



ILMATIETEEN LAITOS  
METEOROLOGISKA INSTITUTET  
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

# Ilmastonmuutos Suomessa



# Taustatietoa

- Ilmastomuutosennusteet perustuvat ilmastomalleilla tehtyihin laskelmiin. Ilmastomalli on tietokoneohjelma, joka kuvaa ilmastojärjestelmän käyttäytymistä fysiikan lakien perusteella. Ilmastojärjestelmän osia ovat mm. ilmakehä, meret, maan pintakerros, lumi- ja jääpeite sekä kasvillisuus.
- Koosteessa hyödynnettyjä ilmastomalliaineistoja:
  - Globaalit CMIP6-ilmastomallisimulaatiot: Nämä on tuotettu IPCC:n 6. arviointiraporttia varten. Tässä työssä esitetyt tulokset ovat pääosin usean CMIP6-ilmastomallin keskiarvoja. Näin saadaan luotettavampi tulos kuin yksittäistä ilmastomallia käyttämällä.
  - Globaalit CMIP5-ilmastomallisimulaatiot: CMIP5-ilmastomallit ovat aiempaa mallisukupolvea kuin CMIP6. Osa analyyseistä on aiemmissa tutkimuksissa tuotettu CMIP5-simulaatioista. Näitä olemassa olevia aineistoja hyödynnetään tarpeen mukaan.
  - EC-EARTH-HCLIM-ilmastomalli: Korkean erotuskyvyn alueellinen ilmastomalli. Tästä aineistosta on tuotettu kuivuusindeksi VPD.
- Lisäksi on hyödynnetty seuraavia havaintopohjaisia aineistoja:
  - ERA5-uusanalyysi: Euroopan keskipitkien säennusteiden keskuksen (ECMWF) tuottama maailmanlaajuinen uusanalyysi, joka yhdistää kaikki saatavilla olevat havainnot säämallin tietoihin tarjoten siten yhtenäisen aineiston ilmakehän tilasta vuodesta 1940 nykypäivään.
  - E-OBS-havaintoaineisto: eurooppalainen havaintoaineisto, joka perustuu pelkkiin säähavaintoasematietoihin. Se tarjoaa yhdenmukaiset lämpötila- ja sademäärätiedot Euroopan alueelle vuodesta 1950 alkaen.
  - Ilmatieteen laitoksen tuottama Suomen havaintojen hila-aineisto perustuu Suomen sääasemien havaintoihin, jotka on interpoloitu vuodesta 1961 eteenpäin yhtenäiseen hilaan 10×10 km:n tarkkuuteen.

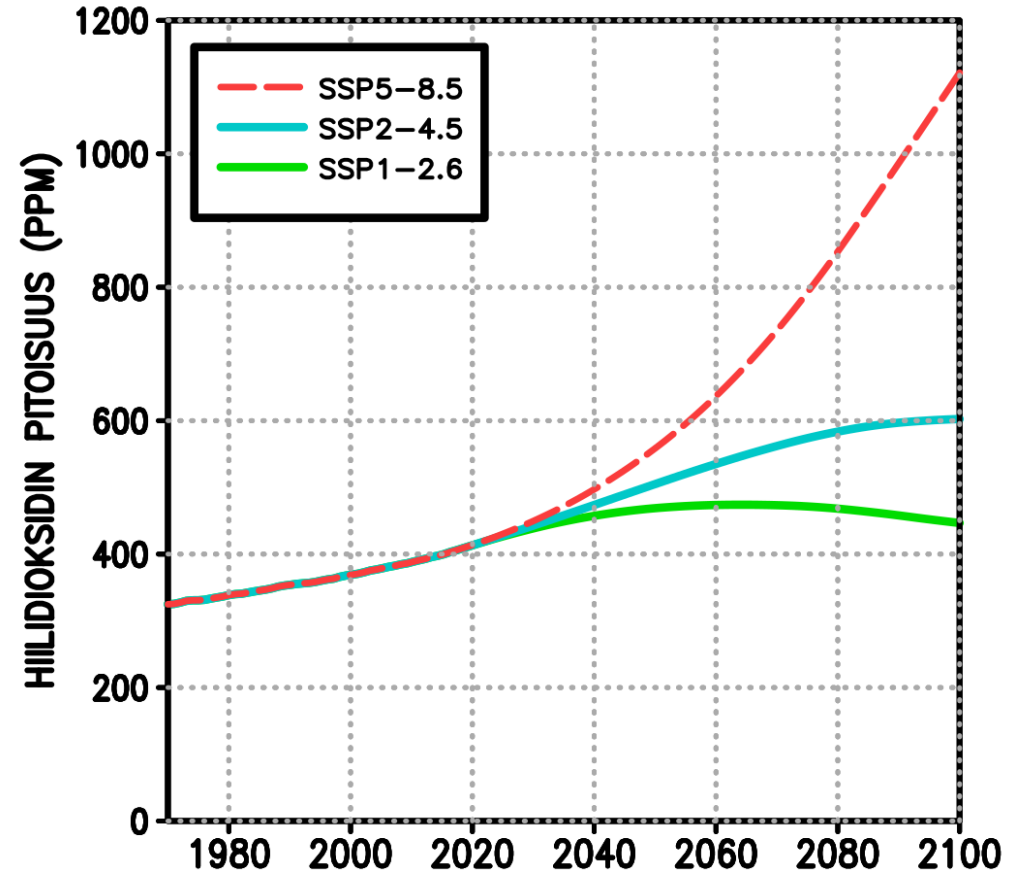
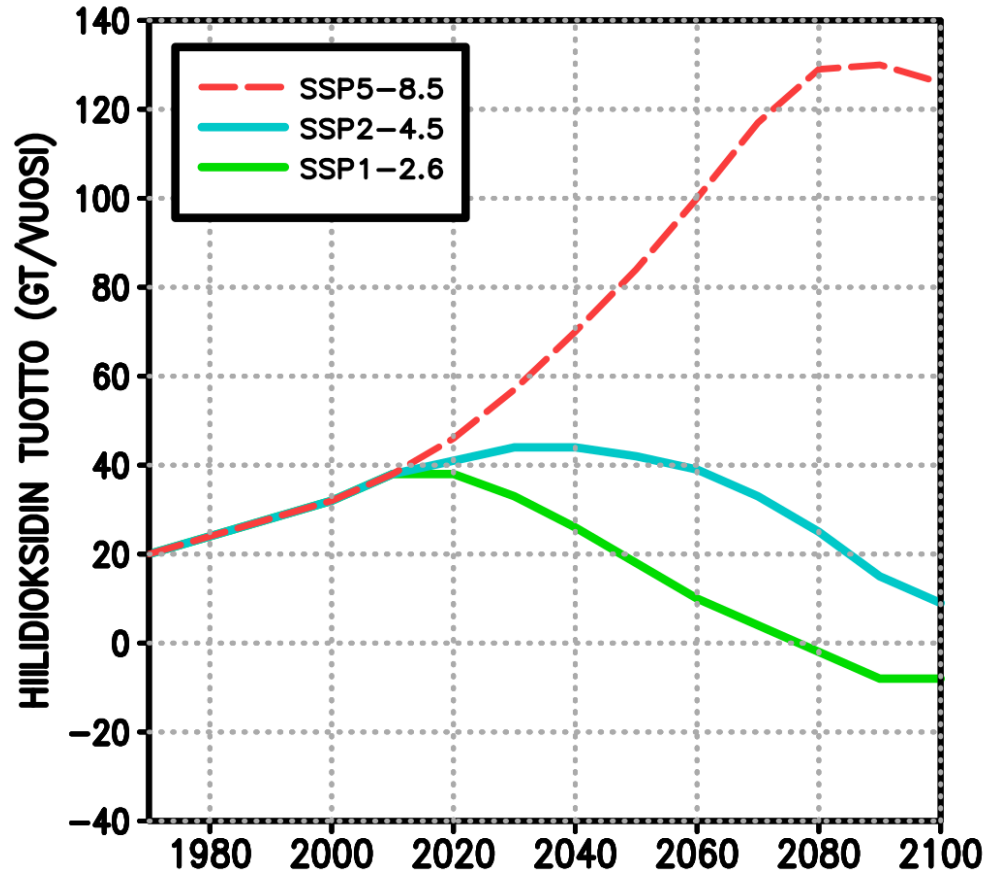


# Kasvihuonekaasuskenaariot

- SSP5-8.5-skenaario kuvaa maailmaa, jossa ilmastopolitiikka epäonnistuu täysin ja kasvihuonekaasujen päästöt kasvavat nopeasti. Maapallo lämpenisi vuoteen 2100 mennessä arviolta 4,4 asteella teollistumista edeltävään aikaan nähden ja lämpeneminen jatkuisi nopeana tuon jälkeenkin. CMIP5-simulaatioissa tätä vastaa RCP8.5-skenaario.
- SSP2-4.5-skenaario on keskivaihtoehto, jossa päästöjen rajoittaminen onnistuu osittain. Maapallon keskilämpötila nousisi teollistumista edeltävästä ajasta vuoteen 2100 mennessä noin 2,7 asteella. CMIP5-simulaatioissa tätä skenaariota vastaa RCP4.5.
- SSP1-2.6-skenaarion toteutuminen edellyttää, että maailmanlaajuiset päästöt kääntyisivät selvään laskuun jo 2020-luvulla ja putoaisivat nolatasolle ennen vuosisadan loppua. Maapallo lämpenisi teollistumista edeltävään aikaan verrattuna 1,8 asteella, eli tässä skenaariossa pysyttäisiin Pariisin sopimuksen mukaisen kahden asteen rajan alapuolella.
- Kun otetaan huomioon jo solmitut ilmastosopimukset ja fossiilisista polttoaineista riippumattoman energiantuotannon kehitys, SSP5-8.5-skenaario näyttää hyvin epätodennäköiseltä tulevaisuuden kehityskululta.
- Toisaalta myös SSP1-2.6-skenaarion edellyttämiin erittäin tiukkoihin päästöjen rajoituksiin on vaikea päästä.
- Nykyisen tiedon valossa SSP2-4.5-skenaario näyttäisi näistä kolmesta vaihtoehdosta todennäköisimmältä.

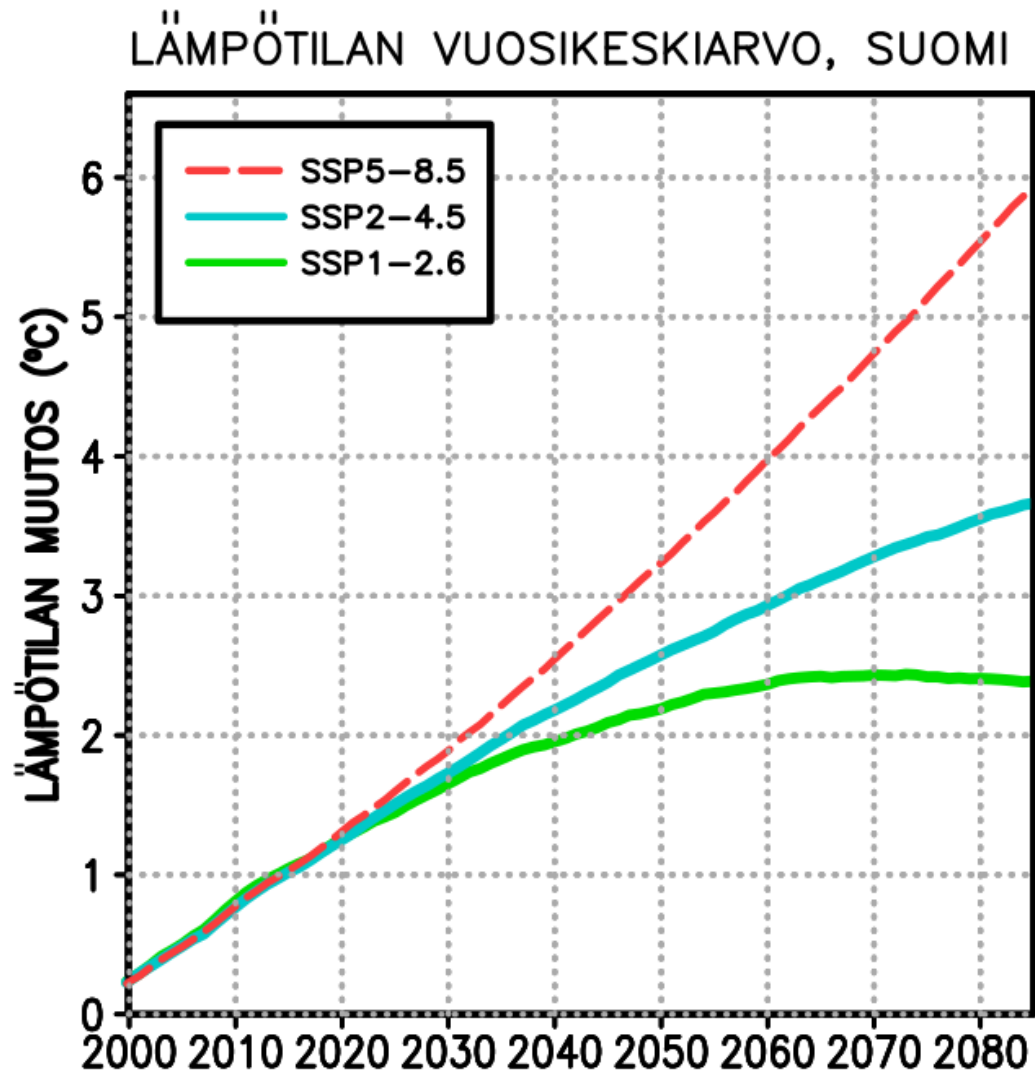


# Kasvihuonekaasuskenaariot



Eri SSP-skenaarioita vastaavat hiilidioksidin maailmanlaajuiset päästöt (vasen kuva; yksikkö miljardia tonnia hiilidioksidia vuodessa) ja pitoisuudet ilmakehässä (oikea kuva; yksikkö ppm eli tilavuuden miljoonasosa) vuosina 1970–2100.

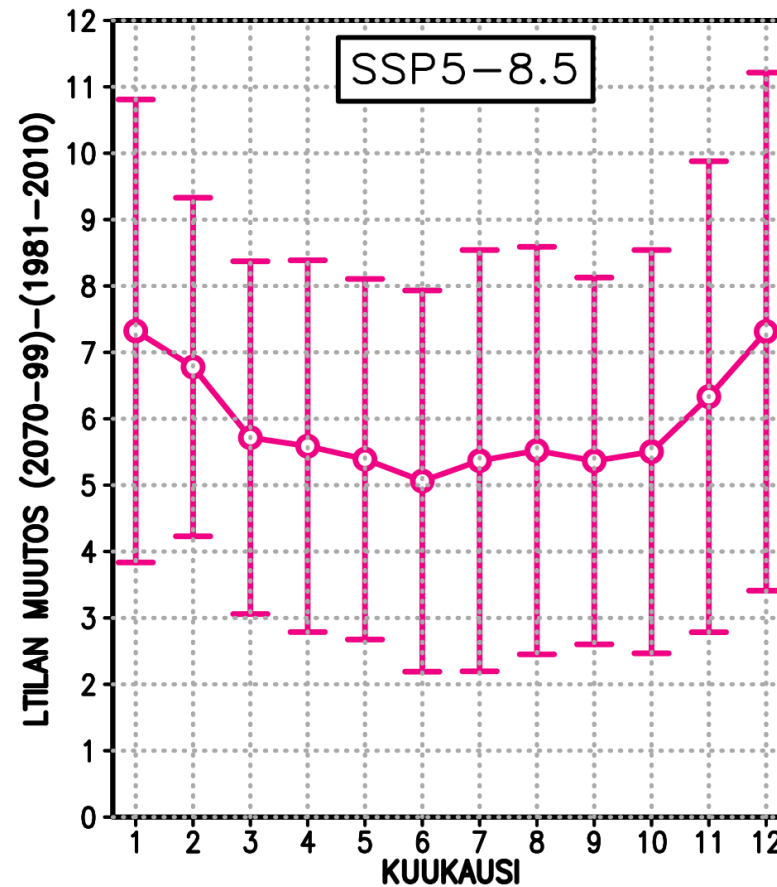
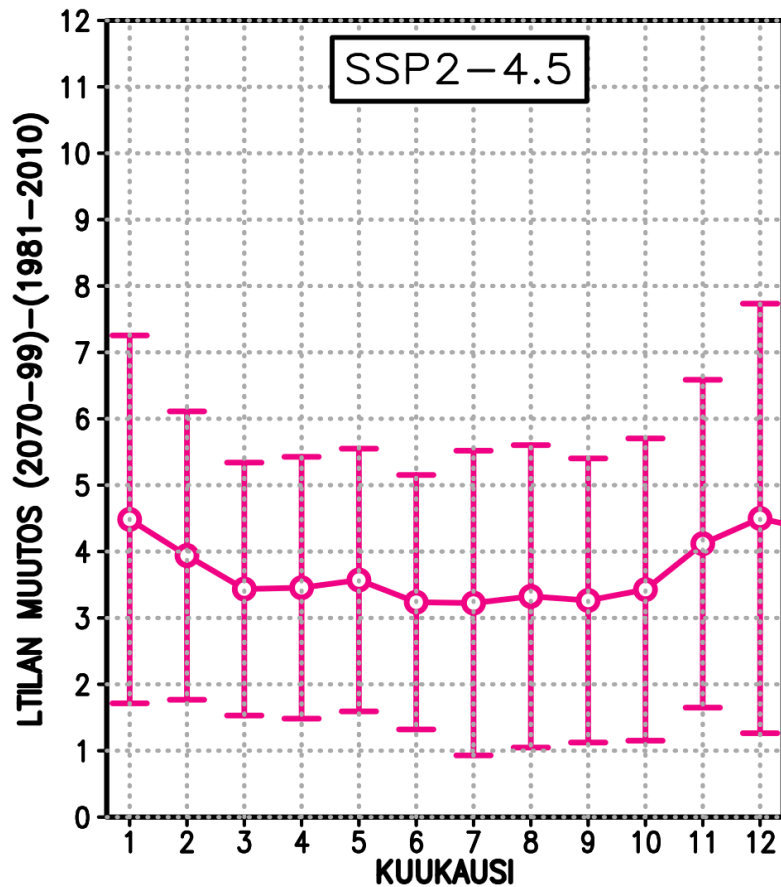
# Vuosikeskilämpötilan muutos



- Kuvassa on esitetty vuoden keskilämpötilan ennustettu muutos (asteina) Suomessa vuosina 2000–2085 verrattuna jakson 1981–2010 keskimääräisiin arvoihin. Käyrät esittävät 28 maailmanlaajuisen ilmastomuutosmallin tulosten keskiarvoa kolmelle eri SSP-kasviuonekaasuskenaariolle.
- Ilmaston lämpeneminen jatkuu lähivuosikymmeninä vääjäämättä.
- Vuosisadan puolivälin jälkeen eri kasviuonekaasuskenaariot alkavat erkaantua toisistaan yhä selvemmin. Esimerkiksi 2080-luvulla ilmasto näyttää jo aivan erilaiselta siitä riippuen, miten päästöjen rajoittamisessa onnistutaan.
- Todellisessa ilmastossa vuosien välinen vaihtelu on suurta. Siksi havaittu lämpötila ei tule nousemaan yhtä tasaisesti kuin kuvassa esitetty mallikeskiarvo, vaan siihen sisältyy kylmempiä ja lämpimämpiä vuosia luonnollisen vaihtelun seurauksena.



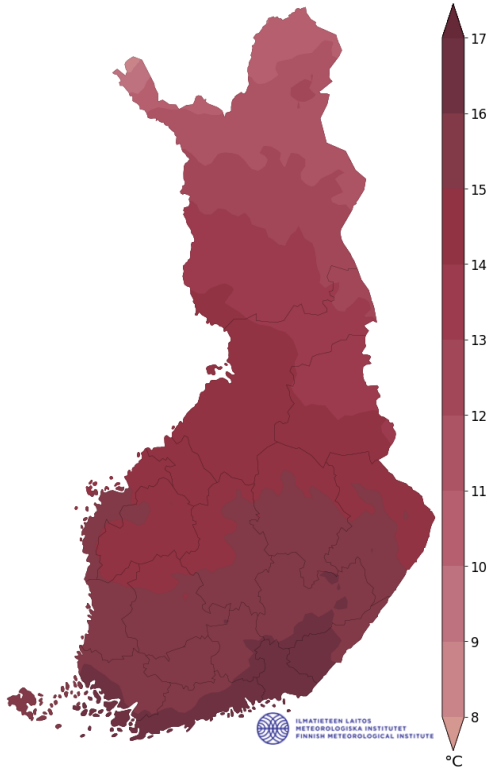
# Keskilämpötilan muutos eri kuukausina



- Eri ilmastomallien ennustamat ilmastolliset lämpötilan muutokset poikkeavat toisistaan melkoisesti, jolloin ilmastonmuutosarvioissa on suurta epävarmuutta.
- Esimerkiksi SSP2-4.5-skenaarion mukainen lämpötilan nousun epävarmuushaarukka ulottuu heinäkuussa yhdestä reiluun viiteen ja tammikuussa vajaasta kahdesta reiluun seitsemään asteeseen.

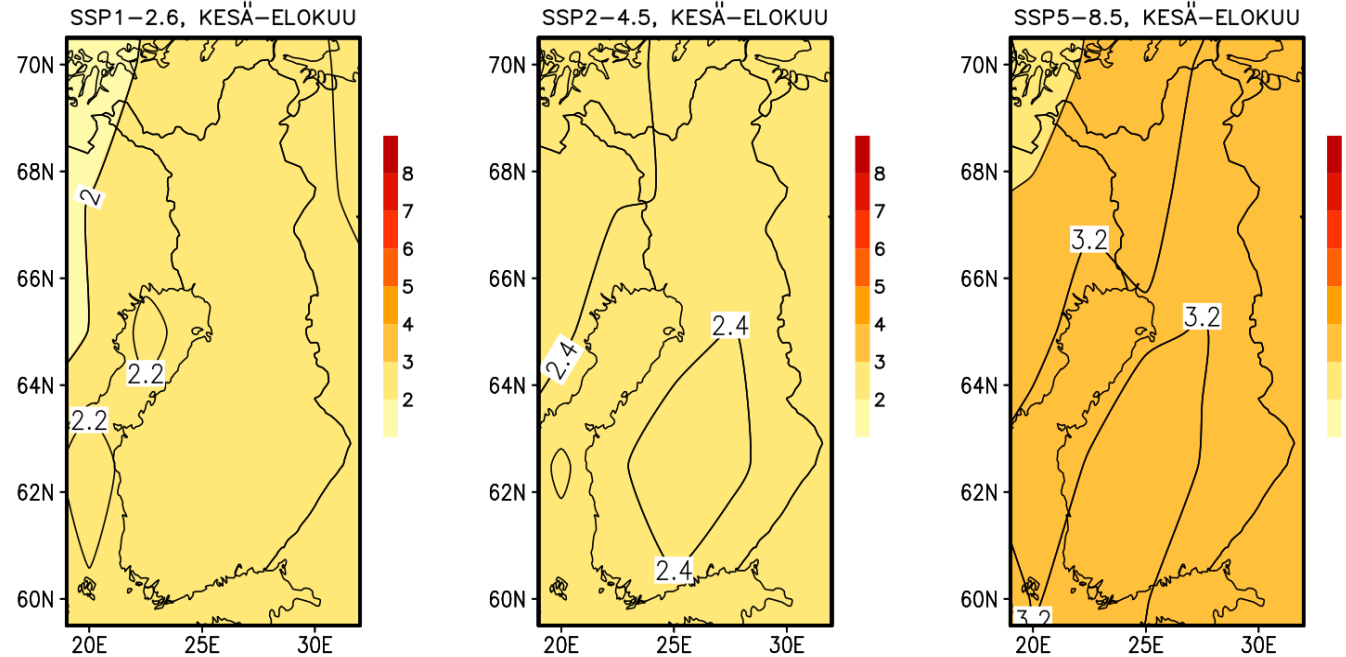
Keskilämpötilan ennustettu muutos (°C) Suomessa vuoden eri kuukausina siirryttäessä jaksosta 1981–2010 jaksoon 2070–2099 kahden eri skenaarion mukaan. Käyrä esittää 28 maailmanlaajuisen ilmastonmuutosmallin tulosten keskiarvoa ja pystyjanat mallituloksista laskettua 90 %:n todennäköisyysväliä.

# Keskilämpötilan muutos kesällä vuosisadan puoliväliin mennessä



Kesän keskilämpötila vuosien 1991-2020 havaintojen mukaan.

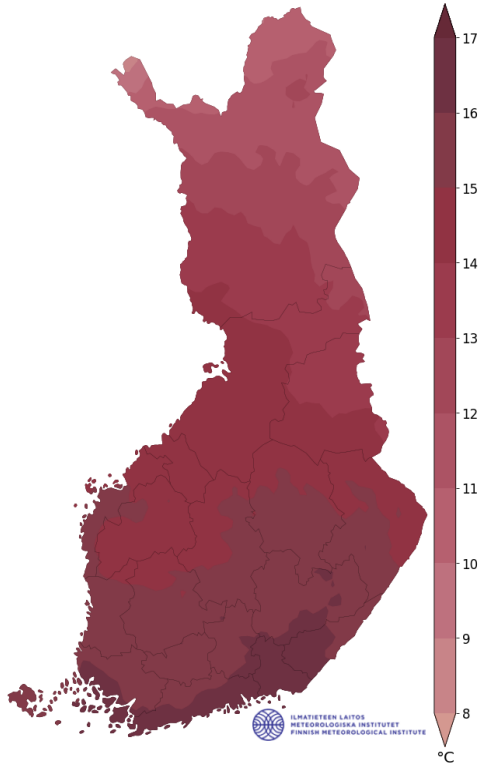
LÄMPÖTILAN MUUTOS 1981–2010 → 2040–69 (ASTEINA)



Mallien tuloksiin perustuva kesän keskilämpötilan muutos (asteina) siirryttäessä jaksosta 1981–2010 jaksoon 2040–2069 erikseen kolmen kasvihuonekaasuskenaarion perusteella: SSP1-2.6 (vasemmalla), SSP2-4.5 (keskellä) ja SSP5-8.5 (oikealla).

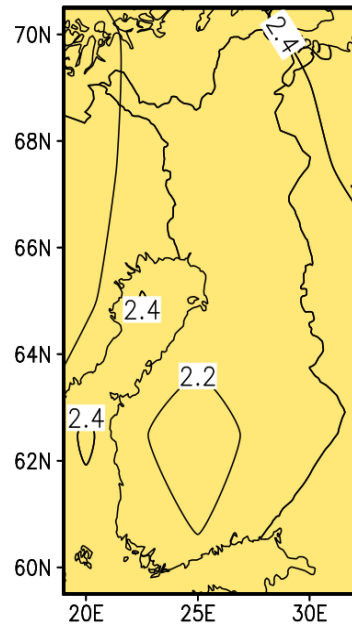
- Lämpeneminen on kesällä hitaampaa kuin talvella
- Kesällä lämpötilan nousu jakautuu melko tasaisesti Suomen eri osiin

# Keskilämpötilan muutos kesällä vuosisadan loppuun mennessä

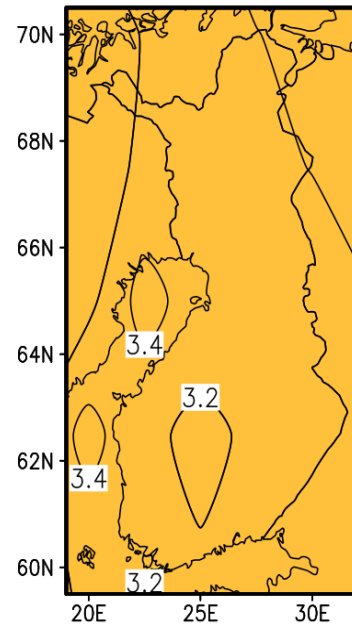


LÄMPÖTILAN MUUTOS 1981–2010 → 2070–99 (ASTEINA)

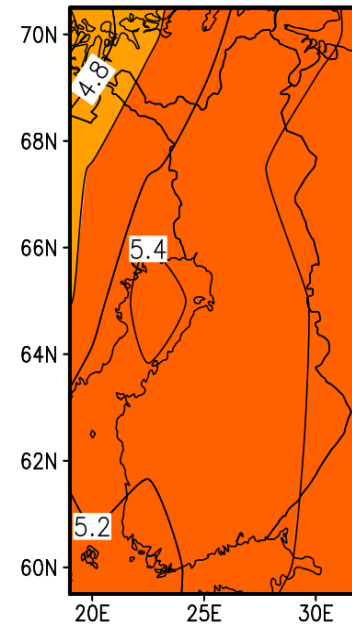
SSP1–2.6, KESÄ–ELOKUU



SSP2–4.5, KESÄ–ELOKUU



SSP5–8.5, KESÄ–ELOKUU

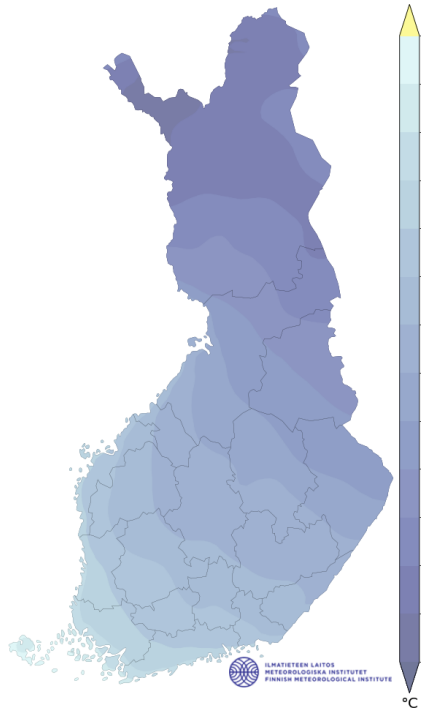


- Eri skenaarioiden väliset erot lämpenemisen voimakkuudessa kasvavat vuosisadan loppuun mennessä.

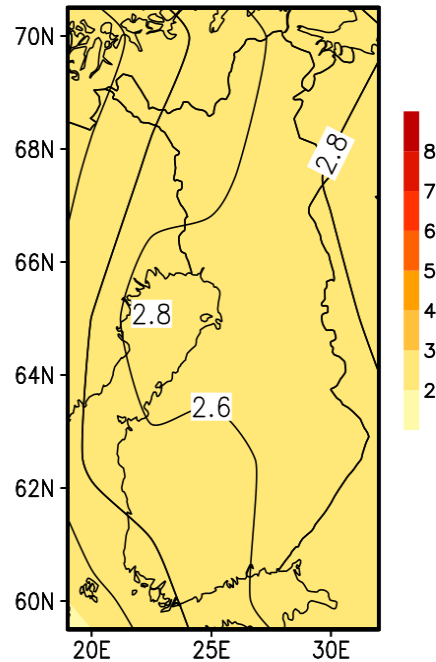
Kesän keskilämpötila vuosien 1991-2020 havaintojen mukaan.

Mallien tuloksiin perustuva kesän keskilämpötilan muutos (asteina) siirryttäessä jaksosta 1981–2010 jaksoon 2070–2099 erikseen kolmen kasvihuonekaasuskenaariion perusteella: SSP1-2.6 (vasemmalla), SSP2-4.5 (keskellä) ja SSP5-8.5 (oikealla).

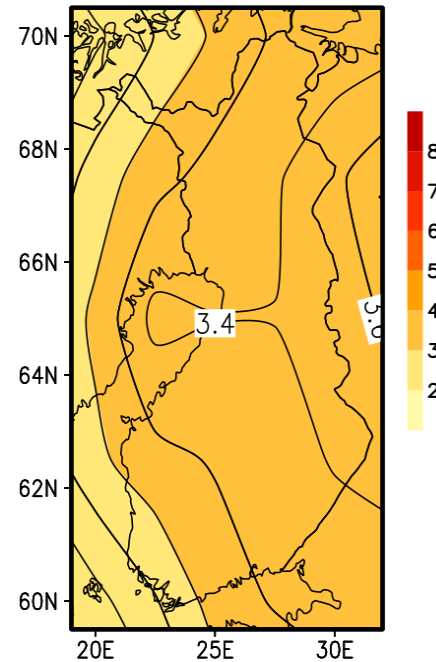
# Keskilämpötilan muutos talvella vuosisadan puoliväliin mennessä



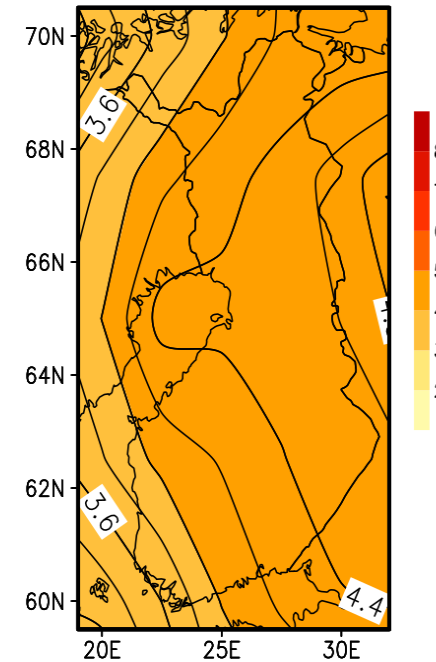
SSP1-2.6, JOULU-HELMIKUU



SSP2-4.5, JOULU-HELMIKUU



SSP5-8.5, JOULU-HELMIKUU

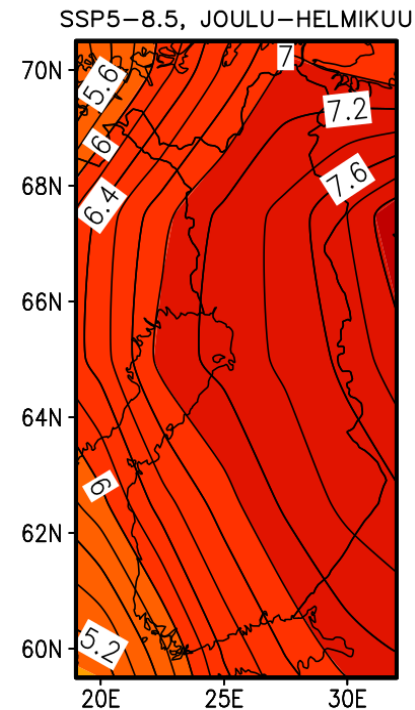
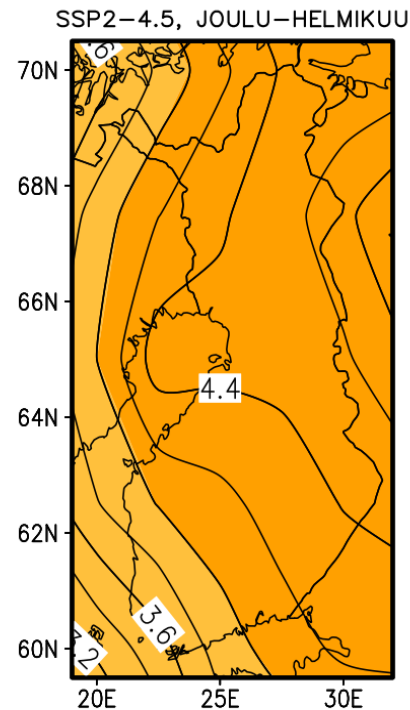
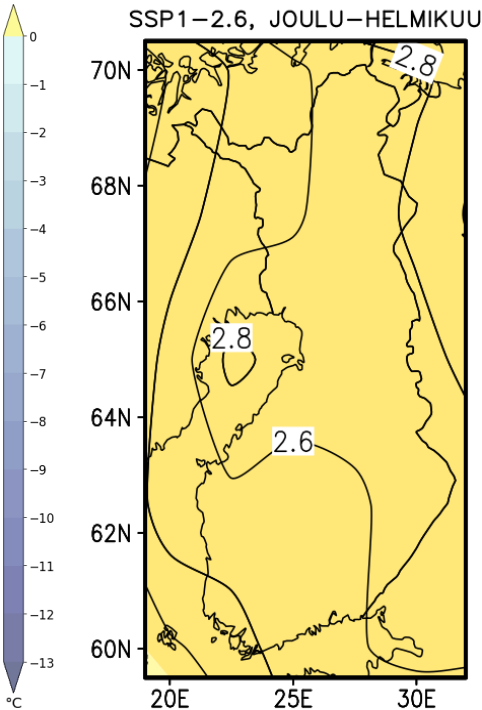
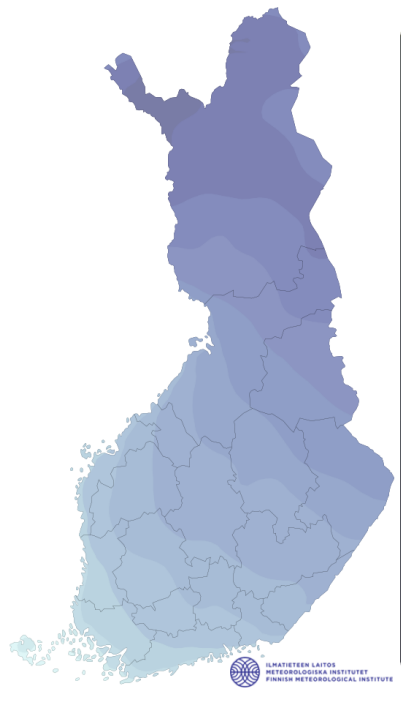


- Lämpeneminen on talvella voimakkaampaa kuin kesällä.
- Suomen itäiset osat lämpenevät jonkun verran länsipuolta enemmän.

Talven keskilämpötila vuosien 1991-2020 havaintojen mukaan.

Mallien tuloksiin perustuva talven keskilämpötilan muutos (asteina) siirryttäessä jaksosta 1981-2010 jaksoon 2040-2069 erikseen kolmen kasvihuonekaasuskenaarion perusteella: SSP1-2.6 (vasemmalla), SSP2-4.5 (keskellä) ja SSP5-8.5 (oikealla).

# Keskilämpötilan muutos talvella vuosisadan loppuun mennessä

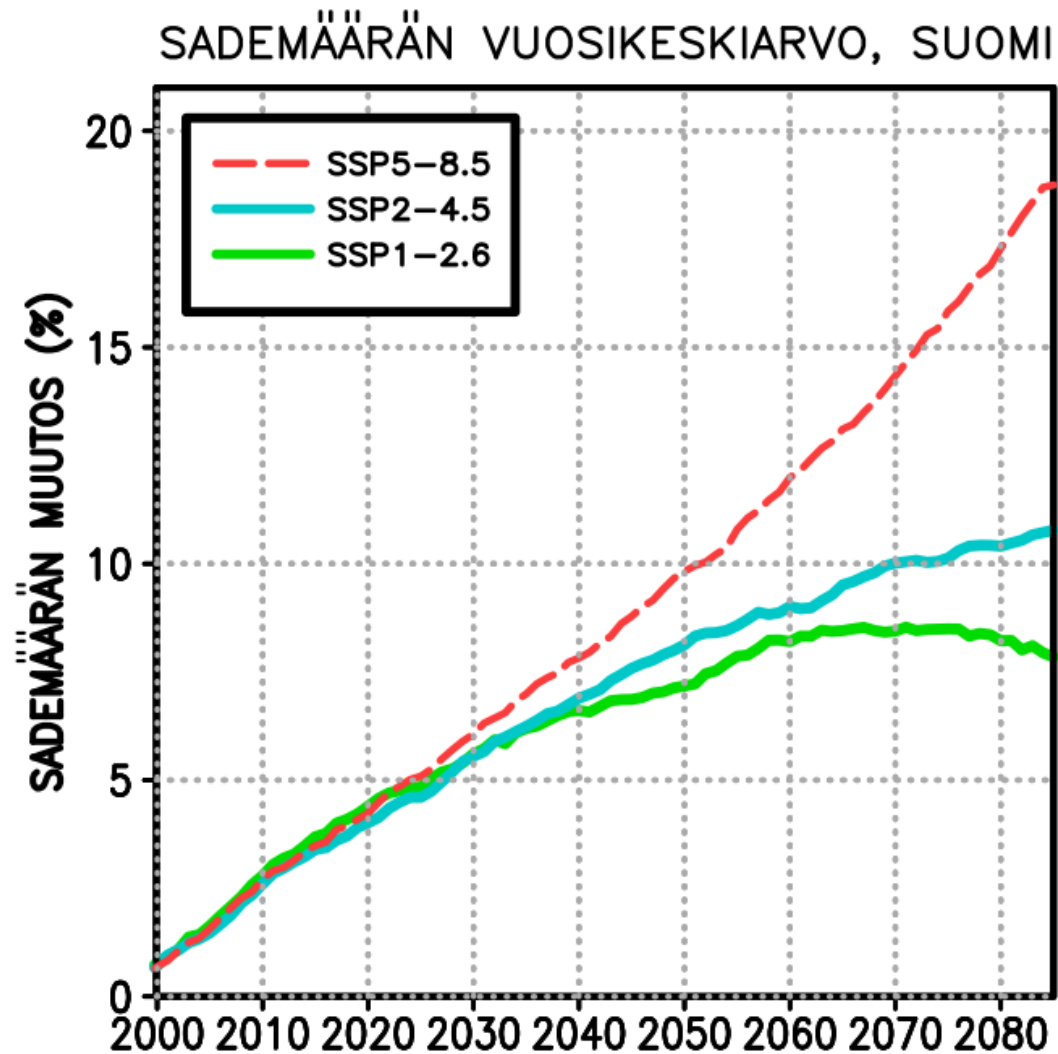


- Eri skenaarioiden väliset erot lämpenemisen voimakkuudessa kasvavat vuosisadan loppuun mennessä.
- Lämpeneminen on voimakkainta Suomen itärajalla.

Talven keskilämpötila vuosien 1991-2020 havaintojen mukaan.

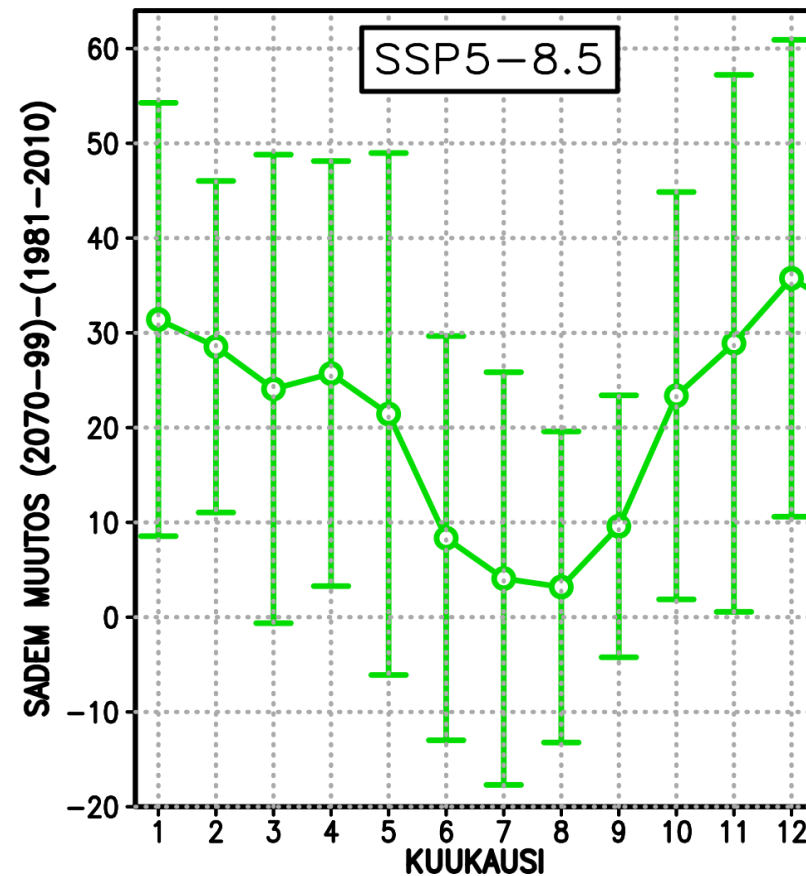
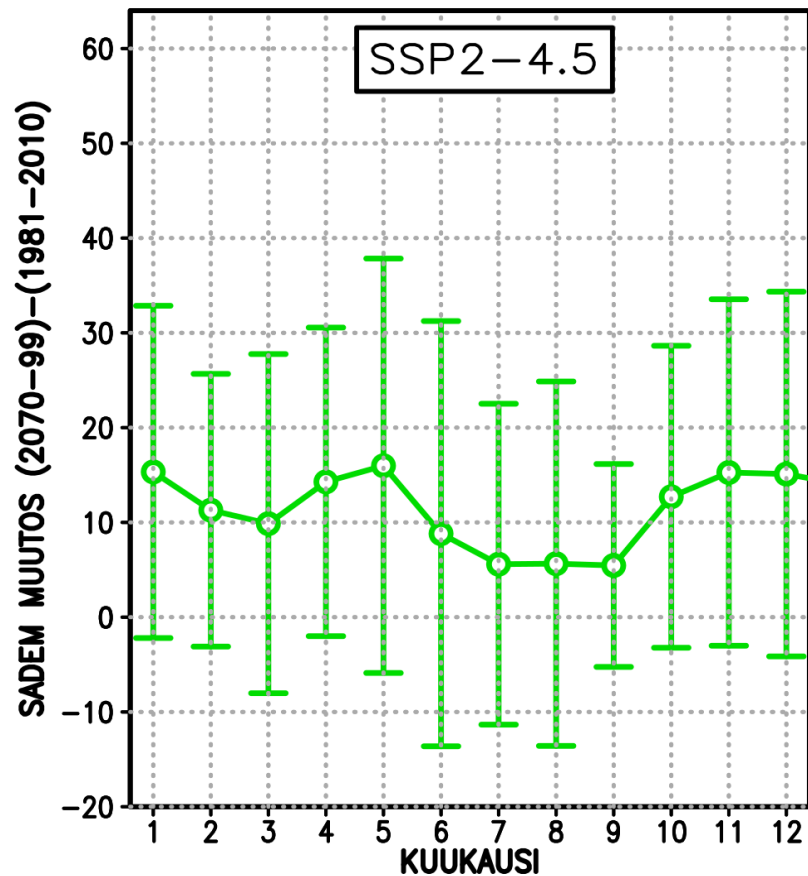
Mallien tuloksiin perustuva talven keskilämpötilan muutos (asteina) siirryttäessä jaksosta 1981–2010 jaksoon 2070–2099 erikseen kolmen kasvihuonekaasuskenaarioiden perusteella: SSP1-2.6 (vasemmalla), SSP2-4.5 (keskellä) ja SSP5-8.5 (oikealla).

# Vuosisademäärän muutos



- Kuvassa on esitetty vuoden sademäärän ennustettu muutos (prosentteina) Suomessa vuosina 2000–2085 verrattuna jakson 1981–2010 keskimääräisiin arvoihin. Käyrät esittävät 28 maailmanlaajuisen ilmastomuutosmallin tulosten keskiarvoa kolmelle eri SSP-kasvihuonekaasuskenaariolle.
- Sademäärä kasvaa lähivuosikymmeninä.
- Vuosisadan puolivälin jälkeen eri kasvihuonekaasuskenaariot alkavat erkaantua toisistaan yhä selvemmin.
- Todellisessa ilmastossa sademäärän vuosien välinen vaihtelu on suurta. Siksi sateisuus ei tule lisääntymään yhtä tasaisesti kuin kuvassa esitetty mallikeskiarvo, vaan siihen sisältyy kuivempia ja sateisempia vuosia luonnollisen vaihtelun seurauksena.

# Sademäärän muutos eri kuukausina

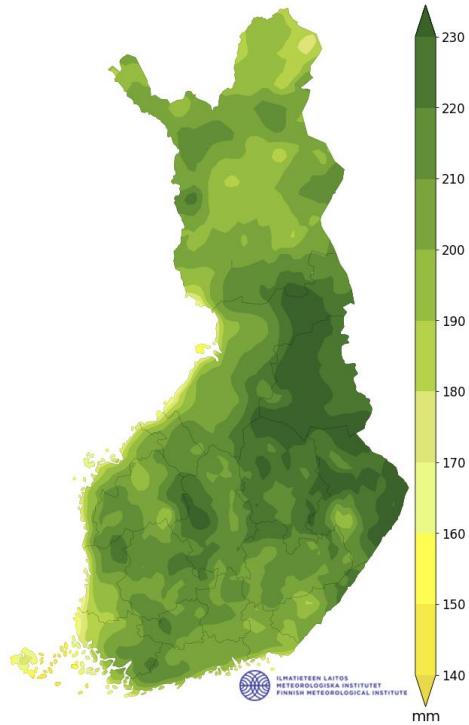


- Eri ilmastomallien ennustamat ilmastolliset muutokset poikkeavat toisistaan melkoisesti
- Mallien keskiarvon mukaan sateet näyttäisivät lisääntyvän kaikkina kuukausina.
- Kesällä muutos kuitenkin on etelässä hyvin pieni eikä sen suunnastakaan voida olla varmoja.

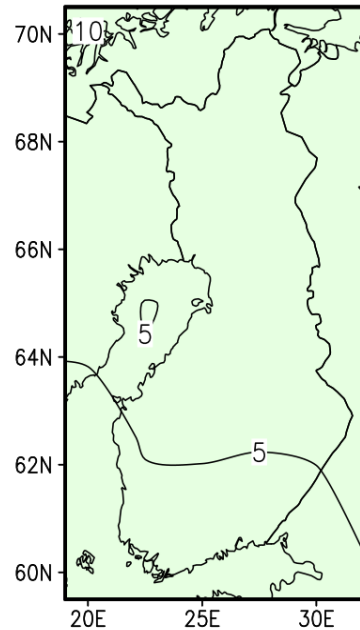
Sademäärän muutos (%) Suomessa vuoden eri kuukausina siirryttäessä jaksosta 1981–2010 jaksoon 2070–2099 kahden eri skenaarion mukaan. Käyrä esittää 28 maailmanlaajuisen ilmastomuutosmallin tulosten keskiarvoa ja pystyjanat mallituloksista laskettua 90 % todennäköisyysväliä.

# Sademäärän muutos kesällä vuosisadan puoliväliin mennessä

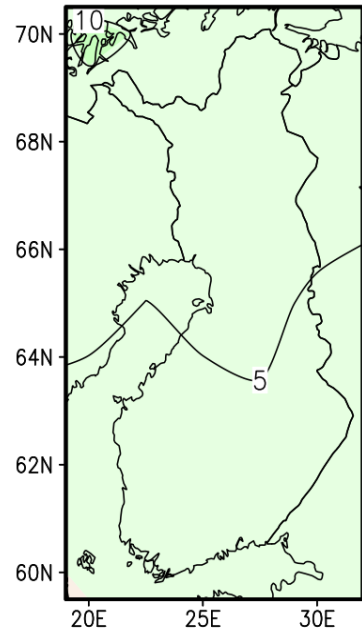
SADEMÄÄRÄN MUUTOS 1981–2010 → 2040–69 (%)



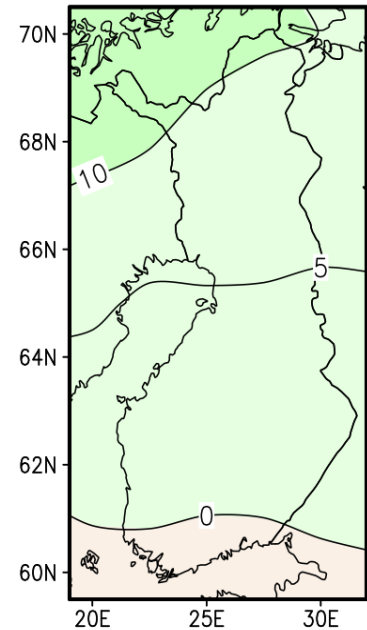
SSP1–2.6, KESÄ–ELOKUU



SSP2–4.5, KESÄ–ELOKUU



SSP5–8.5, KESÄ–ELOKUU

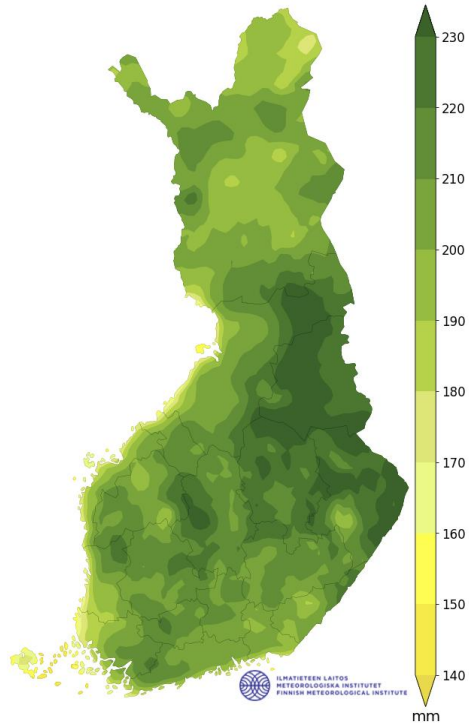


- Sademäärä kasvaa kesällä selvästi vähemmän kuin talvella
- Varsinkin Etelä-Suomessa kesällä muutos on hyvin pieni eikä sen suunnastakaan voida olla varmoja.

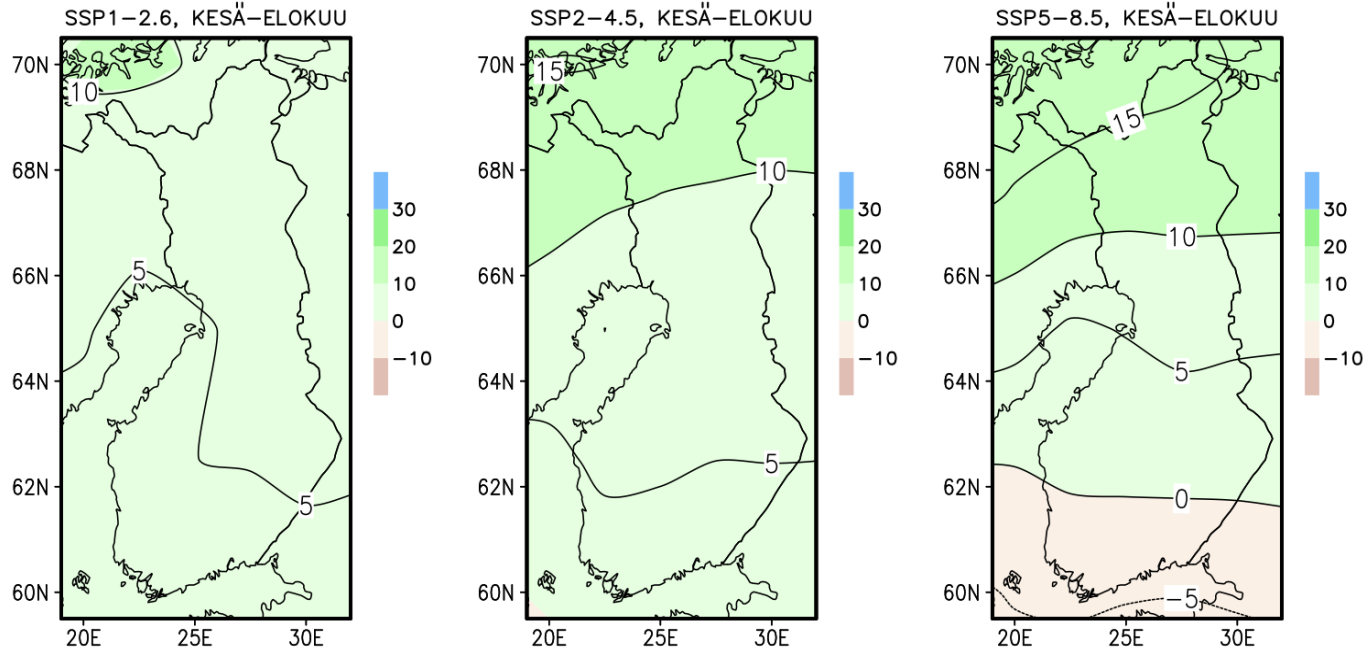
Kesän sademäärä 1991-  
vuosien 2020  
havaintojen mukaan.

Mallien tuloksiin perustuva kesän sademäärän muutos (%) siirryttäessä jaksosta 1981–2010 jaksoon 2040–2069 erikseen kolmen kasvihuonekaasuskenaarion perusteella: SSP1-2.6 (vasemmalla), SSP2-4.5 (keskellä) ja SSP5-8.5 (oikealla).

# Sademäärän muutos kesällä vuosisadan loppuun mennessä



SADEMÄÄRÄN MUUTOS 1981–2010 → 2070–99 (%)

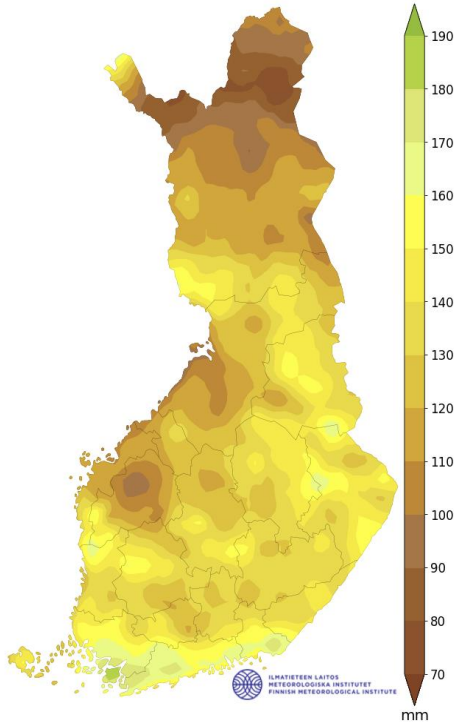


- Sademäärä kasvaa kesällä selvästi vähemmän kuin talvella
- Etelä-Suomessa muutos on hyvin pieni eikä sen suunnastakaan voida olla varmoja.

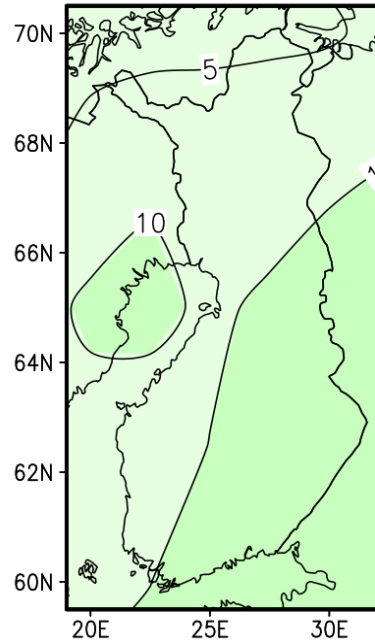
Kesän sademäärä vuosien 1991-2020 havaintojen mukaan.

Mallien tuloksiin perustuva kesän sademäärän muutos (%) siirryttäessä jaksosta 1981–2010 jaksoon 2070–2099 erikseen kolmen kasvihuonekaasuskenaarion perusteella: SSP1-2.6 (vasemmalla), SSP2-4.5 (keskellä) ja SSP5-8.5 (oikealla).

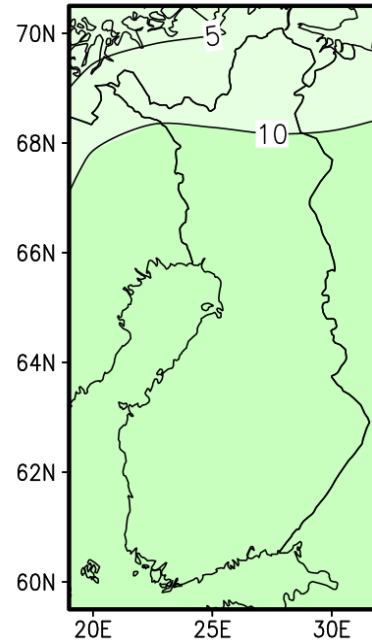
# Sademäärän muutos talvella vuosisadan puoliväliin mennessä



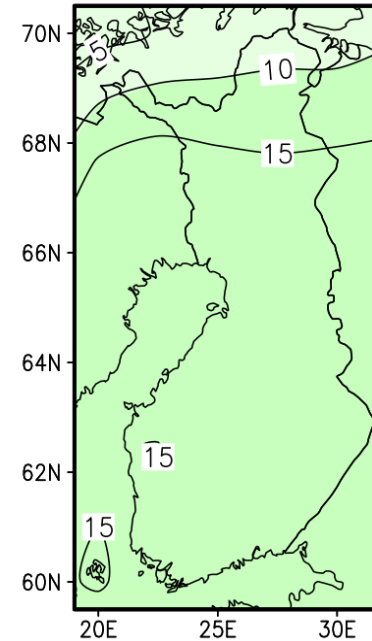
SSP1-2.6, JOULU-HELMIKUU



SSP2-4.5, JOULU-HELMIKUU



SSP5-8.5, JOULU-HELMIKUU

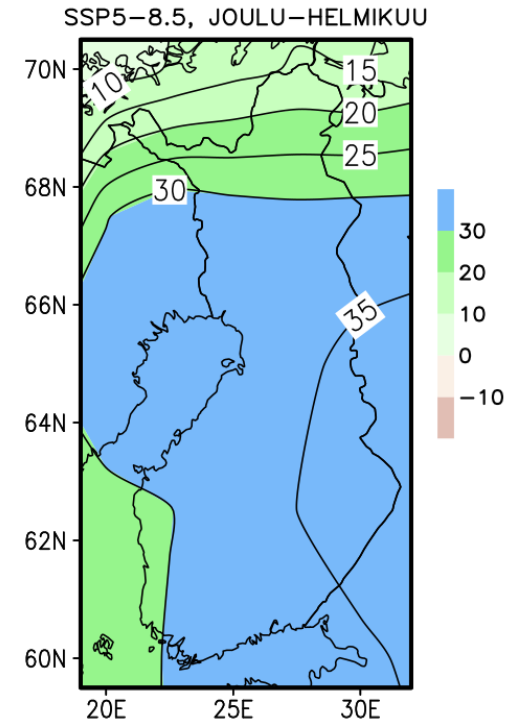
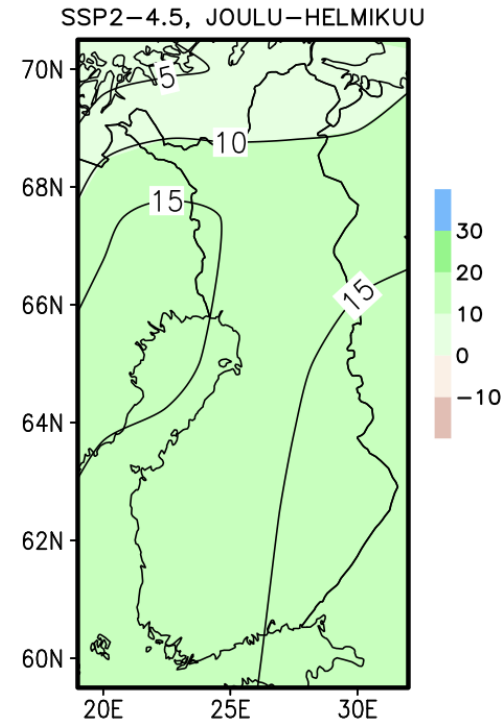
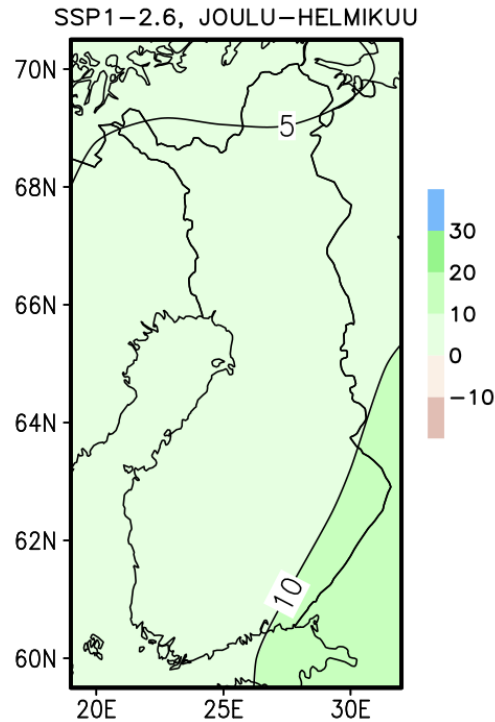
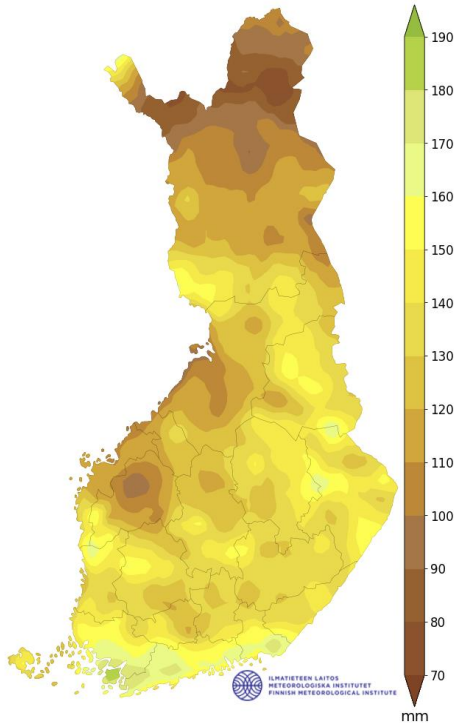


- Sademäärä kasvaa talvella selvästi enemmän kuin kesällä Pohjois-Lappia lukuunottamatta. Siellä muutos on kesällä ja talvella samaa suuruusluokkaa.

Talven sademäärä vuosien 1991-2020 havaintojen mukaan.

Mallien tuloksiin perustuva talven sademäärän muutos (%) siirryttäessä jaksosta 1981-2010 jaksoon 2040-2069 erikseen kolmen kasvihuonekaasuskenaarion perusteella: SSP1-2.6 (vasemmalla), SSP2-4.5 (keskellä) ja SSP5-8.5 (oikealla).

# Sademäärän muutos talvella vuosisadan loppuun mennessä

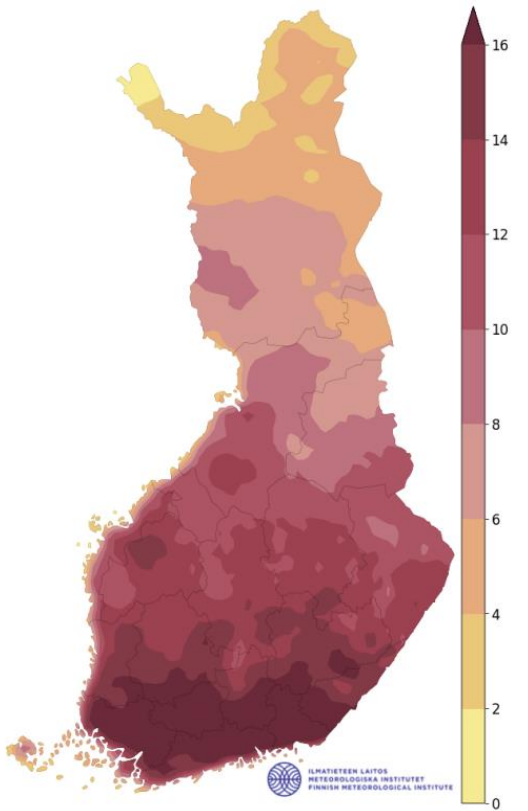


- Sademäärä kasvaa talvella selvästi enemmän kuin kesällä

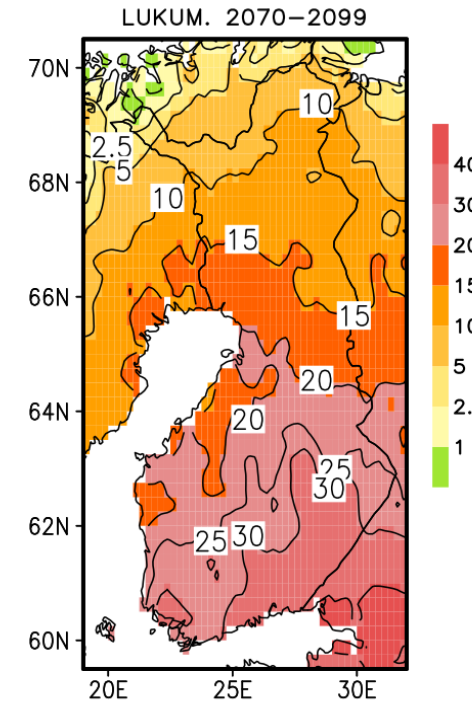
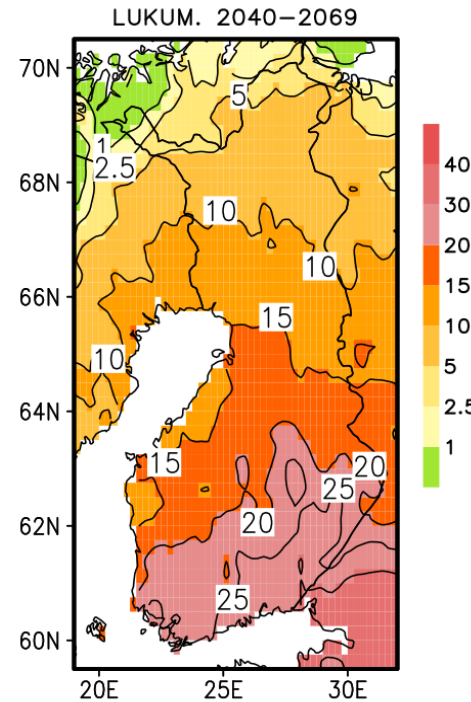
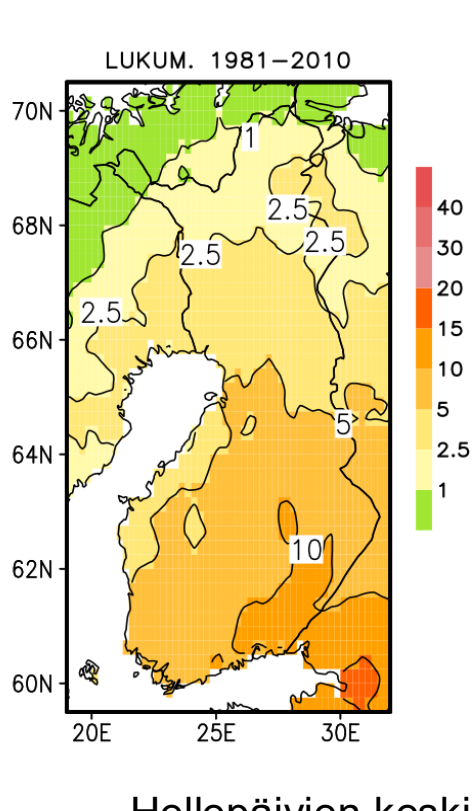
Talven sademäärä vuosien 1991-2020 havaintojen mukaan.

Mallien tuloksiin perustuva talven sademäärän muutos (%) siirryttäessä jaksosta 1981-2010 jaksoon 2070-2099 erikseen kolmen kasvihuonekaasuskenaarion perusteella: SSP1-2.6 (vasemmalla), SSP2-4.5 (keskellä) ja SSP5-8.5 (oikealla).

# Hellepäivien lukumäärä



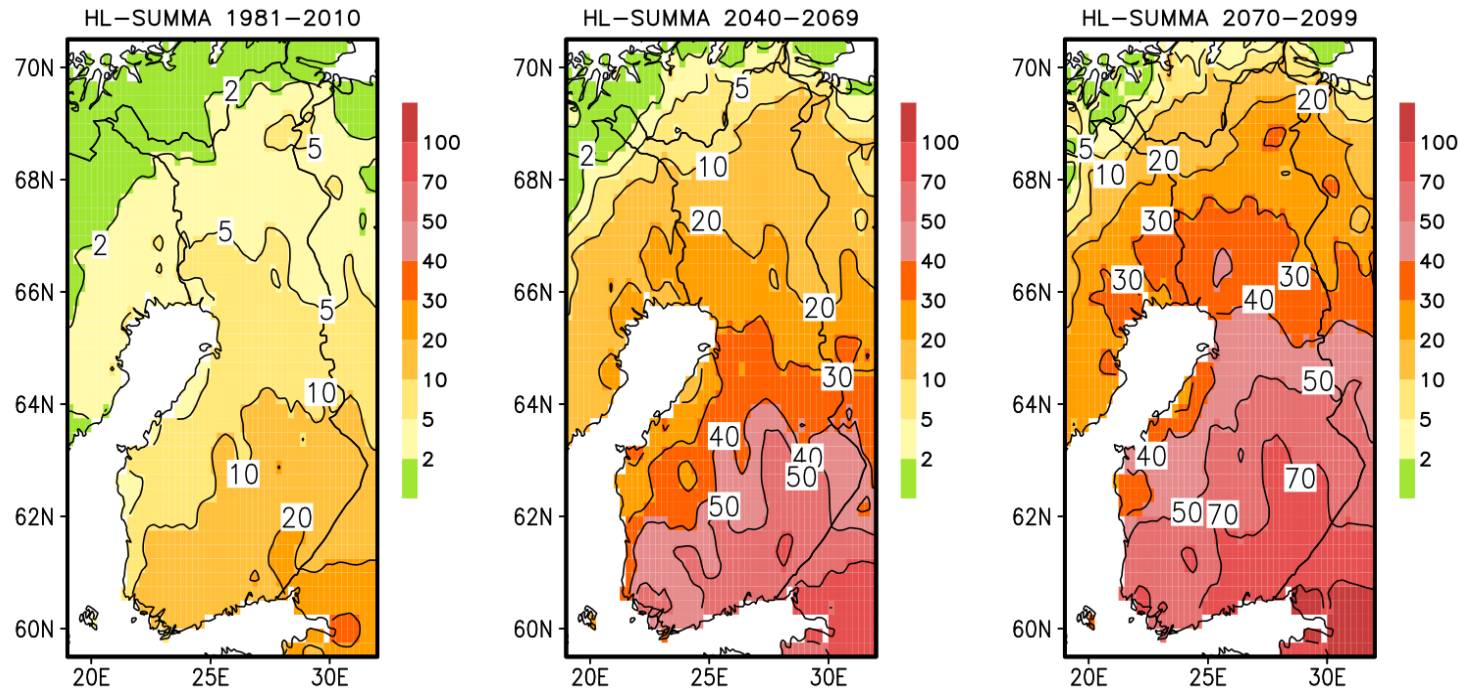
Hellepäivien ( $T_{max} > 25\text{ C}$ )  
vuotuinen  
lukumäärä vuosien 1991-  
2020 havaintojen mukaan.



Hellepäivien keskimääräinen vuotuinen lukumäärä jaksojen  
1981–2010, 2040–2069 ja 2070–2099 aikana. Arviot  
perustuvat SSP2-4.5-skenaarioon.

- Hellepäivän määritelmä ilmastomalliaineistossa: vuorokauden keskilämpötila yli 20 astetta.
- Määritelmä ottaa huomioon päiväaikaisen kuumuuden ohella myös yön tukahduttavuuden.
- Vuosisadan loppuun mennessä hellepäivien lukumäärä 3-4-kertaistuu monilla alueilla Suomessa skenaario SSP2-4.5:n mukaan

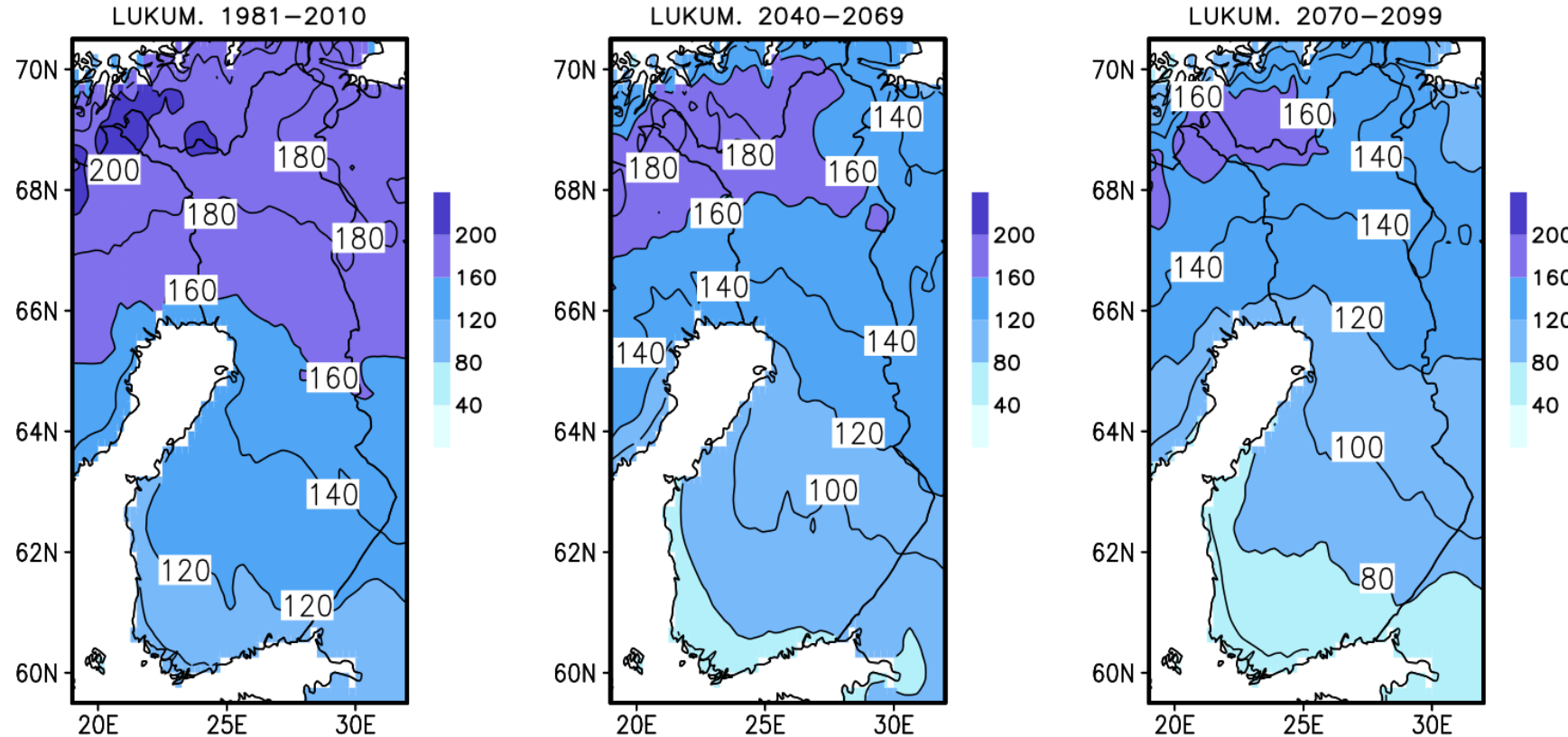
# Hellelämpösumma



Keskimääräinen vuotuinen hellelämpösumma jaksojen 1981–2010, 2040–2069 ja 2070–2099 aikana. Arviot perustuvat SSP2-4.5-skenaarioon.

- Hellelämpösumma saadaan laskemalla yhteen rajalämpötilan (vrk-keskilämpötila 20 astetta) ylitykset käyden läpi kaikki vuoden hellepäivät.
- Hellelämpösumma kuvaa helteitten ankaruutta paremmin kuin pelkkä hellepäivien lukumäärä.
- Kesän keskimääräinen hellelämpösumma on pienin käsivarren Lapissa ja suurin kaakossa.
- Vuosisadan loppuun mennessä suurimmassa osassa maata summa vähintäänkin viisinkertaistuisi.

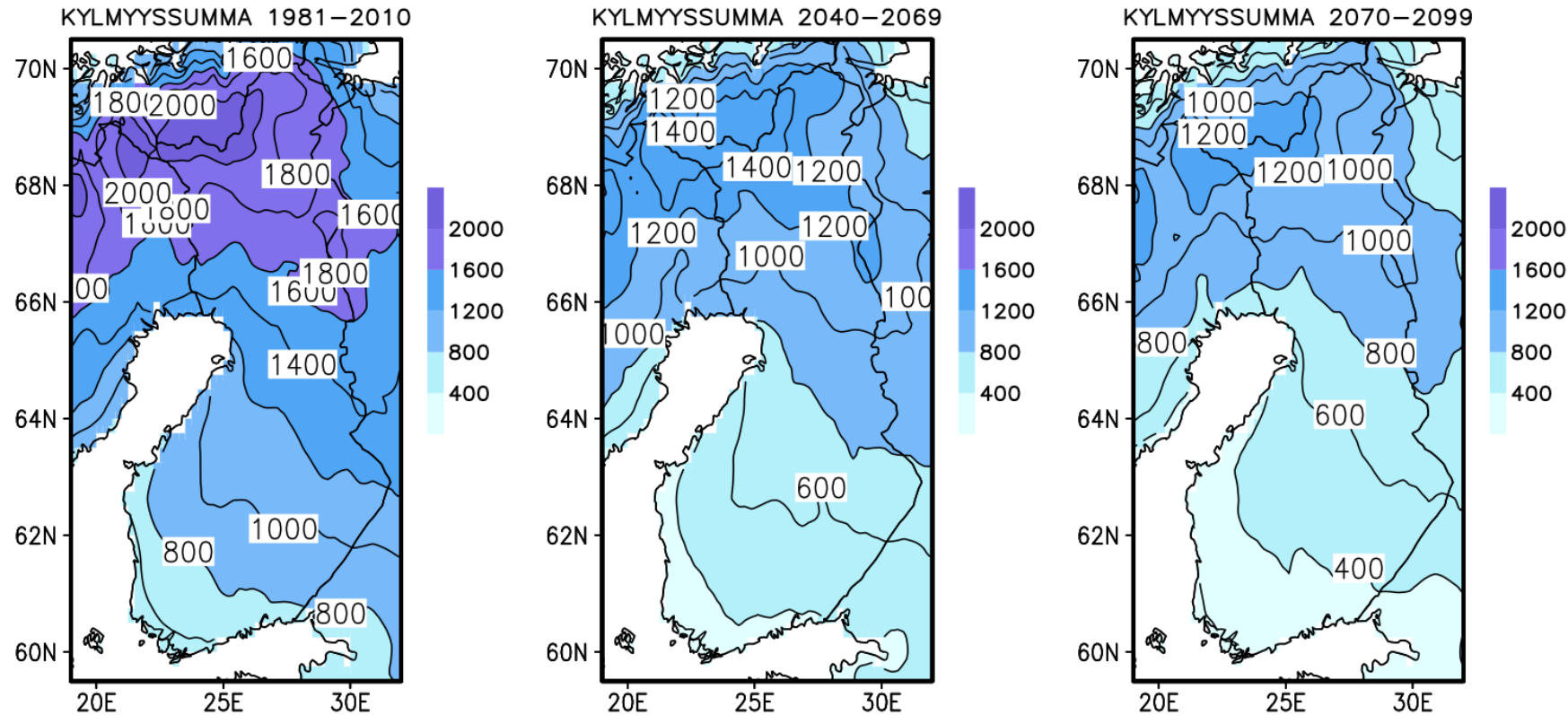
# Pakkaspäivien lukumäärä, raja 0 astetta



- Pakkaspäivien lukumäärää tarkasteltiin kahden lämpötilarajan suhteen: 0 astetta ja –15 astetta.
- Päiviä, jolloin vuorokauden keskilämpötila jää pakkasen puolelle esiintyy vähiten lounaisrannikolla ja eniten Luoteis-Lapissa.
- Vuosisadan loppuun mennessä tällaisten kylmien päivien ennustetaan vähenevän lounaassa noin 40 %:lla ja Lapissa 20 %:lla.

Kylmien päivien (keskilämpötila  $< 0^{\circ}\text{C}$ ) keskimääräinen lukumäärä vuodessa jaksojen 1981–2010, 2040–2069 ja 2070–2099 aikana. Arviot perustuvat SSP2-4.5-skenaarioon.

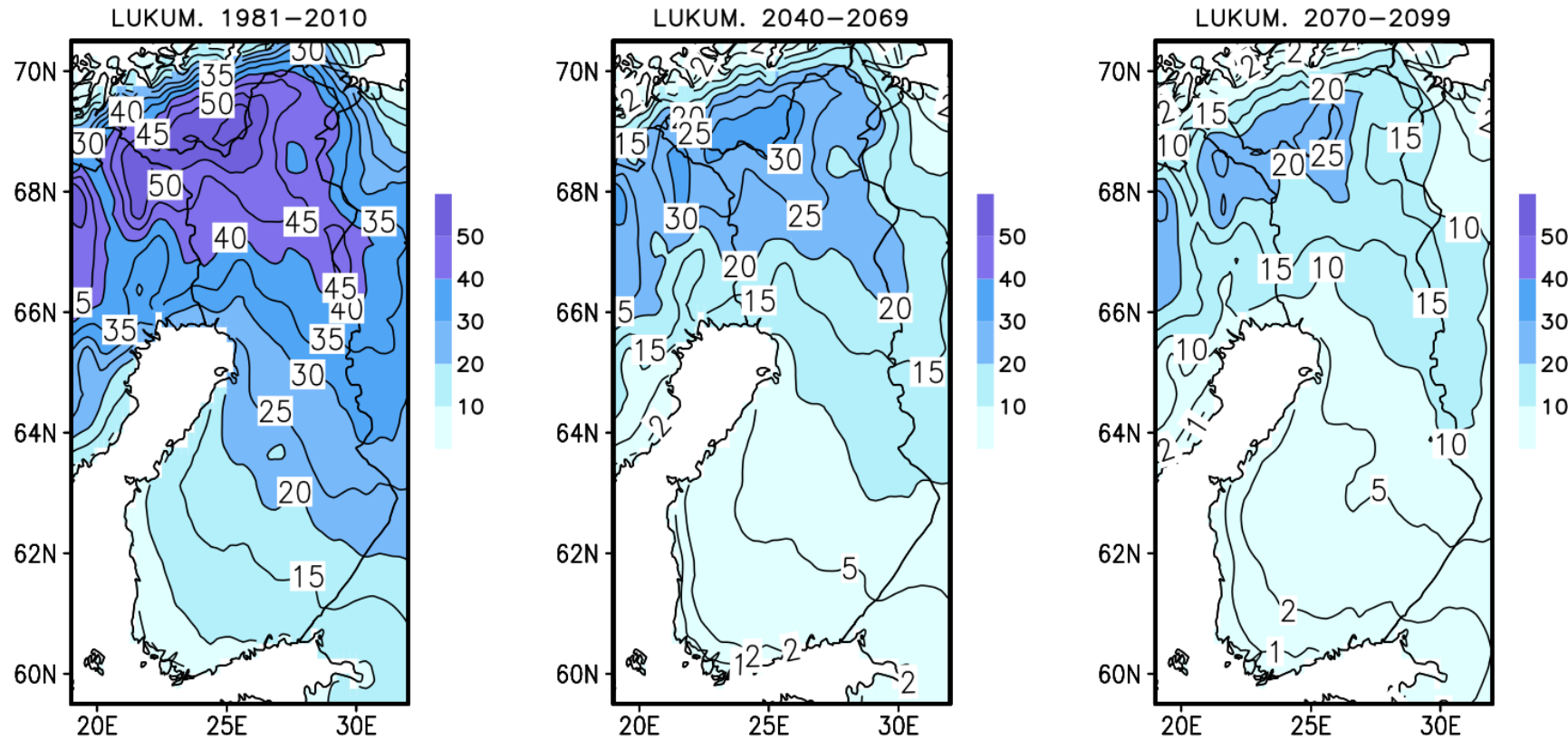
# Pakkassumma, raja 0 astetta



- Pakkaspäivien esiintymistä tarkasteltiin kahden lämpötilarajan suhteen: 0 astetta ja –15 astetta.
- Nollan asteen keskilämpötilojen alitusten yhteissumma pienenee suuressa osassa maata noin puoleen.

Talvikauden keskimääräinen yhteenlaskettu kylmyyssumma (keskilämpötila < 0 astetta) jaksojen 1981–2010, 2040–2069 ja 2070–2099 aikana. Arviot perustuvat SSP2-4.5-skenaarioon.

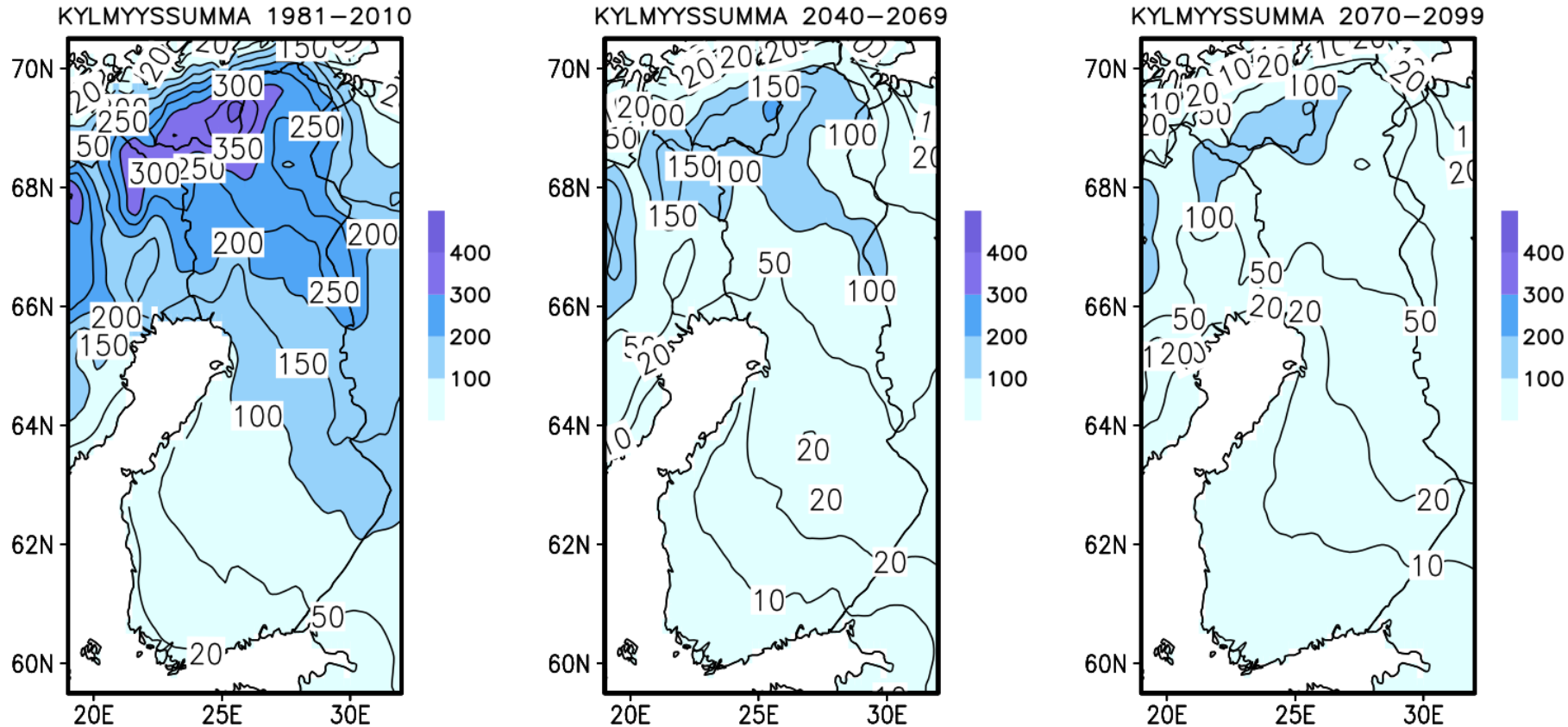
# Pakkaspäivien lukumäärä, raja -15 astetta



- Pakkaspäivien lukumäärää tarkasteltiin kahden lämpötilarajan suhteen: 0 astetta ja  $-15$  astetta.
- Tiukemmalla  $-15^{\circ}\text{C}$  rajalämpötilalla kylmyyttä kuvaavat indeksit pienentyvät suhteellisesti ottaen selvästi enemmän
- Näin kylmien päivien lukumäärä pienenee eteläisimmässä Suomessa jopa 80 prosentilla ja pohjoisessakin noin 60 %.

Kirpeän pakkasen päivien (keskilämpötila  $< -15^{\circ}\text{C}$ ) keskimääräinen lukumäärä vuodessa jaksojen 1981–2010, 2040–2069 ja 2070–2099 aikana. Arviot perustuvat SSP2-4.5-skenaarioon.

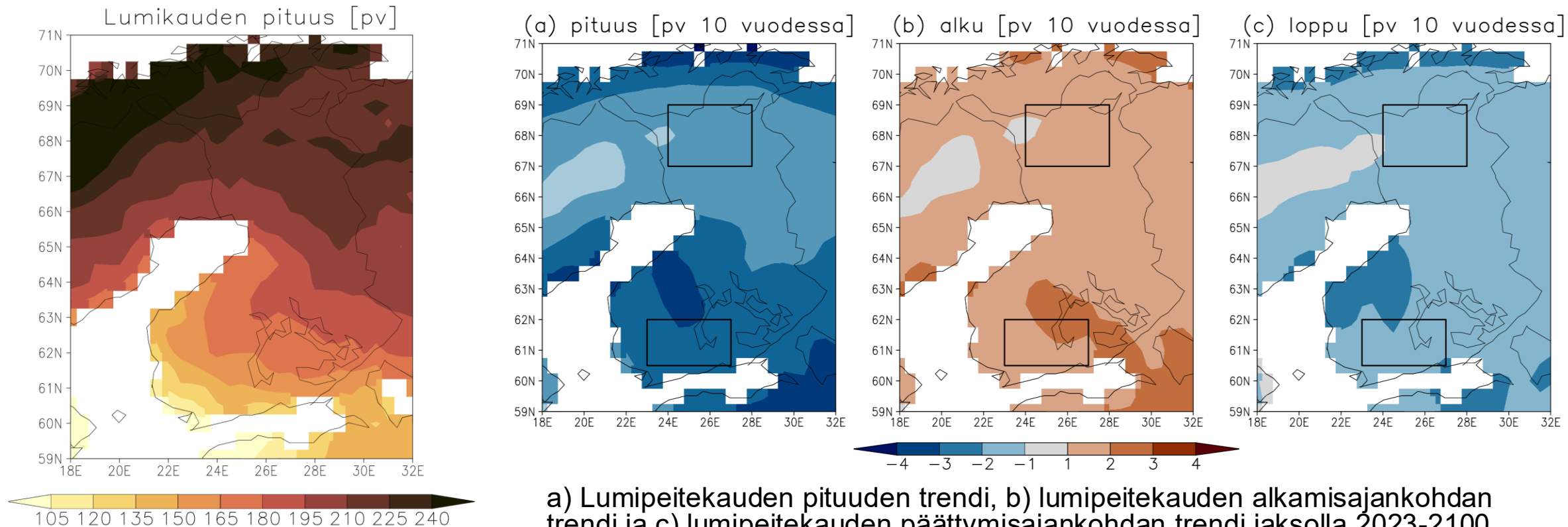
# Pakkassumma, raja -15 astetta



- Pakkaspäivien esiintymistä tarkasteltiin kahden lämpötilarajan suhteen: 0 astetta ja –15 astetta.
- 15 asteen kylmemmälle puolelle jäävä vuorokausikeskilämpötilojen kylmyyssumma vähenee Lapissa vajaaseen yhteen kolmasosaan ja etelässä suhteessa vieläkin enemmän.

Talvikauden keskimääräinen yhteenlaskettu kylmyyssumma (keskilämpötila < -15 astetta) jaksojen 1981–2010, 2040–2069 ja 2070–2099 aikana. Arviot perustuvat SSP2-4.5-skenaarioon.

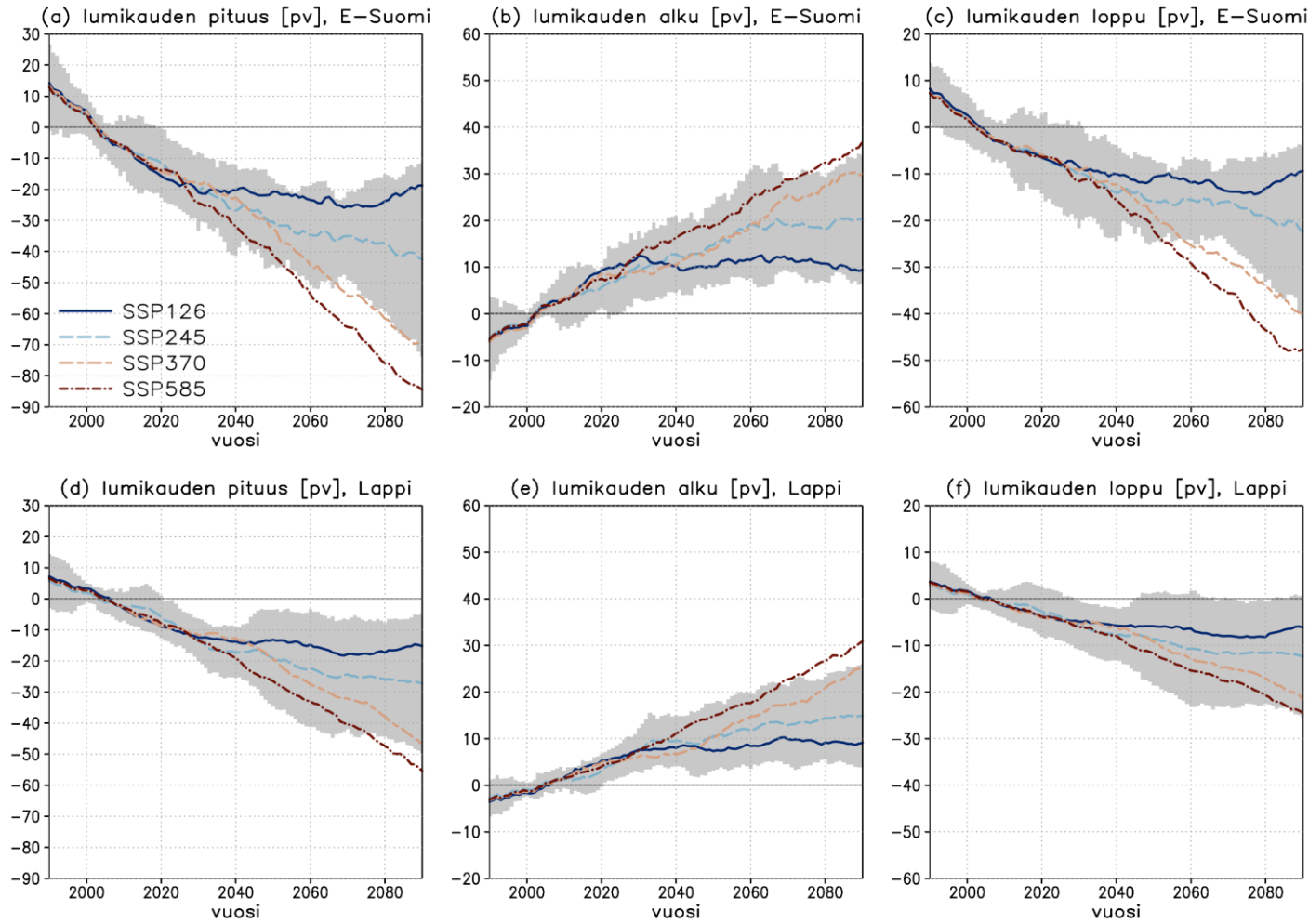
# Lumipeitejakson pituus



Yhtenäisen lumipeitejakson keskimääräinen pituus jaksolla 1981-2010 ERA5-uusanalyysiaineiston perusteella (vastaa havaintoja).

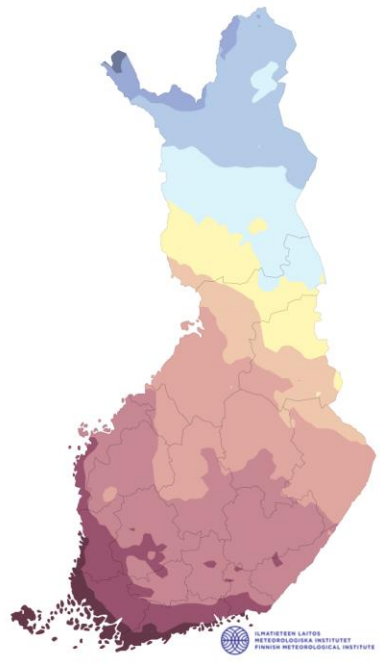
a) Lumipeitekauden pituuden trendi, b) lumipeitekauden alkamisajankohdan trendi ja c) lumipeitekauden päättymisajankohdan trendi jaksolla 2023-2100 SSP5-2.4-skenaarion mukaan. Muutostrendien yksikkö kuvissa päivää/10 vuotta.

# Lumipeitejakson pituuden muutokset

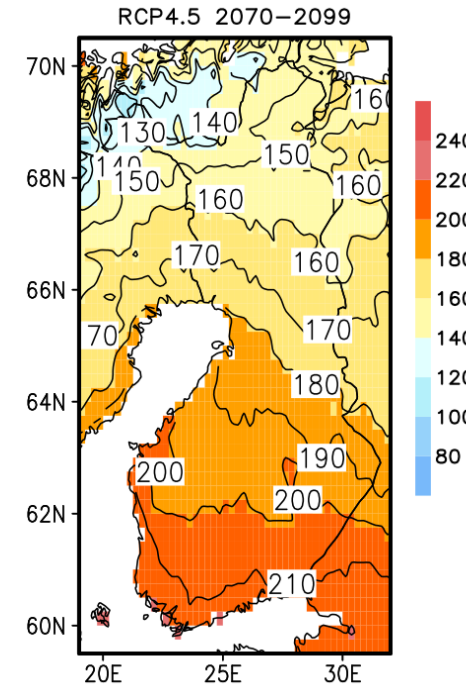
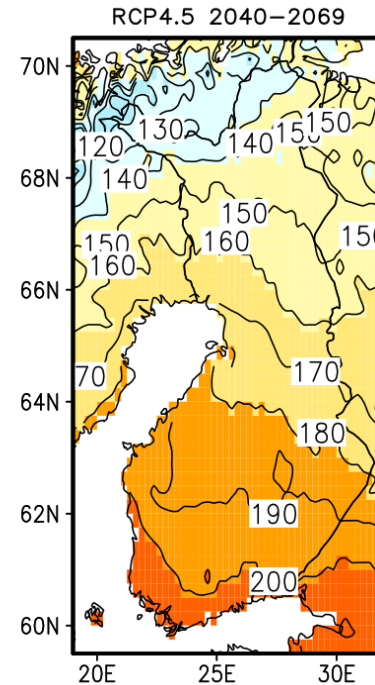
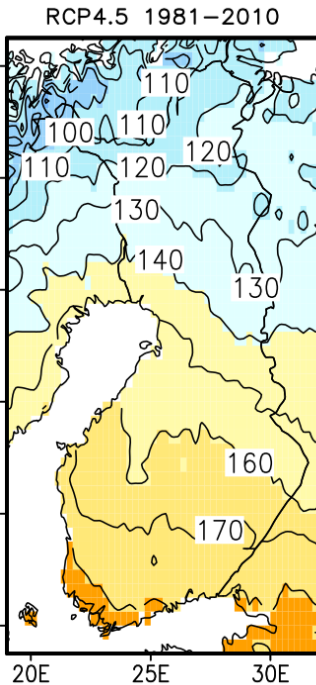


- Yhtenäisen lumipeitekauden pituutta, alku- ja loppuaikajankohtaa on tarkasteltu erikseen edellisen dian karttakuvien laatikkoalueilla Etelä-Suomessa (ylärikin kuvat) ja Pohjois-Suomessa (alarikin kuvat) vuoteen 2100 mennessä neljän eri SSP-skenaariin mukaan.
- Arvot on laskettu suhteessa jakson 1981-2010 keskiarvoon ja esitetty 20 vuoden liukuvina keskiarvoina.
- Etelä-Suomessa lumipeitekausi lyhenee n. 20-30 päivää 2040-luvulle mennessä, Pohjois-Suomessa 10-20 päivää
- Skenaarioiden väliset erot alkavat kasvaa vuoden 2040 jälkeen
- Harmaalla varjostettu alue kuvaa SSP2-4.5-skenaariin 90 % luottamusväliä
- Varsinkin Etelä-Suomessa yhtenäisen lumipeitekauden ulkopuolelle jäävien yksittäisten lumipeitteisten päivien määrä kasvaa kuluvalle vuosisadalla, ei kuitenkaan yhtä voimakkaasti kuin lumikausi lyhenee
- Lumikausi muuttuu Etelä-Suomessa rikkonaiseksi.

# Kasvukauden pituus



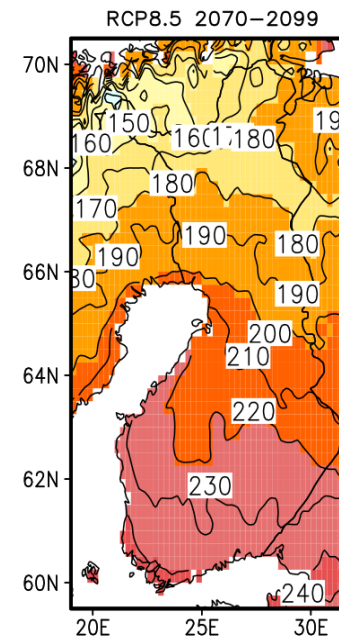
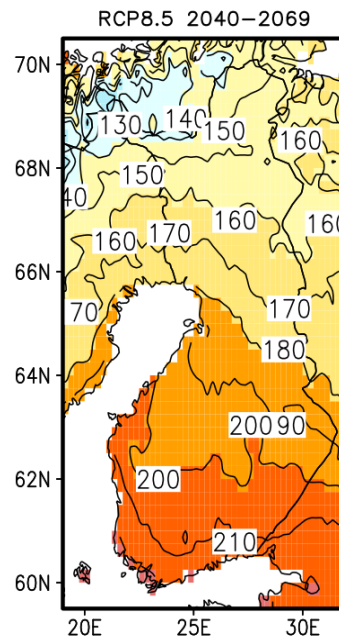
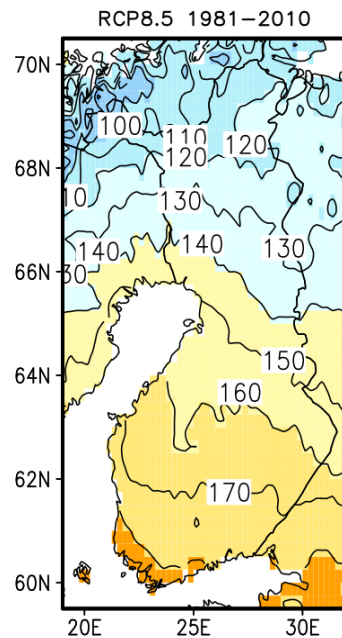
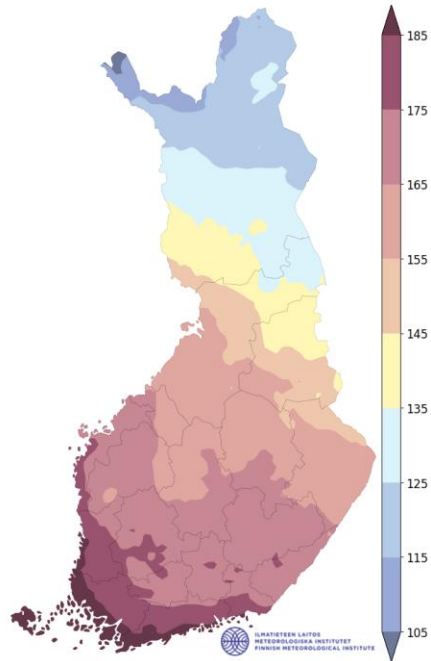
Termisen kasvukauden keskimääräinen pituus havaintojen mukaan vuosina 1991-2020



Termisen kasvukauden keskimääräinen pituus (vuorokausina) jaksojen 1981–2010, 2040–2069 ja 2070–2099 aikana RCP4.5 skenaarion mukaan.

- Arviot perustuvat vanhempaan CMIP5-ilmastomalliskupolveen.
- Tarkastellut kasvihuonekaasuskenaariot, RCP4.5 ja RCP8.5, vastaavat likimäärin tuoreempia SSP2-4.5- ja SSP5-8.5-skenaarioita.
- Terminen kasvukausi alkaa keväällä silloin, kun vuorokauden keskilämpötila keskimäärin nousee  $+5^{\circ}\text{C}$  yläpuolelle. Vastaavasti tuon rajapyykin alle meneminen syksyllä päättää kasvukauden.
- Jakson 1981–2010 aikana termisen kasvukausi kesti eteläisimmässä Suomessa noin kuusi ja Pohjois-Lapissa vajaa neljä kuukautta
- RCP4.5-skenaarion toteutuessa kasvukausi olisi tämän vuosisadan lopulla noin kuukautta pidempi.

# Kasvukauden pituus

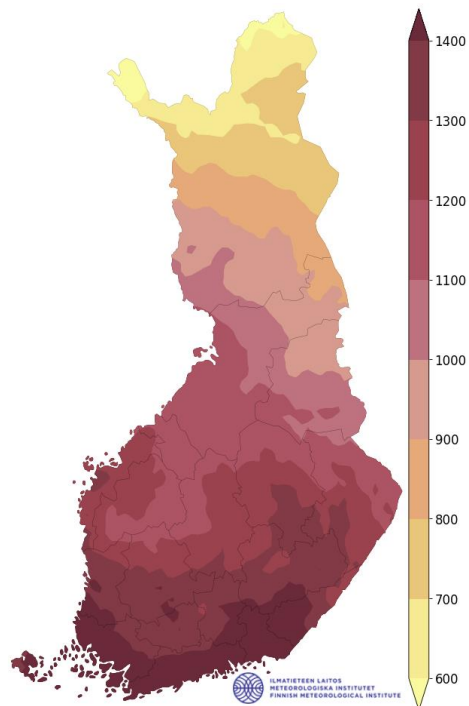


Termisen kasvukauden keskimääräinen pituus havaintojen mukaan vuosina 1991-2020

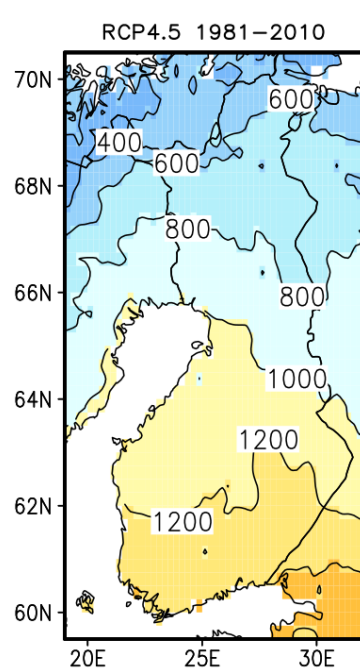
Termisen kasvukauden keskimääräinen pituus (vuorokausina) jaksojen 1981–2010, 2040–2069 ja 2070–2099 aikana RCP8.5 skenaarion mukaan.

- Sama kuin edellinen dia, mutta RCP8.5-skenario.
- Skenaarion mukaan kasvukausi olisi vuosisadan lopussa lähes kaksi kuukautta pidempi
- Kasvukauden piteneminen mahdollistaa suuremmat sadot ja uusien viljelykasvien kasvattamisen. Rajoittavaksi tekijäksi voi tosin muodostua kasvukauden aikaisen kuivuuden lisääntyminen.
- Pidempi ja lämpimämpi kasvukausi mahdollistaa myös uusien kasvitautien ja tuhohyönteisten leviämisen uusille alueille.

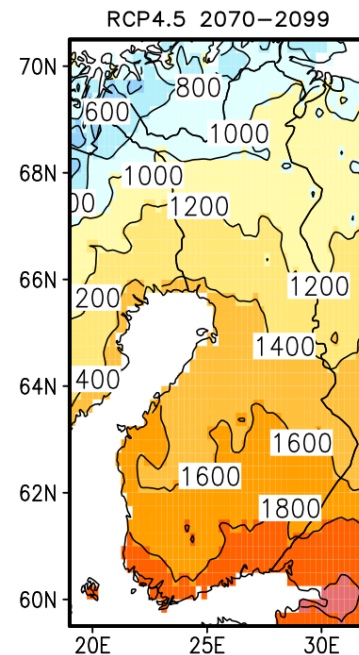
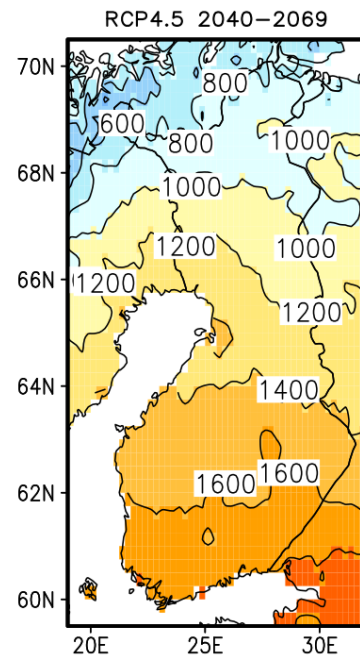
# Kasvukauden lämpösomma



Termisen kasvukauden keskimääräinen lämpösomma havaintojen mukaan vuosina 1991-2020

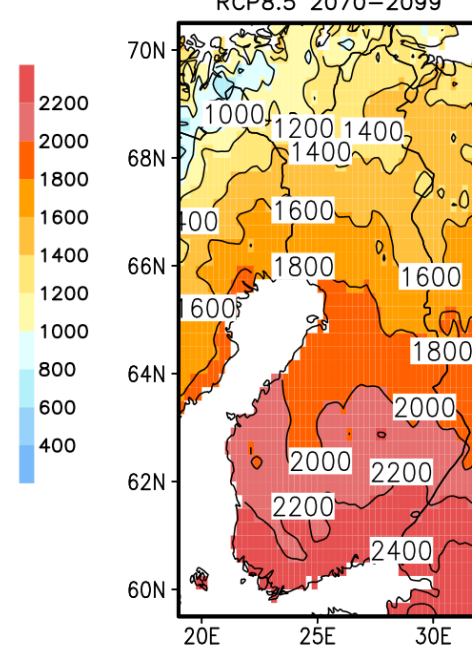
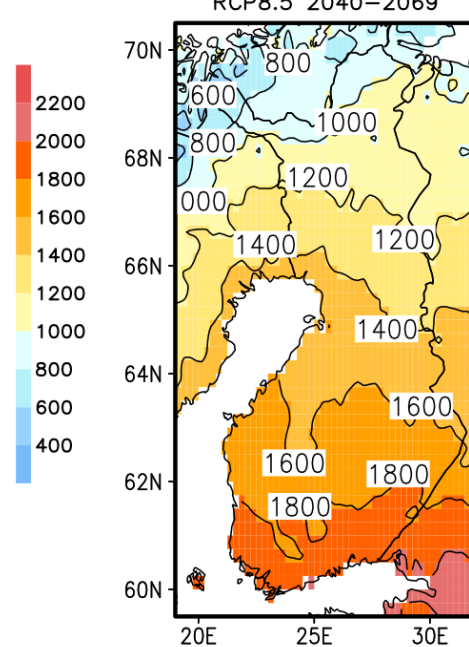
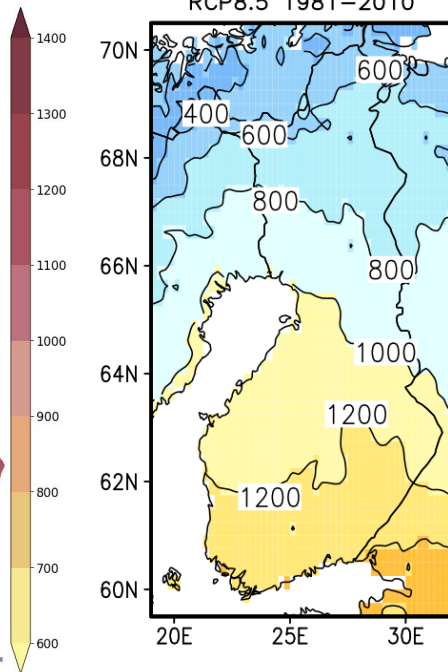
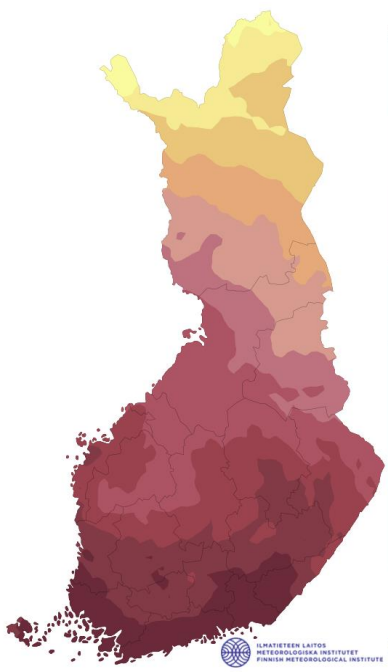


Termisen kasvukauden keskimääräinen lämpösomma (C vrk) jaksojen 1981–2010, 2040–2069 ja 2070–2099 aikana skenaarion RCP4.5 mukaan.



- Arviot perustuvat vanhempaan CMIP5-ilmastomallisukupolveen.
- Tarkastellut kasvihuonekaasuskenaariot, RCP4.5 ja RCP8.5, vastaavat likimäärin tuoreempia SSP2-4.5 ja SSP5-8.5-skenaarioita.
- Kasvukauden lämpösomma saadaan laskemalla yhteen viiden asteen vuorokausikeskilämpötilojen ylitykset koko kasvukauden ajalta.
- Vuosisadan loppuun mennessä kasvukauden lämpösomma suurentuisi etelässä noin 500 astepäivällä ja pohjoisessa hieman vähemmän.

# Kasvukauden lämpösumma



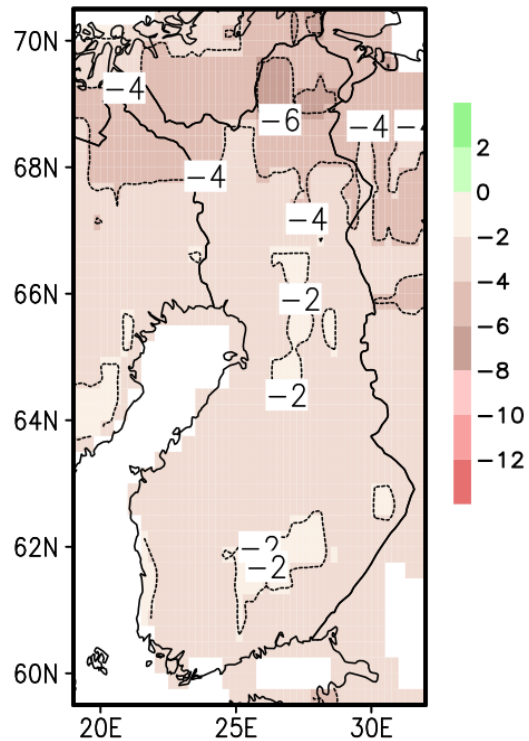
- Sama kuin edellinen dia, mutta skenaarion RCP8.5 mukaan
- RCP8.5-skenaarion mukaan vuosisadan loppuun mennessä kasvukauden lämpösumma kasvaisi etelässä jopa 1000 astepäivällä, pohjoisessa jonkin verran vähemmän.

Termisen kasvukauden keskimääräinen lämpösumma havaintojen mukaan vuosina 1991-2020

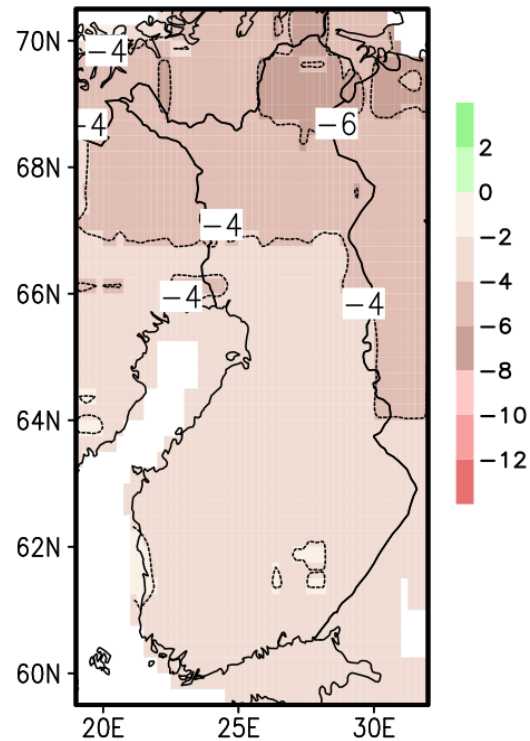
Termisen kasvukauden keskimääräinen lämpösumma (C vrk) jaksojen 1981–2010, 2040–2069 ja 2070–2099 aikana skenaarion RCP8.5 mukaan.

# Maaperän kosteuden muutos kesällä vuosisadan puoliväliin mennessä

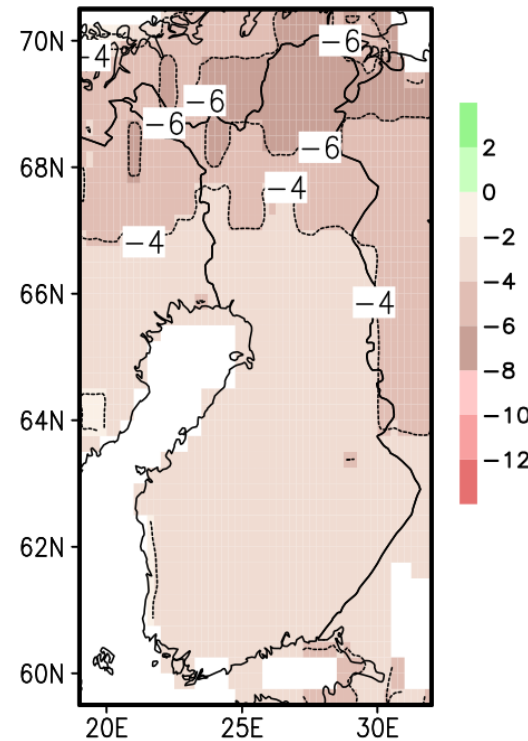
SSP1-2.6, KESÄ-ELOKUU



SSP2-4.5, KESÄ-ELOKUU



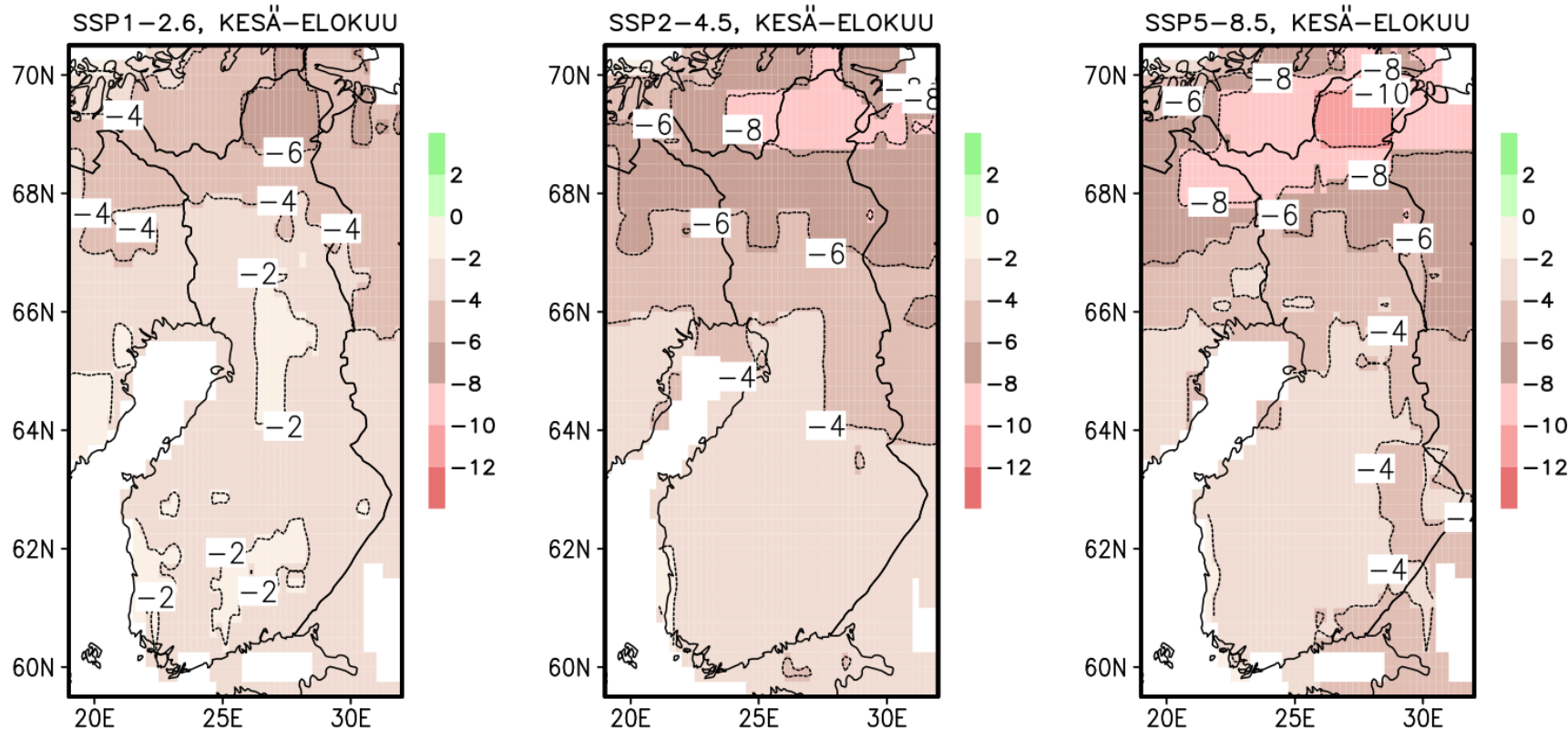
SSP5-8.5, KESÄ-ELOKUU



- Ilmastomallitulosten perusteella maan pintakerros näyttäisi tulevaisuudessa muuttuvan keskimäärin kuivemmaksi.
- Kesällä tämä aiheutuu ensisijassa siitä, että tulevaisuuden korkeammassa lämpötiloissa vettä haihtuu entistä herkemmin, eikä sademäärien todennäköinen pieni lisääntyminen korvaa tätä veden menetystä.
- Eri skenaarioiden välinen ero on vuosisadan puoliväliin mennessä melko pieni

Mallien tuloksiin perustuva maaperän pintakerroksen kosteuden muutos kesällä (prosenttiyksikköinä) siirryttäessä jaksosta 1981–2010 jaksoon 2040–2069 erikseen kolmen kasvihuonekaasuskenaariion perusteella: SSP1-2.6 , SSP2-4.5 ja SSP5-8.5.

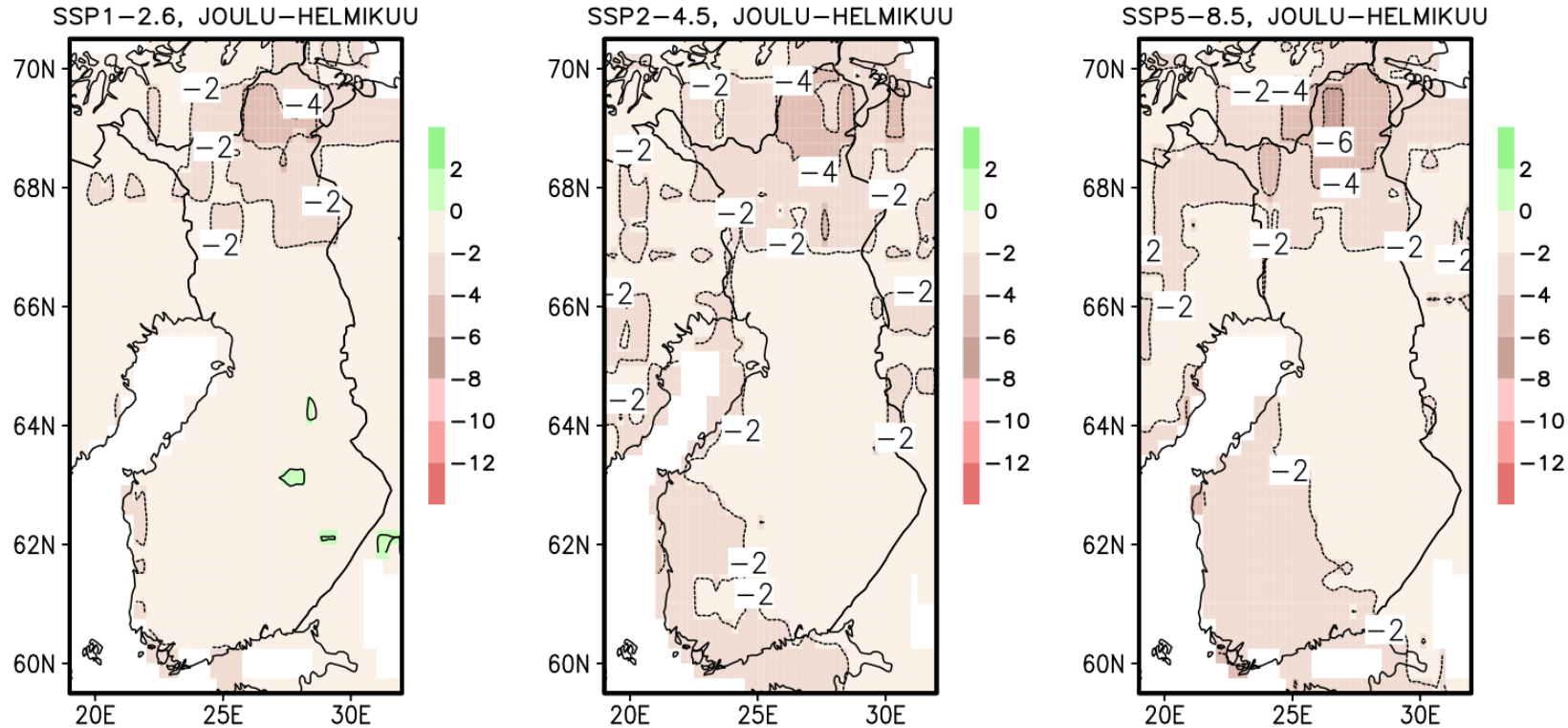
# Maaperän kosteuden muutos kesällä vuosisadan loppuun mennessä



Mallien tuloksiin perustuva maaperän pintakerroksen kosteuden muutos kesällä (prosenttiyksikköinä) siirryttäessä jaksosta 1981–2010 jaksoon 2070–2099 erikseen kolmen kasvihuonekaasuskenaarion perusteella: SSP1-2.6 , SSP2-4.5 ja SSP5-8.5.

- Ilmastomallitulosten perusteella maan pintakerros näyttäisi tulevaisuudessa muuttuvan keskimäärin kuivemmaksi
- Kesällä tämä aiheutuu ensisijassa siitä, että tulevaisuuden korkeammassa lämpötiloissa vettä haihtuu entistä herkemmin, eikä sademäärien todennäköinen pieni lisääntyminen korvaa tätä veden menetystä.
- Pohjois-Euroopassa eri mallien ennustamat maan kosteuden muutokset poikkeavat toisistaan sangen paljon, jopa muutoksen suunta, joten kuvissa esitetyt arviot (jotka perustuvat ilmastomallien keskiarvoon) eivät välttämättä kerro lopullista totuutta.

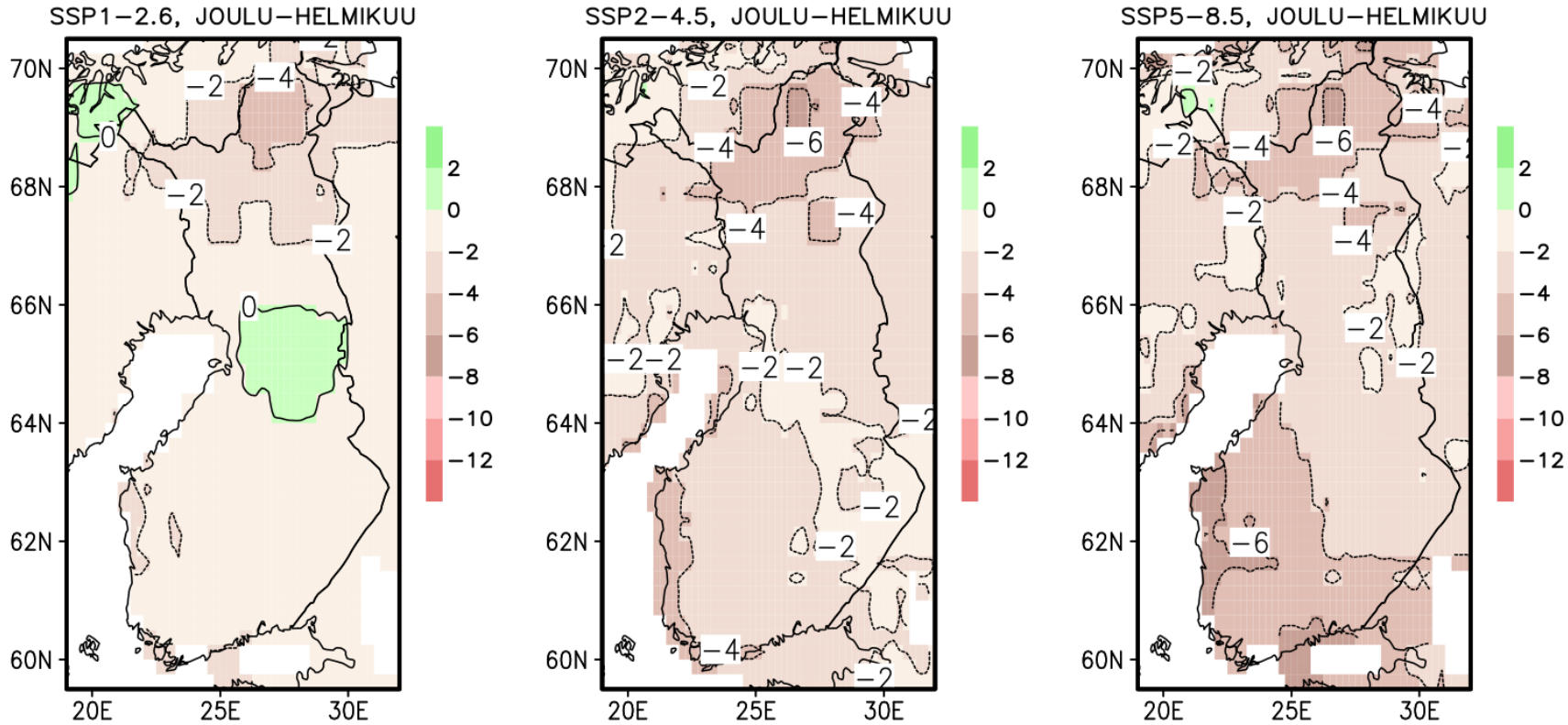
# Maaperän kosteuden muutos talvella vuosisadan puoliväliin mennessä



- Ilmastomallitulosten perusteella maan pintakerros näyttäisi tulevaisuudessa muuttuvan keskimäärin kuivemmaksi
- Talvella muutokseen vaikuttaa roudan väheneminen, sillä malleissa maan kosteuteen lasketaan mukaan niin nestemäisessä kuin kiinteässäkin olomuodossa oleva vesi.

Mallien tuloksiin perustuva maaperän pintakerroksen kosteuden muutos talvella (prosenttiyksikköinä) siirryttäessä jaksosta 1981–2010 jaksoon 2040–2069 erikseen kolmen kasvihuonekaasuskenaarion perusteella: SSP1-2.6 , SSP2-4.5 ja SSP5-8.5.

# Maaperän kosteuden muutos talvella vuosisadan loppuun mennessä

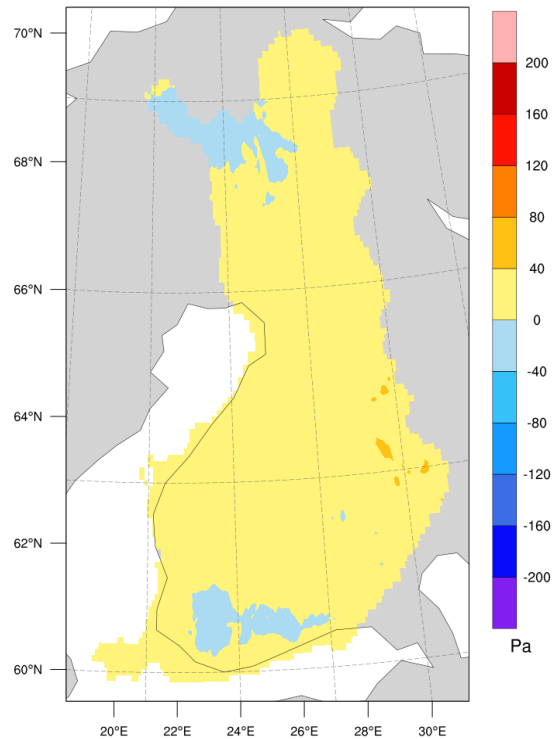


- Ilmastomallitulosten perusteella maan pintakerros näyttäisi tulevaisuudessa muuttuvan keskimäärin kuivemmaksi
- Talvella muutokseen vaikuttaa roudan väheneminen, sillä malleissa maan kosteuteen lasketaan mukaan niin nestemäisessä kuin kiinteässäkin olomuodossa oleva vesi.
- Eri skenaarioiden väliset erot kasvavat vuosisadan loppuun mennessä.

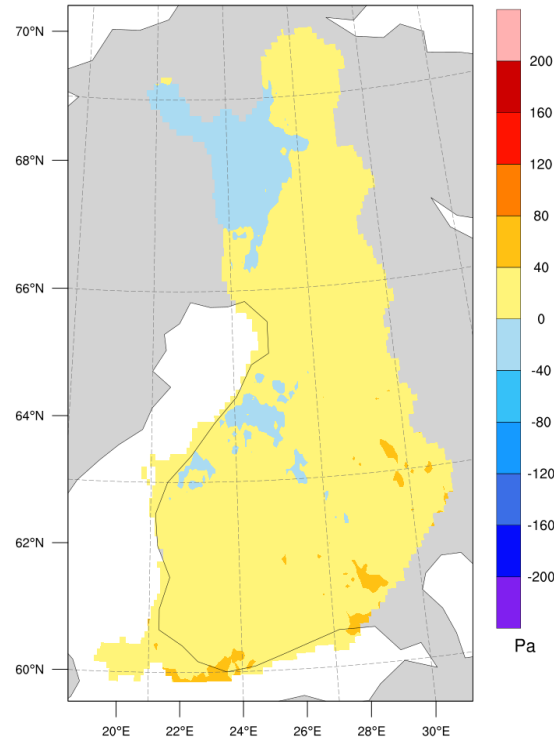
Mallien tuloksiin perustuva maaperän pintakerroksen kosteuden muutos talvella (prosenttiyksikköinä) siirryttäessä jaksosta 1981–2010 jaksoon 2070–2099 erikseen kolmen kasvihuonekaasuskenaarioiden perusteella: SSP1-2.6 , SSP2-4.5 ja SSP5-8.5.

# Kuivuusindeksi VPD

a) VPD Clim RCP45 [mid-century - hist]



b) VPD Clim RC45 [end-century - hist]



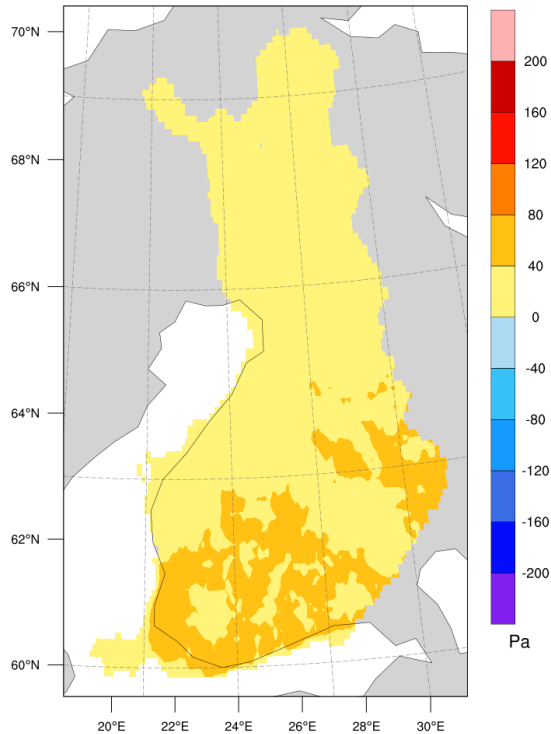
Kasvukauden aikaisen kuivuusindeksin muutos (VPD eli vesihöyryn osapaineen vajuus, yksikkö Pa) EC-Earth-HCLIM-mallin mukaan ajanjaksoille a) 2040–2060 (vuosisadan puoliväli), ja b) 2080–2100 (vuosisadan loppu) verrattuna menneeseen jaksoon 1985–2005 **RCP4.5**-skenaarion mukaan.

- Kuivuusindeksi VPD (VPD = vapor pressure deficit) eli vesihöyryn osapaineen vajuus ilmassa tai ilman kosteuden kyllästysvajuus.
- VPD kertoo, kuinka paljon ilmaan vielä mahtuisi vesihöyryä, ennen kuin se alkaa tiivistyä.
- VPD riippuu ilman lämpötilasta ja kosteudesta. Se kuvaa ilman kuivuutta maanpinnan lähettyvillä, mikä vaikuttaa mm. kasvien kasvuun
- Kun VPD kasvaa – eli ilmassa on vähemmän kosteutta – kasvit joutuvat ottamaan enemmän vettä juuristoistaan, mikä voi johtaa kasvien kuivumiseen ja kuolemiseen
- Kuivuminen lisää myös metsäpaloriskiä.
- Todelliset kuivuusjaksot ovat yhdistelmiä pitkään jatkuneista korkeista lämpötiloista ja korkeasta VPD:stä.
- Yleisellä tasolla 80–160 Pa kasvu VPD:ssä vaikuttaa metsien kokonaiskasvuun ja kasvien tuotantoon ja voi lisätä mm. puustokuolleisuutta.
- **Skenaarion RCP4.5** mukaan VPD kasvaa (eli kuivuus lisääntyy) suuressa osassa Suomea Luoteis-Suomea lukuunottamatta.

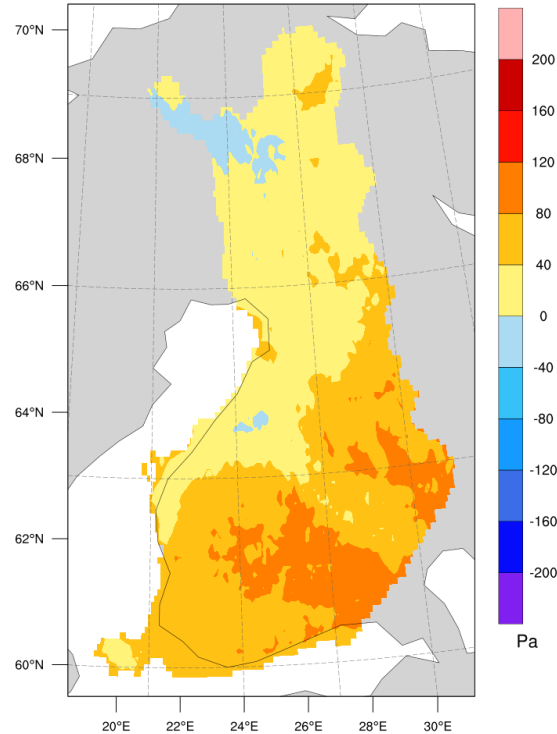
HUOM! VPD-arviot perustuvat vain yhden ilmastomallin tuloksiin, ja niihin on siksi syytä suhtautua varauksella. Luotettavimmat ennusteet saadaan kun käytössä on useita rinnakkaisia ilmastomallisimulaatiota. Tällä erotuskyvyllä niitä ei kuitenkaan ole saatavilla.

# Kuivuusindeksi VPD

c) VPD Clim RCP85 [mid-century - hist]



d) VPD Clim RCP85 [end-century - hist]

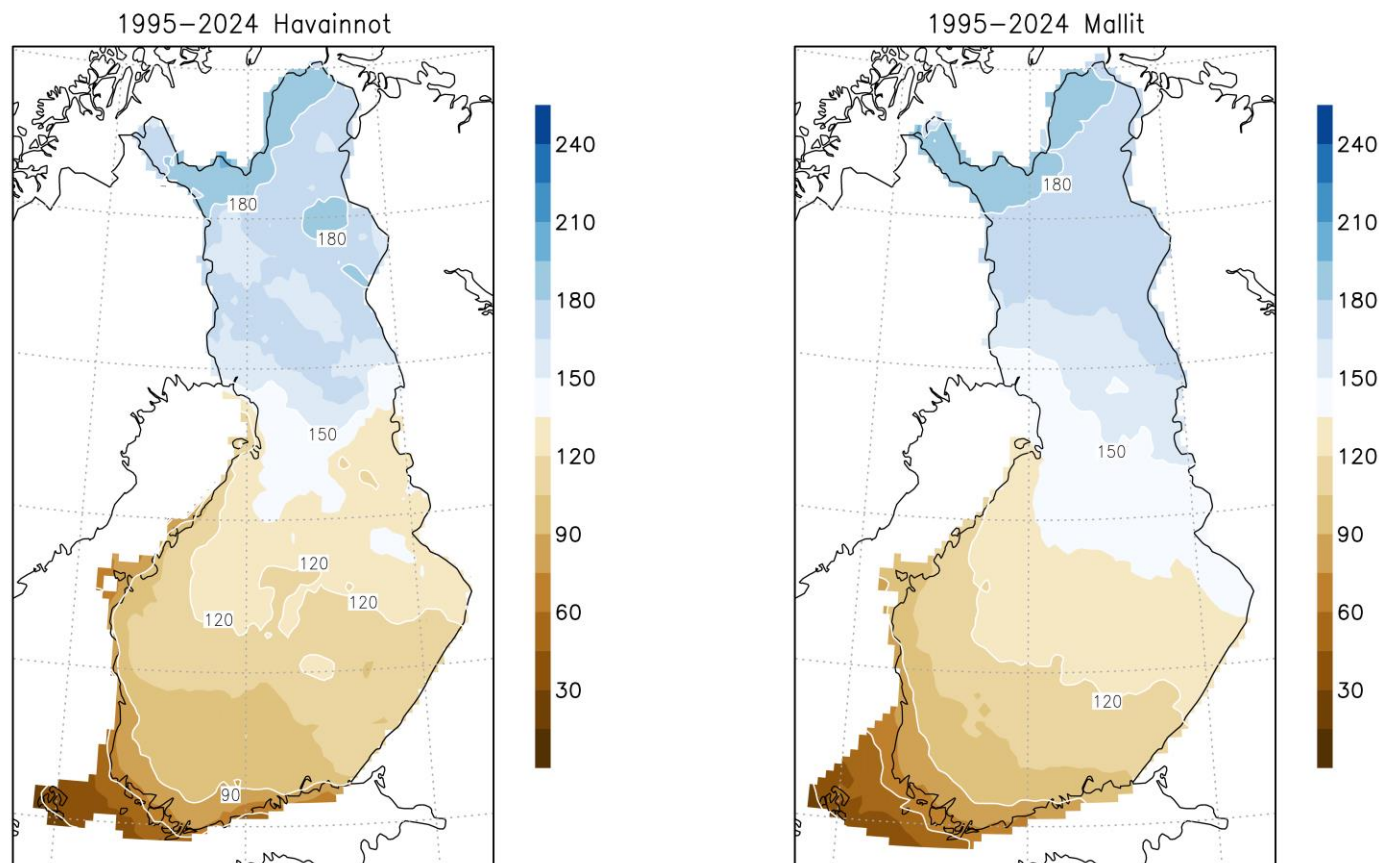


Kasvukauden aikaisen kuivuusindikaattorin muutos (VPD eli vesihöyryn osapaineen vajuus, yksikkö Pa) EC-Earth-HCLIM-mallin mukaan ajanjaksoille a) 2040–2060 (vuosisadan puoliväli), ja b) 2080–2100 (vuosisadan loppu) verrattuna menneeseen jaksoon 1985–2005 **RCP8.5**-skenaarion mukaan.

- **Skenaarion RCP8.5** mukaan VPD kasvaa (= kuivuus lisääntyy) suuressa osassa Suomea. Kasvu on voimakkainta vuosisadan lopulla Kaakkois-Suomessa (80-120 Pa).
- Kuivuuden lisääntyminen rajoittaa kasvukauden pitenemisestä saatavia hyötyjä.
- Sopeutumistoimilla, kuten viljeltävien kasvien valinnoilla ja kastelulla, kuivuuden haittoja voidaan kuitenkin vähentää.
- Kuivuuden lisääntyminen alkukevästä haittaa kasvien kasvua ja kesä-heinäkuussa voimakkaasti lisääntyvä kuivuus lisää todennäköisesti kasvikuolemia ja metsäpalariskiä.

**HUOM!** VPD-arviot perustuvat vain yhden ilmastomallin tuloksiin, ja niihin on siksi syytä suhtautua varauksella. Luotettavimmat ennusteet saadaan kun käytössä on useita rinnakkaisia ilmastomallisimulaatiota. Tällä erotuskyvyllä niitä ei kuitenkaan ole useampia saatavilla.

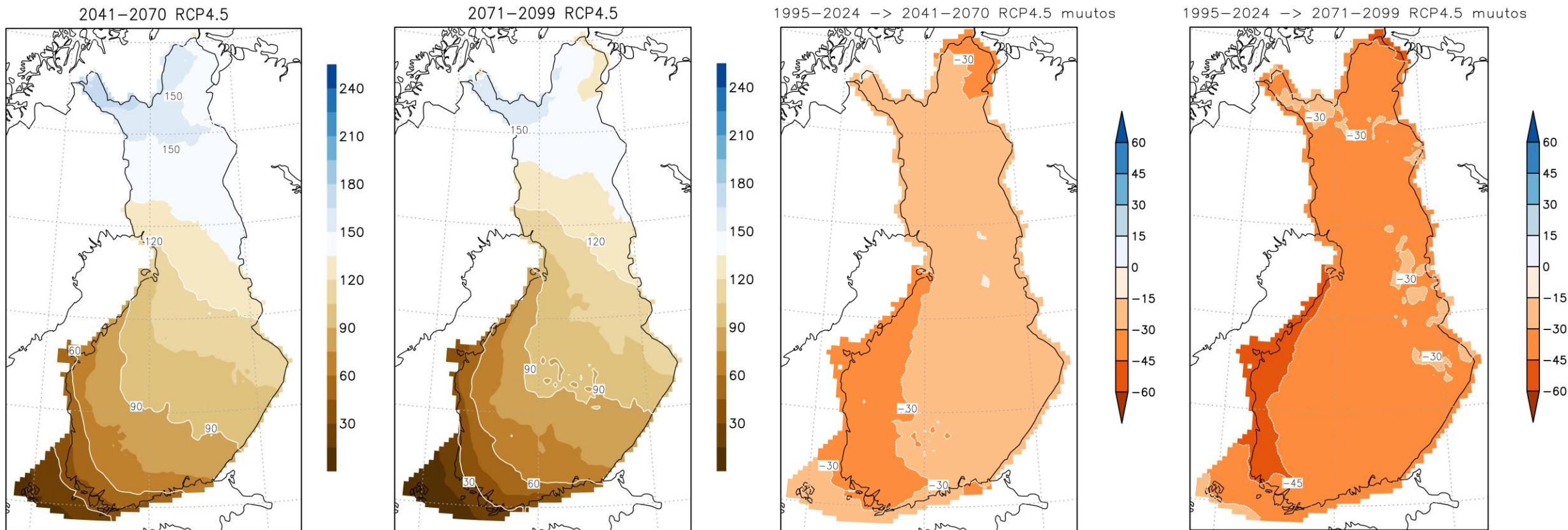
# Routakauden pituus



Routakauden pituus havaintojen (vasen kuva) ja ilmastomallisimulaatioiden (oikea kuva) mukaan jaksolla 1995-2024

- Kantavan roudan keskimääräinen kesto aika talvella on mallinnettu vuorokauden keskilämpötilan ja lumensyvyyden perusteella.
- Kantavaksi roudaksi luokitellaan vähintään 20 cm:n syvyyteen yltävä routa, mutta laskentamalli jonkin verran yliarvio roudan syvyyttä. Toisin sanoen tämä kuvastaa ehkä paremmin vähintään 10–15 cm:n syvyyteen yltävän roudan kesto aikaa kivennäismailla.
- Routakauden lyheneminen lisää myrskytuhojen riskiä metsissä, kun routa ei ole ankkuroimassa puita paikoilleen kovatuulisissa tilanteissa.

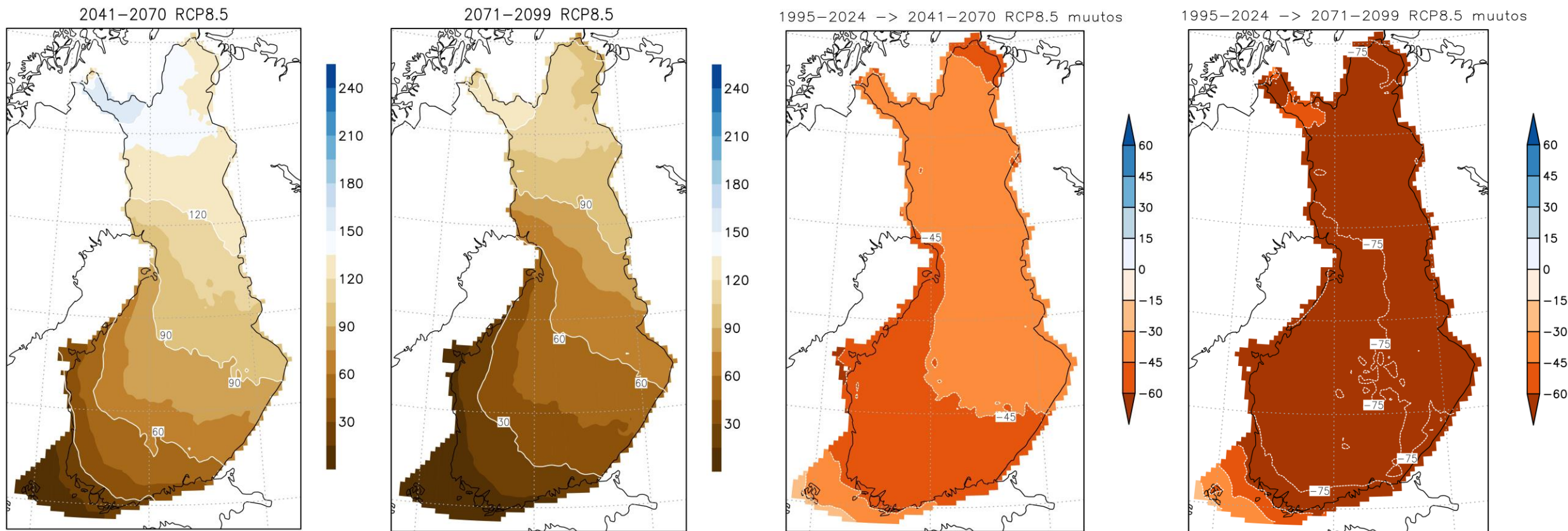
# Routakauden pituus, RCP4.5



Routakauden pituus jaksoilla 2041-2070 ja 2071-2099 skenaarion RCP4.5 mukaan sekä näiden erotus jakson 1995-2024 routakauden pituudesta.

- Vuosisadan puoliväliin mennessä routakausi lyhenee eniten Länsi-Suomessa, yli 30 päivää
- Vuosisadan lopulla routakausi on laajalti yli 30 päivää, länsirannikolla yli 45 päivää lyhyempi kuin nykyilmastossa.

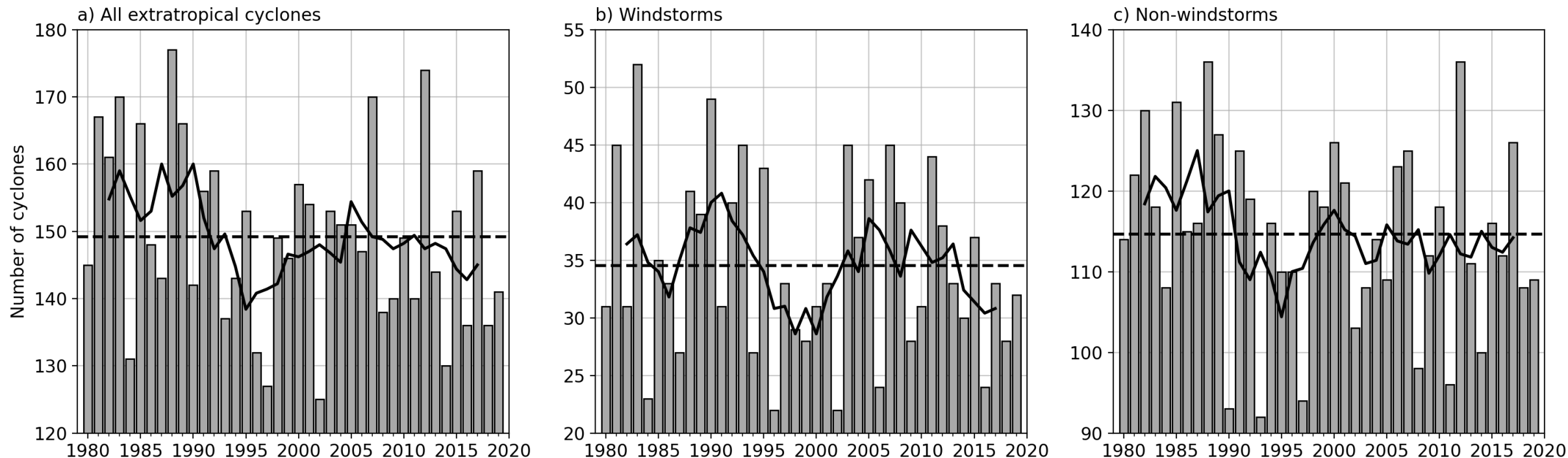
# Routakauden pituus, RCP8.5



Routakauden pituus jaksoilla 2041-2070 ja 2071-2099 skenaarion RCP8.5 mukaan sekä näiden erotus jakson 1995-2024 routakauden pituudesta.

- Vuosisadan puoliväliin mennessä routakausi lyhenee tämän skenaarion mukaan Etelä- ja Länsi-Suomessa laajalti yli 45 päivällä.
- Vuosisadan lopulla routakausi olisi lähes koko Suomessa yli 60 päivää lyhyempi, monin paikoin jopa yli 75 päivää lyhyempi kuin nykyilmastossa.

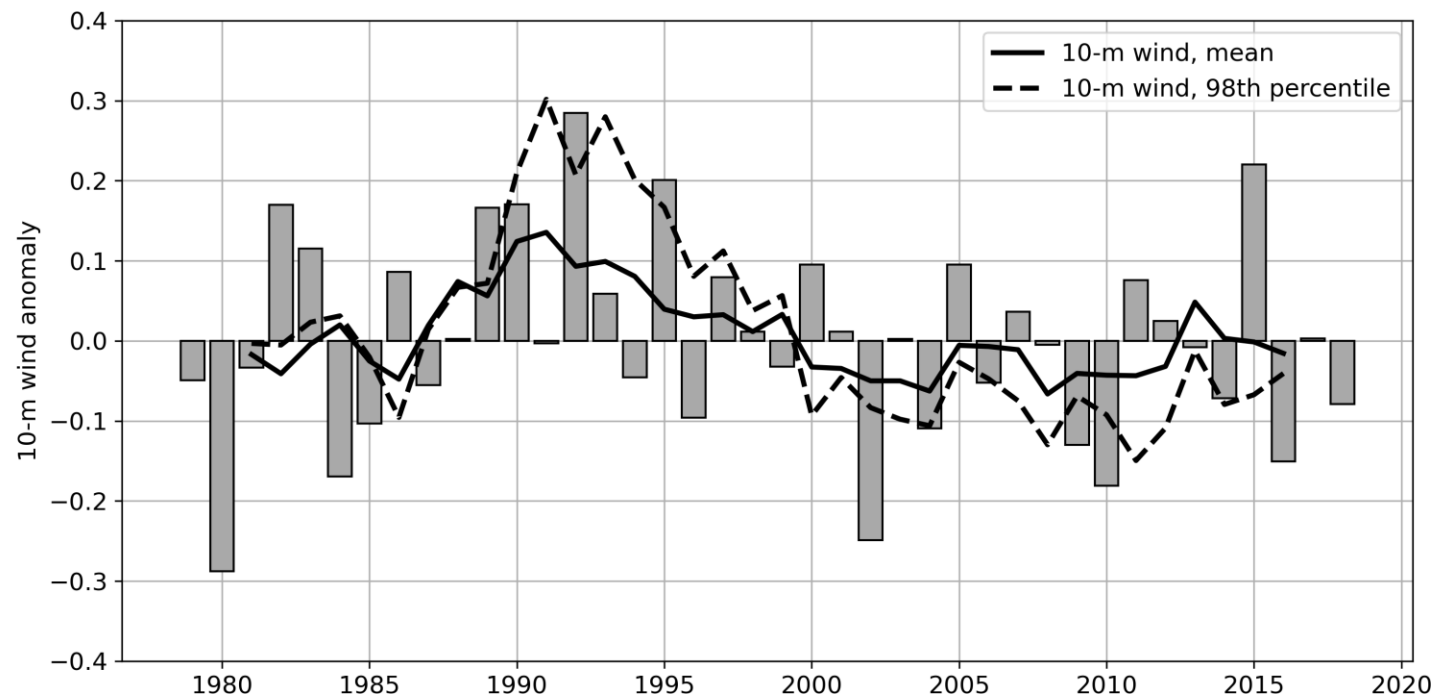
# Matalapainemyrskyt nykyilmastossa



a) Kaikkien matalapaineiden lukumäärä Pohjois-Euroopassa havaintojen mukaan (ERA5), b) myrskymatalapaineiden lukumäärä Pohjois-Euroopassa havaintojen mukaan ja c) matalapaineet, joissa tuuli ei ole yltänyt myrskylukemiin jaksolla 1980-2019. Pylväät kuvaavat vuotuista lukumäärää, musta käyrä on viiden vuoden liukuva keskiarvo ja katkoviiva on jakson yli laskettu keskiarvo.

- Havaintojen mukaan kaikkien matalapaineiden tai myrskymatalapaineiden lukumäärässä ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia jaksolla 1980-2019, mutta vaihtelu vuodesta toiseen on huomattavaa. Myrskyjen vaikutukset voivat kuitenkin kasvaa mm. lyhenevän routakauden ja lisääntyvän sademäärän takia.

# Tuulen nopeus nykyilmastossa



- Suomen tuulisuudessa ei ole havaittu selkeitä trendejä jaksolla 1979-2018.

10 metrin korkeudessa mitatun keskituulen ja äärituulen (98. prosenttipiste) poikkeamat jakson 1979-2018 keskiarvosta Suomessa ERA5-uusanalyysin (vastaa havaintoaineistoa) pohjalta. Pylväät kuvaavat yksittäisien vuosien arvoja, musta käyrä keskituulen viiden vuoden liukuvaa keskiarvoa ja katkoviiva äärituulen viiden vuoden liukuvaa keskiarvoa.

# Uusimpien kansainvälisten tutkimustulosten valossa, tulisi mahdollisesti myös varautua uudentyyppisiin muuntauneisiin myrskyihin (kuten Mauri 1982)


npj | climate and atmospheric science

Explore content ▾ About the journal ▾ Publish with us ▾

[nature](#) > [npj climate and atmospheric science](#) > [articles](#) > [article](#)

Article | [Open access](#) | [Published: 09 September 2023](#)

## Global increase in destructive potential of extratropical transition events in response to greenhouse warming

[Hung Ming Cheung](#) & [Jung-Eun Chu](#) 

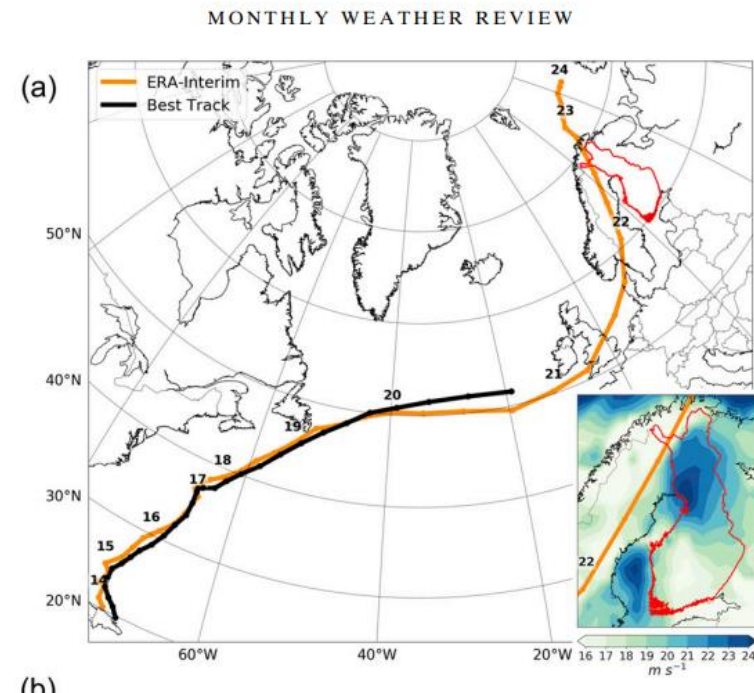
[npj Climate and Atmospheric Science](#) 6, Article number: 137 (2023) | [Cite this article](#)

638 Accesses | 1 Altmetric | [Metrics](#)

Uutinen 30.1.2020

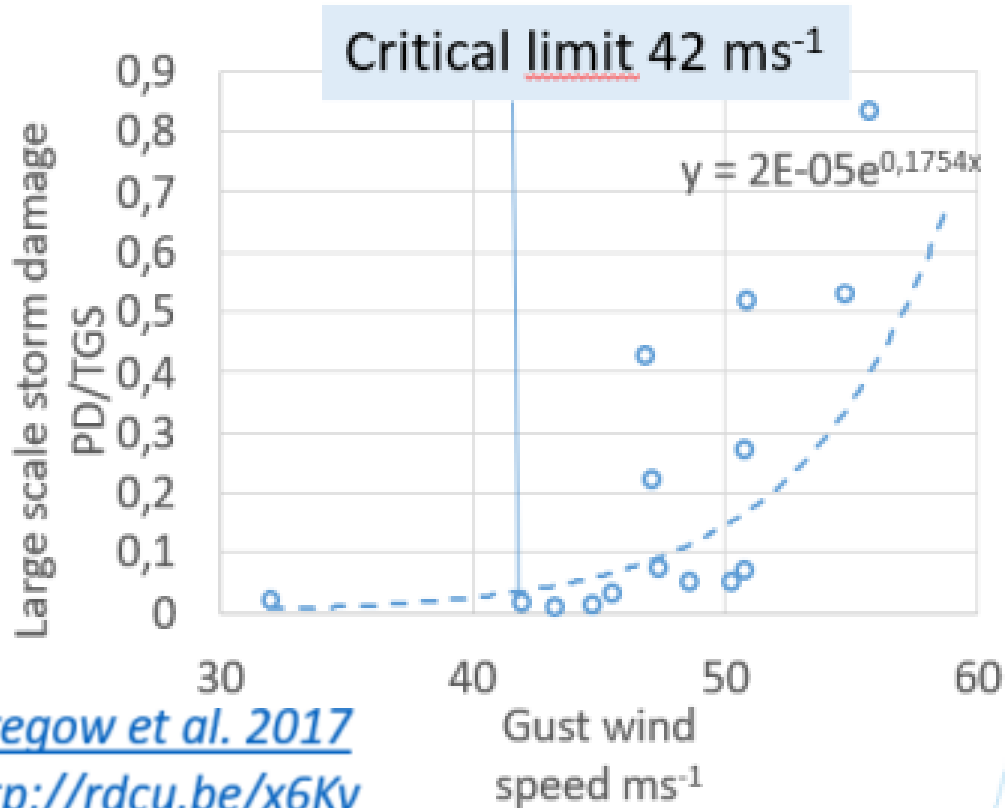
## Vuoden 1982 Mauri-myrsky sai voimaa Debby-hurrikaanin jäänteistä

Tutkimus osoitti, että Mauri-myrskyn (1982) kovat tuulet voimistuivat Debby-hurrikaanin jäänteistä. Mauri-myrsky oli huonosti ennustettavissa. Kaikki tutkimuksessa tehdyt malliajot pystyivät ennustamaan Debbyn ja Maurin kehitystä vain kaksi vuorokautta etukäteen.



# Myrskyjen tuhovoima metsissä kasvaa eksponentiaalisesti tuulen puuskan funktiona, maan vettyneisyys iso lisäriski

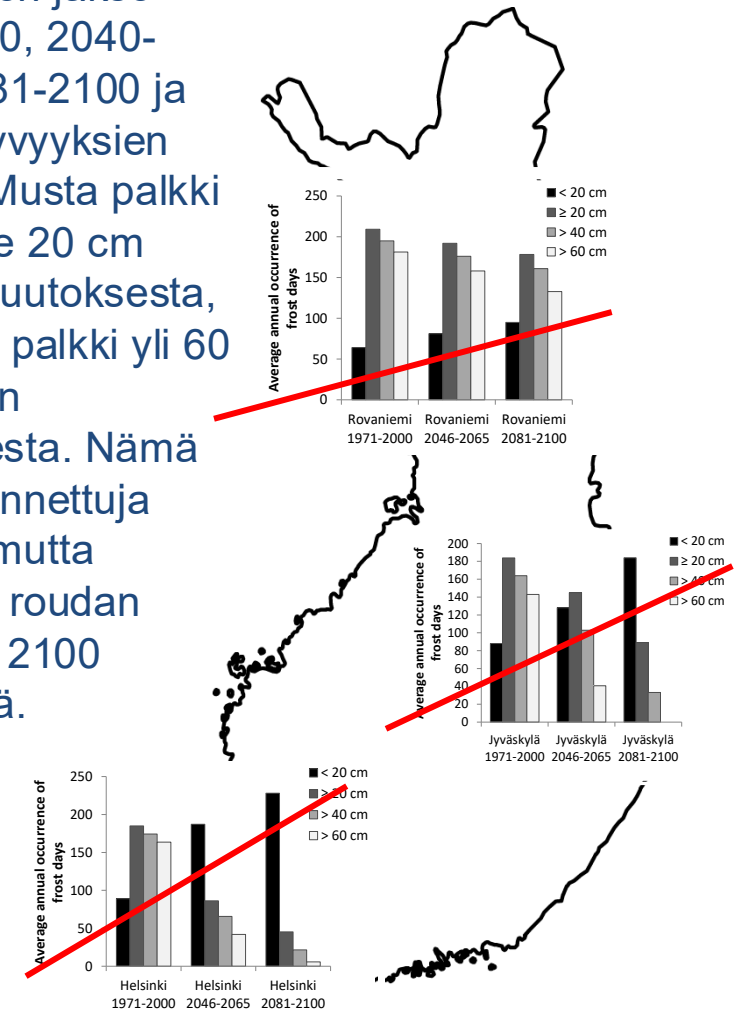
Euroopan myrskyistä ja (PD primary damage/ TGS total growing stock) koottu metsätuhovaikutusten tilasto osoittaa, millä puuskanopeudella metsien osalta ei voi tehdä enää mitään, puut kaatuvat, katkeavat ja tuho on väistämätön.



[Gregow et al. 2017](https://doi.org/10.1016/j.jclea.2017.05.011)  
<http://rdcu.be/x6Ky>



Kuvassa on jakso 1971-2000, 2040-2069, 2081-2100 ja roudan syvyyksien muutos. Musta palkki kertoo alle 20 cm roudan muutoksesta, valkoinen palkki yli 60 cm roudan muutoksesta. Nämä ovat mallinnettuja tuloksia, mutta indikoivat roudan muutosta 2100 mennessä.



Gregow et al.

2011 <https://doi.org/10.14214/sf.30> Fig. 9. The average annual occurrence of the various (snow free) soil frost categories < 20 cm, ≥20 cm, >40 cm and >60 cm based only on the analyses of the GCM data. The class of >60 cm is expected to provide sufficient support for the anchorage of trees (against uprooting)

# Suomen myrskyjen ääriarvoja (Valta et al. 2019 tapaan)

Storm name	Date	Year	Maximum observed average wind speed	Wind direction (blowing from)	Wind max gust	Maximum observed wind speed over land
Jari	20.-21.11.	2024	28,4		34,2	
Lyly	1.11.	2024	33,5	NW	39,6	
Sylvia	8.8.	2023	23,5		30,9	
Liisa	19.11.	2020	26,0		31,5	
Aila	17.9.	2020	29,4	NW...N	35,3	
Päivö	30.6.	2020	21,4		27,4	
Tuuli	22.2.	2020	27		28,4	
Aapeli	1.-2.1.	2019	32,5	N	41,6	32,8
Rauli	27.8.	2016	23,6			24,9

# Myrskyistä on koottu uusi jakson 2015-2024 aikasarjatarkastelu globaalin lämpötilan havaintojen kanssa – ei vertaisarvioitu tulos

Kuvassa on 10-vuoden aikasarja Suomen myrskyistä jaksolta 2015-2024. Kuva on muodostettu niin, että siihen on poimittu vuositason ääriarvoja Valta et al. 2019 artikkelista (2015-2016). Aikasarjaa on täydennetty Ilmatieteen laitoksen uusilla vastaavilla vuositason myrskyjen ääriarvoilla (Maximum wind speed m/s (rannikkohavainnot)). Myrskyihin liittyvät keskimääräiset suurimmat tuulen nopeudet on sinisellä. Vasemmalla on tuulen y-akseli.

Vuosille, joilta on raportoitu äärevä myrsky, on merkitty globaalin lämpötilan keskiarvo WMO tilastoista punaisella. Oikealla on lämpötilan y-akseli (celciusta).

Kuvasta nähdään, että keskimäärin 2014-2025 myrskyjen kovimpien tuulien ääriarvot ovat Suomessa kasvaneet samalla, kun globaali keskilämpötila on noussut. Tarkastelu tulisi kuitenkin tehdä pidemmälle aikasarjalle ja näin on tuulien osalta esitetty jaksolta 2011-2025.

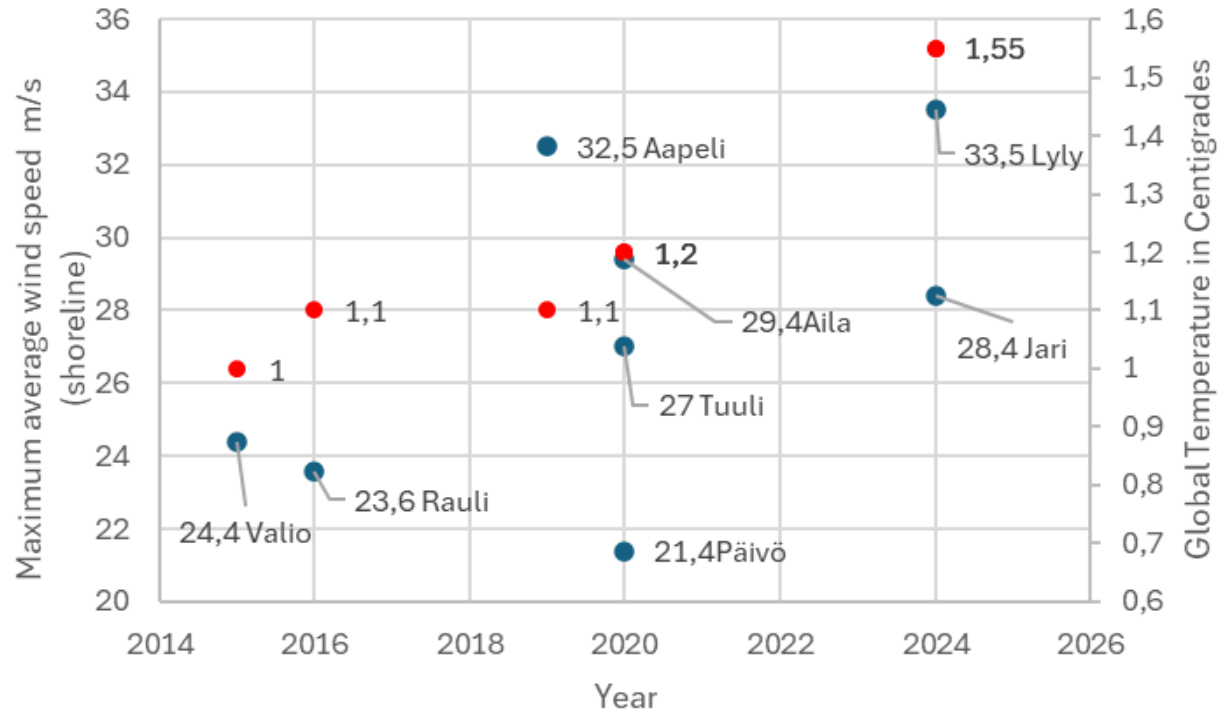


Figure is based on Gregow et al. 2025 ACCC FASN abstract: Extending previous storm impact research to support development of climate resilience (accepted for poster presentation)

# Yhdistetty pidempi aikasarja 2011-2025

Kuvassa on yhdistetty aikasarja jaksolta 2011-2016 (Valta et al.2019 julkaisussa esitetyistä myrskyistä) havaittuihin uusiin suurimpiin keskimääräisiin tuulen nopeuksiin myrskyistä jaksolta 2017-2024.

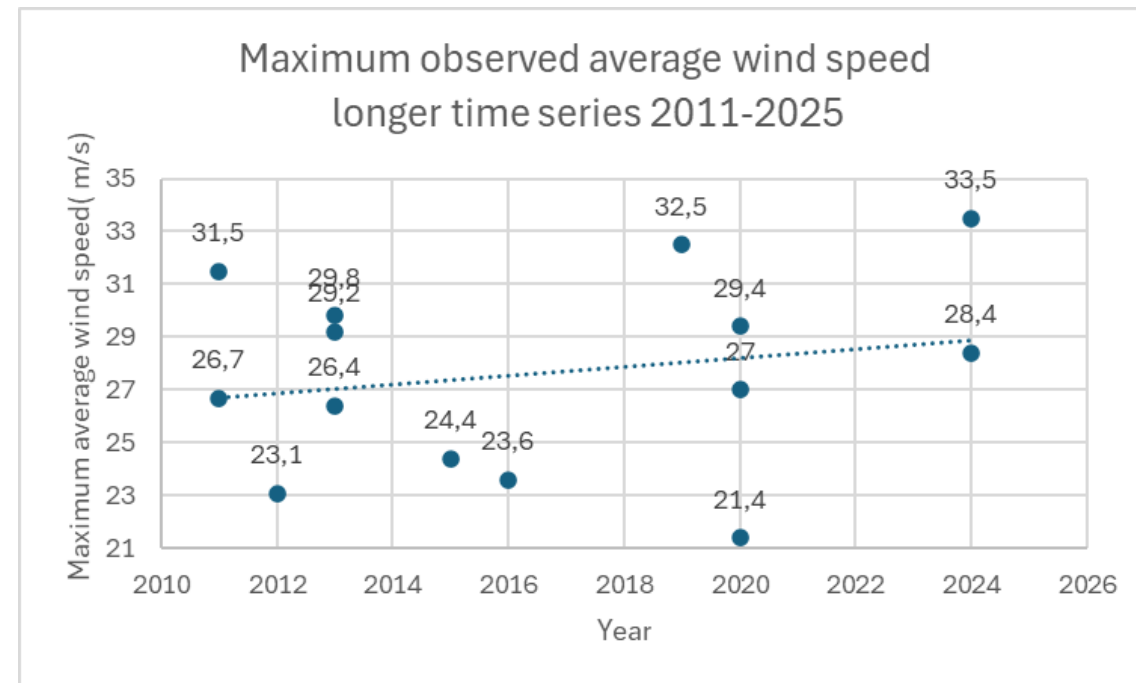
Historiallisesti jaksolla 2011-2024 saavutettuja ennätyksiä ovat olleet:

V. 2011 Tapani 31,5 m/s

V. 2019 Aapeli 32,5 m/s

V. 2024 Lyly 33,5 m/s

Kuvasarjassa ei ole mukana kesäilmiöiksi luokiteltavia myrskyjä/rajuilmoja.



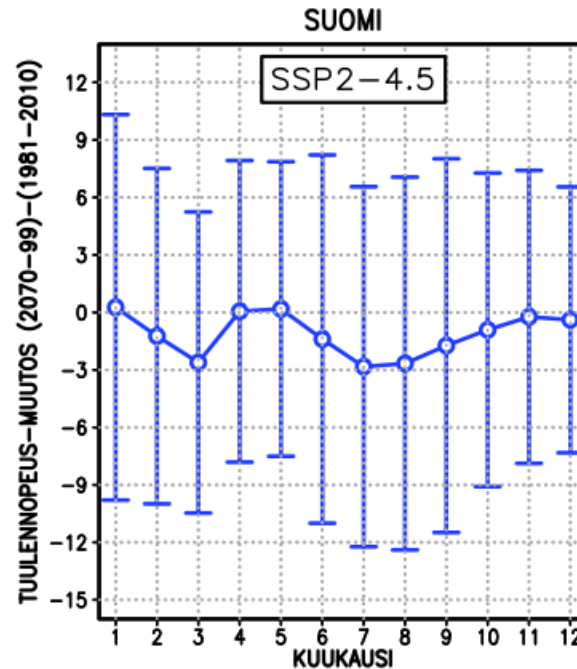
Kuvassa y-akseli on maksimi keskimääräinen tuulen nopeus. Kuvassa x-akseli on vuosi.

# Tulevaisuuden muutokset tuulisuudessa karkeilla ilmastomalleilla

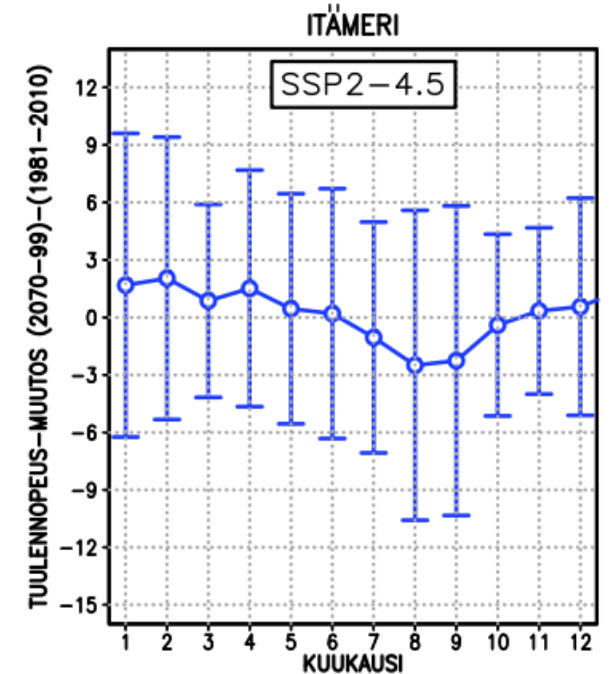
- Tuulen keskimääräisen nopeuden arvioissa on suuria eroja eri mallien välillä (kuvan pystyjanat). Mallitulosten keskiarvo on esitetty kuvissa ympyrällä..
- Karkealla resoluutiolla ei kuitenkaan saada kiinni myrskyilmiöitä ja niihin liittyviä ääriarvoja.
- Suomen Akatemian rahoittama WIND-IMPACT hanke on käynnistynyt syksyllä 2025. Sen avulla tn. saadaan tarkempaa tietoa vuosien 2025-2029 aikana.

- Myrskyjen puuskaisuuteen liittynee uusia riskejä (myrskytyypit – uudet kv tutkimustulokset)

MAA-ALUE 2070-99

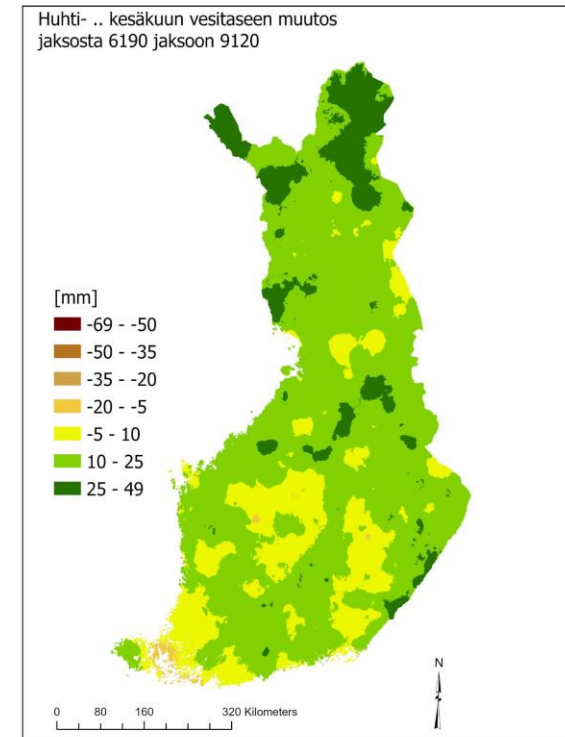
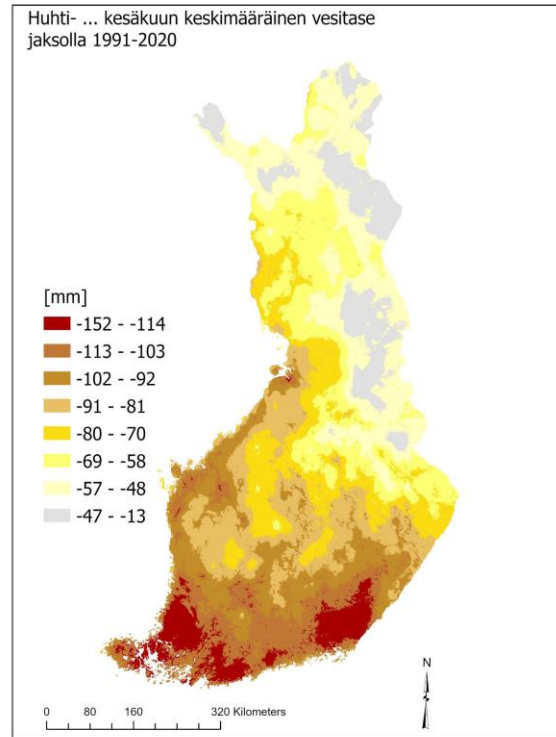
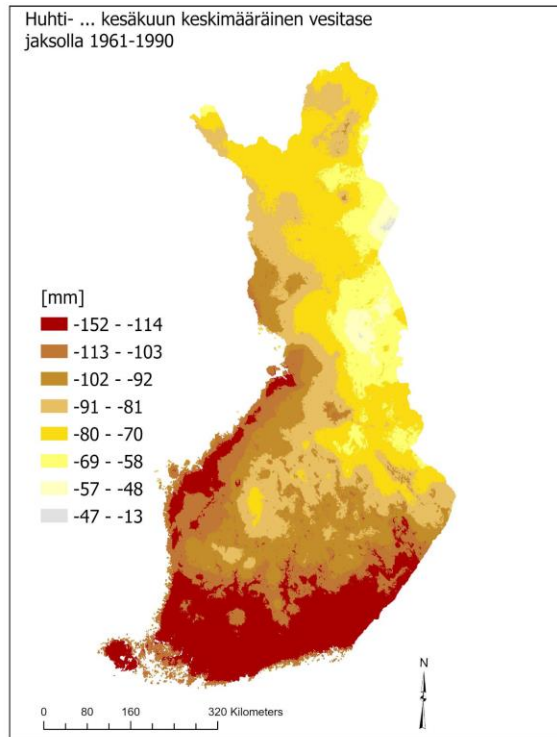


MERI 2070-99



Kuva 6. Keskimääräisen tuulennopeuden muutos (%) Suomessa (vasen kuva) ja Itämeren yläpuolella (oikea kuva) vuoden eri kuukausina siirryttäessä jaksosta 1981–2010 jaksoon 2070–2099; SSP2-4.5-skenaario. Katso kuvan 3 selitystekstiä.

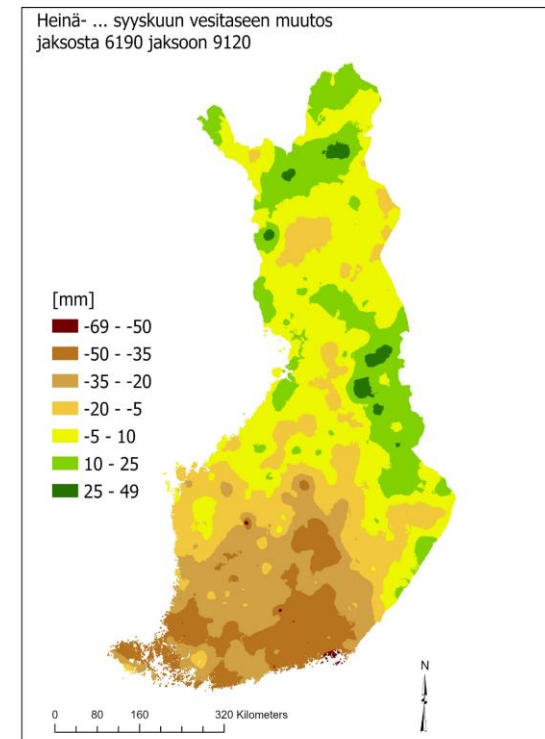
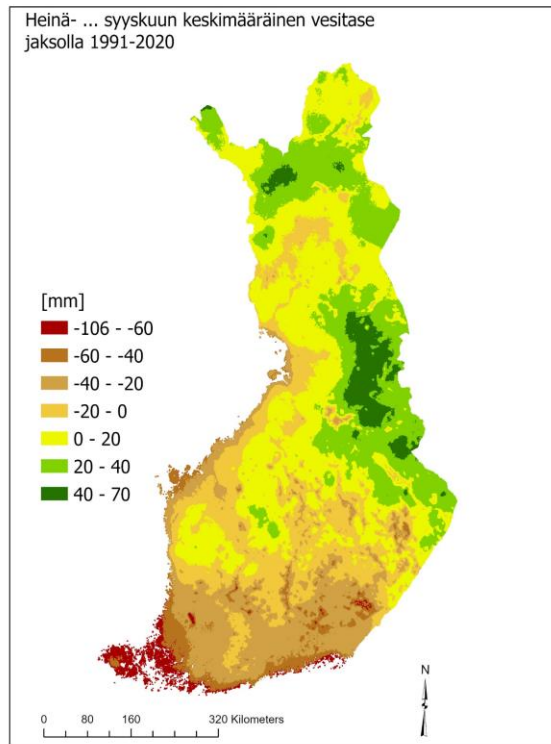
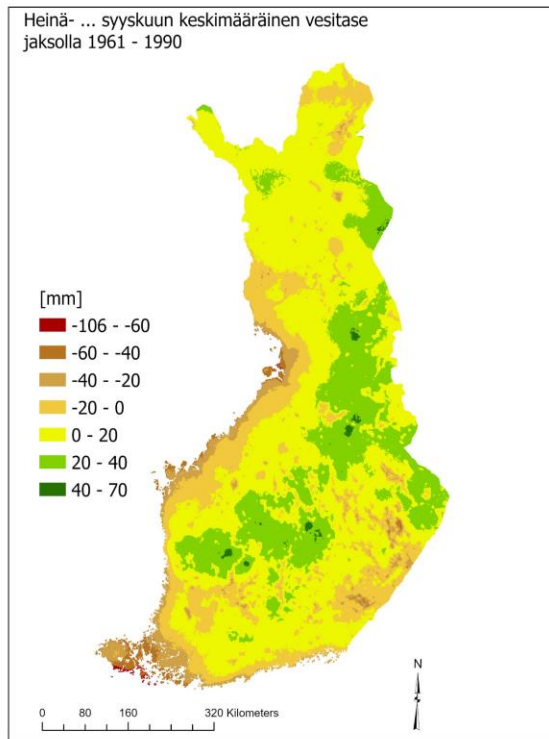
# Huhti-kesäkuun vesitase nykyilmastossa



Huhti-kesäkuun vesitase jaksoilla 1961-1990 ja 1991-2020 sekä näiden erotus.

- Keväällä ja alkukesällä vesitase on kaikkialla Suomessa negatiivinen molemmilla tarkastelujaksoilla 1961-1990 ja 1991-2020, eli maaperä menettää vettä. Tämä johtaa pitkällä aikavälillä pohjaveden laskuun ja kasvien käytettävissä olevan kosteuden vähenemiseen.
- Näiden jaksosten välinen erotus vesitaseessa näyttää, että varsinkin Lounais-Suomessa ja maan keskiosissa vesivarastot ovat hieman pienentyneet.

# Heinä-syyskuun vesitase nykyilmastossa



Heinä-syyskuun vesitase jaksolla 1961-1990 ja 1991-2020 sekä näiden erotus.

- Keskikesällä ja alkusyksyllä vesitase on jaksolla 1961-1990 negatiivinen lähinnä rannikkoseuduilla ja paikoin Kaakkois-Suomessa. Jaksolla 1991-2020 vesitase on negatiivinen laajalti Etelä-Suomessa, rannikkoseudulla ja paikoin myös Keski-Suomessa.
- Jaksojen välinen muutos on suuressa osassa Suomea negatiivinen, voimakkaimmin Etelä- ja Keski-Suomessa, -20 – -50 mm. Vesivarastot ovat siis pienentyneet loppukesällä.

# Lähdeluettelo

- Aalto, J., Lehtonen, I., Pirinen, P., Aapala, K., Heikkinen, R.K. (2023). Bioclimate change across the protected area network of Finland, *Science of The Total Environment*, 893
- Gregow H., Peltola H., Laapas M., Saku S., Venäläinen A. (2011). Combined occurrence of wind, snow loading and soil frost with implications for risks to forestry in Finland under the current and changing climatic conditions. *Silva Fennica* vol. 45 no. 1 article id 30. <https://doi.org/10.14214/sf.30>
- Laurila, T. K., Gregow, H., Cornér, J., and Sinclair, V. A. (2021). Characteristics of extratropical cyclones and precursors to windstorms in northern Europe, *Weather Clim. Dynam.*, 2, 1111–1130, <https://doi.org/10.5194/wcd-2-1111-2021>
- Laurila, T.K., Laapas, M., Olsson, T., Jylhä, K. (yy). [Wind speeds and gusts in Finland: a comparison of observations and ERA5 reanalysis](#)
- Lehtonen, I., Venäläinen, A., Kämäräinen, M., Asikainen, A., Laitila, J., Anttila, P., and Peltola, H. (2019). Projected decrease in wintertime bearing capacity on different forest and soil types in Finland under a warming climate, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 23, 1611–1631, <https://doi.org/10.5194/hess-23-1611-2019>.
- Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A. and Kämäräinen, M. (2016), Projections for the duration and degree days of the thermal growing season in Europe derived from CMIP5 model output. *Int. J. Climatol.*, 36: 3039-3055. <https://doi.org/10.1002/joc.4535>
- Ruosteenoja, K., & Jylhä, K. (2021). Projected climate change in Finland during the 21st century calculated from CMIP6 model simulations. *Geophysica*, 56(1), 39-69. <https://www.geophysica.fi/article/id-56-3-ruosteenoja/>
- Ruosteenoja, K., & Jylhä, K. (2023). Average and extreme heatwaves in Europe at 0.5–2.0° C global warming levels in CMIP6 model simulations. *Climate Dynamics*, 61(9), 4259-4281. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-023-06798-4>
- Ruosteenoja, K. , and K. Jylhä. (2025). Extreme Cold Days and Spells in Northern Europe at 0.5°C–2.0°C Global Warming Levels. *International Journal of Climatology* 45, no. 9: e8875. <https://doi.org/10.1002/joc.8875>.
- Ruuhela, R., Carter, T. R., Rantanen, M., Polade, S., Lipsanen, A., Jylhä, K., Laurila, T. K., Luomaranta, A., Fagerström, S., Luhtala, S., Gregow, H. (2023), Ilmasto- ja sosioekonomiset skenaariot ilmastonmuutokseen sopeutumisen suunnittelussa, Valtioneuvoston julkaisuja 2023:4, <http://um.fi/URN:ISBN:978-952-366-867-6>
- Räisänen, P., Luomaranta, A. and Jylhä, K. (2025), Future Snow Scenarios for Northern Europe Based on Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 Data. *Int J Climatol*, 45: e8795. <https://doi.org/10.1002/joc.8795>
- Valta, H., Lehtonen, I., Laurila, T. K., Venäläinen, A., Laapas, M., and Gregow, H. (2019): Communicating the amount of windstorm induced forest damage by the maximum wind gust speed in Finland, *Adv. Sci. Res.*, 16, 31–37, <https://doi.org/10.5194/asr-16-31-2019>.