvin voimakasta, ja eräässä nopeasti lämpenevässä simulaatiossa keskimääräistä kylmempiä talvia ei nähdä enää lainkaan vuoden 2005 jälkeen (ei kuvaa). Yleisestikin vertailujakson keskiarvoa kylmemmät talvet loppuvat mallisimulaatioista käytännössä kokonaan vuoden 2050 tienoilla. Lämpötilan lähtötason ollessa kuitenkin suhteellisen alhainen ja kokonaissademäärien noustessa lumisateen määrät (ei kuvaa) pysyttelevät Sodankylässä keskimäärin vertailujakson tasolla. Tämä mahdollistaa lumen vesiaron säilymisen suhteellisen korkealla tasolla, ja siksi Sodankylän lumen vesiaron maksimien muutokset ovat Ilomantsin ja etenkin Jokioisten muutoksia vähäisempiä (kuva 4). Erittäin vähälumiset talvet kyllä yleistyvät 2000-luvun viimeisten vuosikymmenien aikana, mutta valtaosassa simulaatioista esiintyy edelleen myös keskiarvoa runsaslumisempia talvia.

Taulukossa 1 nähdään lumen vesiaron maksimien vertailujakson keskiarvon ylittävien talvien, eli siis kuvan 4 sinisten pylväiden, lukumäärä. Lukumäärät on ilmoitettu erikseen kolmelle 30 vuoden jaksolle. Koska vertailujakson 31 vuoden aikana mallisimulaatioissa oli kaikki kolme pistettä huomioon ottaen keskimäärin 15 keskimääräistä lumisempaa talvea, olisi odotusarvo 30 vuoden aikana sattuvien keskimääräistä runsaslumisempien talvien määrälle muuttumattomassa ilmastossa 14 tai 15.

Edes ensimmäisellä jaksolla (2010-2039) odotusarvoon ei päästä yhdessäkään valituista pisteistä, vain jokunen yksittäinen simulaatio pois lukien. Jokioisissa mallien keskiarvoksi saadaan 7,3, Ilomantsissa 9,5 ja Sodankylässä 10,2 runsaslumista talvea. Mallien väliset vaihtelut ovat tosin erityisesti Jokioisissa ja Ilomantsissa suuria. Toisella jaksolla (2040-2069) Jokioisten ja Ilomantsin runsaslumiset talvet käyvät jo todella vähiin, keskiarvojen ollessa 3,7 ja 4,3. Sodankylässä pudotus ei ole näin suuri, vaan keskiarvoksi saadaan 7,1. Viimeisellä jaksolla (2070-2099) Jokioisten ja Ilomantsin lukemat ovat jo lähes nollassa ollen 0,8 ja 1,3, ja Sodankylässäkin päästään enää ainoastaan keskimäärin 3,6:een vertailujakson keskiarvoa runsaslumisempaan talveen. Etelä- ja Keski-Suomessa ei siis tämän vuosisadan lopulla olisi nykykeskiarvoa vastaavia lumitalvia enää käytännössä lainkaan, ja etenkin lounaassa lähes lumettomat talvet toistuisivat jo varsin säännöllisesti. Lapissa lunta sentään vielä on tulevaisuudessakin, mutta lumen määrä vähenee

sielläkin merkittävästi.

Taulukko 1. Vertailujakson keskimääräisen lumimaksimin ylittävien talvien lukumäärä kolmella 30 vuoden jaksolla, jokaiselle simulaatiolle erikseen.

	JOKIOINEN			ILOMANTSI			SODANKYLÄ		
	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099
C4I-HC16	3	1	0	1	1	0	10	7	1
DMI-ECHAM5	12	9	1	14	2	0	14	9	3
ETHZ-HC0	3	1	0	8	2	0	11	3	4
KNMI-ECHAM5	7	6	2	10	4	0	9	8	5
METO-HC0	3	1	1	9	0	0	11	6	5
METO-HC3	6	2	1	13	6	3	10	7	7
METO-HC16	1	1	0	5	3	0	7	6	1
MPI-ECHAM5	11	5	0	12	9	1	12	8	2
SMHI-BCM	15	4	3	9	8	3	8	8	4
SMHI-ECHAM5	12	4	1	10	2	0	8	3	0
SMHI-HC3	7	7	0	14	10	7	12	13	8
KESKIARVO	7.3	3.7	0.8	9.5	4.3	1.3	10.2	7.1	3.6

4. Yhteenveto

Lumen vesiärvon muutoksia tarkasteltiin ENSEMBLES-simulaatioiden muutosten keskiarvon osalta kahden skenaariojakson 30-vuotiskeskiarvoina, ensimmäisen kattaessa vuodet 2021–2050 ja toisen vuodet 2069–2098. Ensimmäisen skenaariojakson aikana tapahtuva kahden-kolmen asteen lämpötilan nousu aiheuttaa lumen vesiärvon jo hyvin selviä muutoksia, lumen vähentyessä lähes koko Skandinaviassa. Suhteellinen muutos on voimakkainta alueen etelä- ja keskiosissa. Talvikauden (marras-maaliskuun) sademäärien lisääntyminen ei riitä kumoamaan lämpötilan nousun vaikutusta.

Toisen skenaariojakson aikana lumen vesiärvon väheneminen jatkuu, ja Jokioisten lumimäärät jäävät keskitalvellakin lähes olemattomiksi. Ilomantsissa lunta on keskimäärin enää alle puolet vertailujakson lumimäärästä ja vähemmän kuin mitä Jokioisten nykyilmastossa. Sodankylässä lumipeite säilyy paremmin, mutta sielläkin lumen määrä pienenee merkittävästi. Lumitalvi myös lyhenee selvästi niin alku- kuin loppupäästäänkin. Lumisateen määrä vähenee Jokioisissa kaikkien talvikuukausien aikana. Ilomantsissa syys- ja kevättalven lumisateet vähenevät, keskitalven lumisateen määrän pysyessä lähes muuttumattomana. Syys- ja kevättalven lumisateiden väheneminen laskee talven aikana kaikkiaan kertyneen lumisateen määrää myös Sodankylässä, vaikka siellä tammi-helmikuun lumisateiden määrä lisääntyykin.

30-vuotiskeskiarvojen lisäksi tarkasteltiin lumimäärän vuosienvälistä vaihtelua ENSEMBLES-simulaatioissa Jokioisten, Ilomantsin ja Sodankylän kohdalla. Kaikissa pisteissä runsaslumiset (vertailujakson keskiarvoa suurempi lumen vesiärho) talvet vähenevät huomattavasti 2000-luvun

aikana. Jokioisissa runsaslumiset talvet alkavat vähentyä ja lähes lumettomat lisääntyä jo lähivuosisikymmenien aikana, jälkimmäisten ollessa vuosisadan lopussa vallitsevia. Sodankylässä oleellisesti lumettomia talvia ei havaita vuosisadan lopussakaan juuri lainkaan, mutta runsaslumiset talvet vähenevät selvästi.

Kaiken kaikkiaan ennustettu ilmastonmuutos näyttäisi muuttavan Suomen lumi-ilmastoa merkittävästi, sillä Etelä-Suomen talvesta pysyvä lumipeite katoaa tämän vuosisadan lopulla useimmissa simulaatioissa lähes täysin ja pohjoisessakin lumen määrä laskee merkittävästi. Ennustetunkaltaisella muutoksella olisi kauaskantoisia yhteiskunnallisia vaikutuksia, sillä valtaosa suomalaisista asuu alueilla, mistä lumi katoaa lähestulkoon kokonaan.

Kirjallisuusluettelo

Eklund, J., 2010: Lumiolojen muutokset Pohjois-Euroopassa alueellisissa ENSEMBLES-ilmastomallisimulaatioissa. *Pro Gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto*, 65 + 3 s.