

Ilmastonmuutos Rovaniemellä

Reija Ruuhela, Pentti Pirinen, Ilari Lehtonen, Olli Saranko, Carl Fortelius, Mika Rantanen, Meri Virman, Petri Räisänen, Juha Aalto, Heikki Tuomenvirta

Ilmatieteen laitos



**Euroopan unionin
osarahoittama**



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE



ACC
CLEAN AIR. SAFE CLIMATE.

Esipuhe

Raportti on tuotettu osana Euroopan Unionin osarahoittamaa EAKR-hanketta (A80734) Ilmastoturvallinen Rovaniemi – strategisen yleiskaavan moduuli. Hankkeen päätavoitteena on nostaa Rovaniemen kaupungin valmiutta varautua ilmastonmuutokseen ja sen vaikutuksiin. Tässä raportissa esitetään tiiviissä muodossa Rovaniemelle kohdennettua ilmastotietoa, jota on tuotettu rinnakkain Lapin ilmasto- ja energiastrategiaa varten tuotetun ilmastotiedon kanssa.

Helsinki, 10. maaliskuuta 2025

Heikki Tuomenvirta
Ryhmäpäällikkö
Ilmatieteen laitos

Tiivistelmä

Rovaniemelle kohdennettua ilmastotietoa tuotettiin erityisesti strategisen yleiskaavan 2050 prosessia varten, mutta tietoja voidaan hyödyntää myös muilla toimialoilla pidemmän aikavälin suunnittelussa.

Havaintojen perusteella Rovaniemen vuosikeskilämpötila on kohonnut noin 1,3 °C ja vuoden sademäärä kasvanut noin 60 mm kahden peräkkäisen 30 vuoden mittaisen ilmastollisen vertailukauden välillä. Muuttunut ilmasto näkyy laajasti myös muissa Rovaniemen havaintoihin perustuvissa bioilmaston indikaattoreissa.

Kaupungin lämpösaareketta simuloitiin säämallin avulla nykyisessä kaupunkirakenteessa sekä kesäisen helleaallon että talvisen pakkaspäivän tilanteessa. Simulointien mukaan Rovaniemen lämpösaareke on voimakkain kaupungin keskustassa tiiviimmin rakennetulla alueella ja suuruudeltaan muutaman asteen luokkaa.

Ilmastonmuutosarviot Rovaniemelle tuotettiin pääosin tuoreimpien CMIP6-mallisukupolven skenaarioiden pohjalta, mutta runsaiden sateiden skenaarioita tuotettiin myös edeltävän sukupolven mallien pohjalta. Tulevina vuosikymmeninä Rovaniemellä tulee varautua talvien lauhtumiseen ja rankkasateiden voimistumiseen. Lumikausi lyhenee ja talven suurimmat lumikuormat todennäköisesti hieman pienentyvät. Rakennusten lämmitystarve pienenee, mutta toisaalta kesäisin on tarpeen varautua myös jäähdytystarpeeseen.

Abstract

The climate data for Rovaniemi was produced specifically for the strategic master plan 2050 process but can also be used in other sectors for longer-term planning.

Based on the observations, in Rovaniemi the annual mean temperature has increased by about 1.3 °C and annual precipitation by about 60 mm between two consecutive 30-year climate normal periods. These changes are widely reflected also in other bioclimatic indicators based on Rovaniemi observations.

The urban heat island effect was simulated using a weather model in the current urban structure for both a summer heatwave and a cold winter day. According to the simulations, the heat island of Rovaniemi is strongest in the more densely built-up area in the city centre and is of the order of a few degrees.

Climate change projections for Rovaniemi were mainly based on the most recent CMIP6 model generation scenarios, but heavy precipitation projections were produced based on previous model generation as well. In the coming decades, Rovaniemi should be prepared for more frequent mild winters and more intense heavy rainfall. The snow season will become shorter and the maximum winter snow loads are likely to decrease slightly. The need for heating buildings will decrease, but on the other hand, it will also be necessary to prepare for the need for cooling in summer.



Sisällys

Esipuhe	2
Tiivistelmä	3
Abstract	4
1. Johdanto	6
2. Bioilmaston indikaattorit	7
2.1. Menetelmät	7
2.2. Muutokset Rovaniemen bioilmastossa	8
3. Rovaniemen lämpösaareke	11
3.1. Menetelmät	11
3.2. Lämpösaareke hellepäivänä	11
3.3. Lämpösaareke talvipakkasella	14
4. Ilmastonmuutosskenaarioita Rovaniemelle	16
4.1. Menetelmät	16
4.2. Ilmastonmuutosta kuvaavat perustekijät	17
4.3. Muuttuvat talvet	21
4.3.1. Lumipeite	21
4.3.2. Talviset vesisateet ja suojasääät	22
4.4. Sateiden määrä ja intensiteetti kasvaa	25
4.4.1. Lyhytkestoiset rankkasateet	25
4.4.2. Runsaat sateet pidemmällä jaksolla	26
4.5. Rakennusten lämmitys- ja jäähdytystarve	28
4.6. Ilmastonmuutoksen nopeustasot	30
5. Johtopäätöksiä	32
Viitteet	34
LIITE 1. Bioilmaston indikaattorit Lapissa	36
LIITE 2. Lämmitys- ja jäähdytystarvelukujen skenaariot Lapissa	42

1. Johdanto

Ihmisen toiminnasta peräisin olevat kasvihuonekaasut ja pienhiukkaset muuttavat maapallon ilmastojärjestelmää. Maapallon lämpeneminen johtuu kasvihuonekaasujen pitoisuuksien kasvusta ilmakehässä. Rovaniemen maankäytön muutokset vaikuttavat paikalliseen pienilmastoon. Tässä raportissa esitellään maailmaanlaajuiseen ilmastomuutokseen liittyviä muutoksia Rovaniemelle kohdennettuna. Lisäksi simuloidaan Rovaniemen nykyisen kaupunkirakenteen vaikutuksia Rovaniemen pienilmastoon eli kaupungin lämpösaareketta. Lämpösaarekeilmiötä on kuvannut mm. Oke (1982). Kaupungin lämpösaareke voimistaa paikallisesti ilmastomuutoksen vaikutuksia. Molemmat näkökulmat siis tulisi ottaa huomioon, kun varaudutaan muuttuvan ilmaston haasteisiin kaupunkialueilla.

Suomessa ilmasto lämpenee tuoreimpien ilmastomuutosskenaarioiden mukaan noin 1,6-kertaa nopeammin kuin maapallolla keskimäärin. Maan pohjoisosassa lämpenemisen ennakoitua olevan nopeampaa kuin maan eteläosassa (Ruosteenoja ja Jylhä, 2021). Tässä raportissa esitetään tietoa havaitussa ilmastossa jo toteutuneista muutoksista ja tulevaisuudessa eri ilmastomuutosskenaarioissa Lapissa ja erityisesti Rovaniemellä.

Kaupunkien lämpösaarekkeen voimakkuus voi sopivassa säätilanteessa Suomessa tehtyjen tutkimusten mukaan olla suurimmillaan jopa 14 °C (Drebs ym., 2023) ja se vaihtelee muun muassa kaupunkirakenteen, kasvillisuuden ja vesistöjen osuuden sekä vuodenajan ja vuorokauden ajan mukaan. Rovaniemeltä ei ole tiettävästi tehty ennen tätä raporttia aiempia arvioita. Lämpösaarekeilmiössä tapahtuvat muutokset tulevaisuudessa riippuvat kaupungin kasvusta ja kaupunkisuunnittelussa tehdyistä ratkaisuista.

Tämän raportin luvussa 2 esitellään Rovaniemen ilmastossa vuosikymmenien aikana tapahtunutta muutosta bioilmaston indikaattorien avulla. Luvussa 3 simuloidaan Rovaniemen lämpösaareketta kesäisen helleaallon ja talvisen pakkasjakson aikana. Luvussa 4 keskitytään tulevaisuuden skenaarioihin Rovaniemen tulevan kehityksen kannalta tärkeissä ilmastotekijöissä kuten lumipeitteessä ja rankoissa sateissa tapahtuviin muutoksiin.

Vastaavia ilmastotietoja koko Lapin alueelle kuvataan laajemmin ”Ilmastotietoja Lapin ilmasto- ja energiastrategiaan” -raportissa (Ruuhela ym., 2025).

2. Bioilmaston indikaattorit

2.1. Menetelmät

Tässä luvussa tarkastellaan Rovaniemellä jo toteutuneita muutoksia erityisesti luonnon monimuotoisuuden kannalta oleellisissa bioilmaston indikaattoreissa. Ne on laskettu Ilmatieteen laitoksen 1 km x 1 km hila-aineistosta, joka puolestaan on tuotettu havainnoista kriging-interpolaation avulla. Menetelmässä hyödynnetään meteorologisten havaintojen lisäksi korkeutta merenpinnasta sekä tietoja maankäytöstä ennustamaan muutoksia bioilmaston indikaattoreissa. Tulokset on laskettu kahdelle peräkkäiselle 30-vuoden mittaiselle ilmastolliselle vertailukaudelle 1961–1990 ja 1991–2020 keskiarvoina ja vaihteluvälinä (alimmat ja ylimmät arvot vertailukausilla). Lisäksi on laskettu kunkin indikaattorin muutosarvot näiden kahden vertailukauden välillä. Nämä lämpötilaan ja sateisuuteen liittyvät bioilmaston indikaattorit perustuvat Aalto ym. (2023) julkaisuun sekä niiden tunnettuihin vaikutuksiin pohjoiseen kasvillisuuteen ja eläimiin.

Bioilmaston indikaattorit ja niiden kuvaukset:

- Vuoden keskilämpötila, joka lasketaan hilapisteittäin vuorokauden keskilämpötiloista. Vaikutuksia mm. lajien levinneisyyskuviin ja elinmahdollisuuksiin.
- Termisen kasvukauden pituus ja lämpösumma. Kasvukausi määritellään ajanjaksoksi, jolloin vuorokauden keskilämpötila on pysyvästi yli +5 astetta. Kasvukauden pituus on siten tämän määritelmän mukaisen jakson pituus vuorokausina. Kasvukauden lämpösumma kasvukauden ajalta laskettuna +5 asteen ylittävän vuorokauden keskilämpötilojen summana. Vaikutuksia mm. kasvien kasvuun ja eliöiden elinkierto.
- Pakkaspäivien määrä lumettomina päivinä. Niiden päivien määrä, jolloin vuorokauden alin lämpötilan on ollut alle 0 °C aikavälillä 1.4.–30.6. Vaikutuksia mm. kasvien vaurioitumiseen ja fenologiaan.
- Helteiden ($T_{max} > 25$ °C) lämpösumma. Vuorokauden ylimpien lämpötilojen 5 vrk:n juoksevista keskiarvoista kertyvä lämpösumma aikavälillä 1.4.–1.10.
- Nolla-asteen ohituspäivien määrä aikavälillä 1.1.–30.6. Niiden päivien määrä, jolloin vuorokauden alin lämpötila on alle 0 °C ja vuorokauden ylin lämpötila on yli 0 °C. Vaikutuksia mm. kasvien kuolleisuuteen.
- Vuoden sademäärä, joka on hilapisteittäin yhteenlaskettu vuorokauden sademäärien kertymästä vuoden ajalta. Keskeisiä vaikutuksia mm. kasvien ja eliöiden vedensaantiin.
- Pitkien kuivuusjaksojen päivien määrä. Kuivuusjaksoksi tässä määritellään vähintään 10 peräkkäisen päivän jakso aikavälillä 1.4.–1.10., jolloin on ollut

poutaa tai sadetta kertynyt vain vähän, alle 1 mm/vrk. Vaikutuksia kasvien kuivuusstressiin ja kuolleisuuteen.

- Vesitase. Sademäärän ja kokonaishaihdunnan erotus aikavälillä 1.4.–30.9. Kokonaishaihdunta eli evapotranspiraatio kuvaa sekä maanpinnalta että kasvillisuuden kautta haihtuvan veden määrää. Vaikutuksia eliöiden veden saantiin.
- Lumipeitepäivien määrä. Niiden päivien määrä, jolloin lunta on vähintään 1 cm, aikavälillä 1.9.–31.8. Vaikutuksia mm. kasvien ja eliöiden suojaan talven ääriämpötiloilta ja kasvukauden käynnistymiseen.
- Vesisadetta lumipeitteen päälle –päivien määrä. Laskentakriteerit aikavälillä 1.9.–30.6.: lumipeitteen paksuus vähintään 1 cm, vuorokauden sademäärä vähintään 1 mm ja vuorokauden keskilämpötila vähintään 0,5 °C. Vaikutuksia mm. eliöiden ravinnonsaantiin lumen alta.

2.2. Muutokset Rovaniemen bioilmastossa

Meteorologista havainnoista lasketut bioilmaston indikaattorit Taulukossa 1. ja Taulukossa 2. osoittavat, että muutokset kahden peräkkäisen 30 vuoden mittaisen ilmastollisen vertailukauden välillä ovat selkeitä.

Rovaniemen vuosikeskilämpötila on noussut 1,3 °C. Ilmastollisella vertailukaudella 1961–1990 vuoden keskilämpötila oli vielä hieman pakkasen puolella, kun uusimmalla vertailukaudella 1991–2020 vuoden keskilämpötila Rovaniemellä oli jo +1,2 °C. Muutoksia havaitaan myös muissa lämpötilaan liittyvissä indikaattoreissa, joilla on merkitystä useiden toimialojen ja elollisen luonnon kannalta. Terminen kasvukausi Rovaniemellä on pidentynyt keskimäärin 2–3 vuorokautta ja kasvukauden lämpösumma kasvanut yli 100 °Cvrk. Pakkaspäivät touko-kesäkuussa ovat hieman vähentyneet, mutta ovat edelleen selkeä riski kasvukauden alussa. Helteistä koituva kuumarasitus elolliselle luonnolle kasvaa, mutta helteistä kertyvä lämpösumma Rovaniemellä on edelleen keskimäärin pieni. Nolla-asteen ohituspäivien määrä tammi-kesäkuussa on myös hieman lisääntynyt.

Taulukko 1. Lämpötilaan liittyviä bioilmaston indikaattoreita Rovaniemellä kahdella ilmastollisella vertailukaudella sekä muutos näiden välillä.

	1961–1990, Keskiarvo (alin; ylin)	1991–2020, Keskiarvo (alin; ylin)	Muutos, keskiarvo
Vuoden keskilämpötila [°C]	-0,1 (-0,8; 0,7)	1,2 (0,4; 2,0)	1,3
Termisen kasvukauden pituus [vrk]	132 (125; 139)	134 (128; 143)	3
Termisen kasvukauden lämpösumma [°Cvrk]	850 (757; 969)	953 (859; 1076)	104
Pakkaspäivien määrä huhti-kesäkuussa [vrk]	6 (3; 11)	5 (3; 11)	-1
Helteiden (T > 25°C) lämpösumma [°C]	4,1 (2,5; 6,2)	6,2 (3,8; 9,5)	2,1
Nolla-asteen ohituspäivien määrä tammi-kesäkuussa [vrk]	47 (40; 52)	50 (42; 55)	3

Sateisiin liittyvissä indikaattoreissa muutokset ovat myös havaittavissa, vaikka vuosien välinen vaihtelu onkin suurta. Koko vuoden aikana kertyvä sademäärä on kasvanut kahden peräkkäisen 30-vuoden ilmastollisen vertailukauden välillä. Vanhemmalla ilmastollisella vertailukaudella 1961–1990 vuoden sademäärä Rovaniemellä oli 526 mm, kun vertailukaudella oli 1991–2020 vuoden sademäärä oli 588 mm. Tämä näkyy myös vesitaseen kasvussa. Pitkien kuivuusjaksojen päivien määrä ei kuitenkaan ole vähentynyt merkittävästi. Lumipeitteisten päivien määrä on näissä havaintoihin perustuvissa aineistoissa vähentynyt keskimäärin muutaman päivän. Säätilanteet, joissa vettä sataa lumipeitteen päälle, ovat hieman yleistyneet Rovaniemellä, mikä myös kertoo osaltaan Rovaniemen talvien lauhtumisesta.

Taulukko 2. Sateisuuteen liittyviä bioilmaston indikaattoreita Rovaniemellä kahdella ilmastollisella vertailukaudella sekä muutos näiden välillä.

	1961–1990, Keskiarvo (alin; ylin)	1991–2020, Keskiarvo (alin; ylin)	Muutos, keskiarvo
Vuoden sademäärä [mm]	526 (499; 588)	588 (548; 652)	61
Pitkien kuivuusjaksojen päivien määrä [vrk]	14 (11; 18)	13 (10; 17)	-1
Vesitase [mm]	-82 (-138; -60)	-61 (-102; -25)	22
Lumipeitepäivien määrä [vrk]	200 (187; 209)	196 (186; 203)	-3
Vesisadetta lumipeitteen päälle -päivien määrä [vrk]	7 (5; 11)	10 (7; 14)	3

Liitteessä nämä bioilmaston indikaattorit esitetään kartoilla koko Lapin alueelta.

3. Rovaniemen lämpösaareke

3.1. Menetelmät

Rovaniemen lämpösaareketta tutkittiin tässä hankkeessa säämallin avulla. Ilmatieteen laitoksella sääpalvelussa käytetään HARMONIE-AROME-säämallia, jossa paikkaresoluutio on 2,5 km x 2,5 km. Tätä operatiivista säämallia käytetään Rovaniemen lämpösaarekkeen simuloinnissa talven pakkastilanteessa. Säämalli huomioi alustan ominaisuudet, kuten maaston korkeuden, vesistöt, erilaiset kasvustot sekä rakennetun ympäristön.

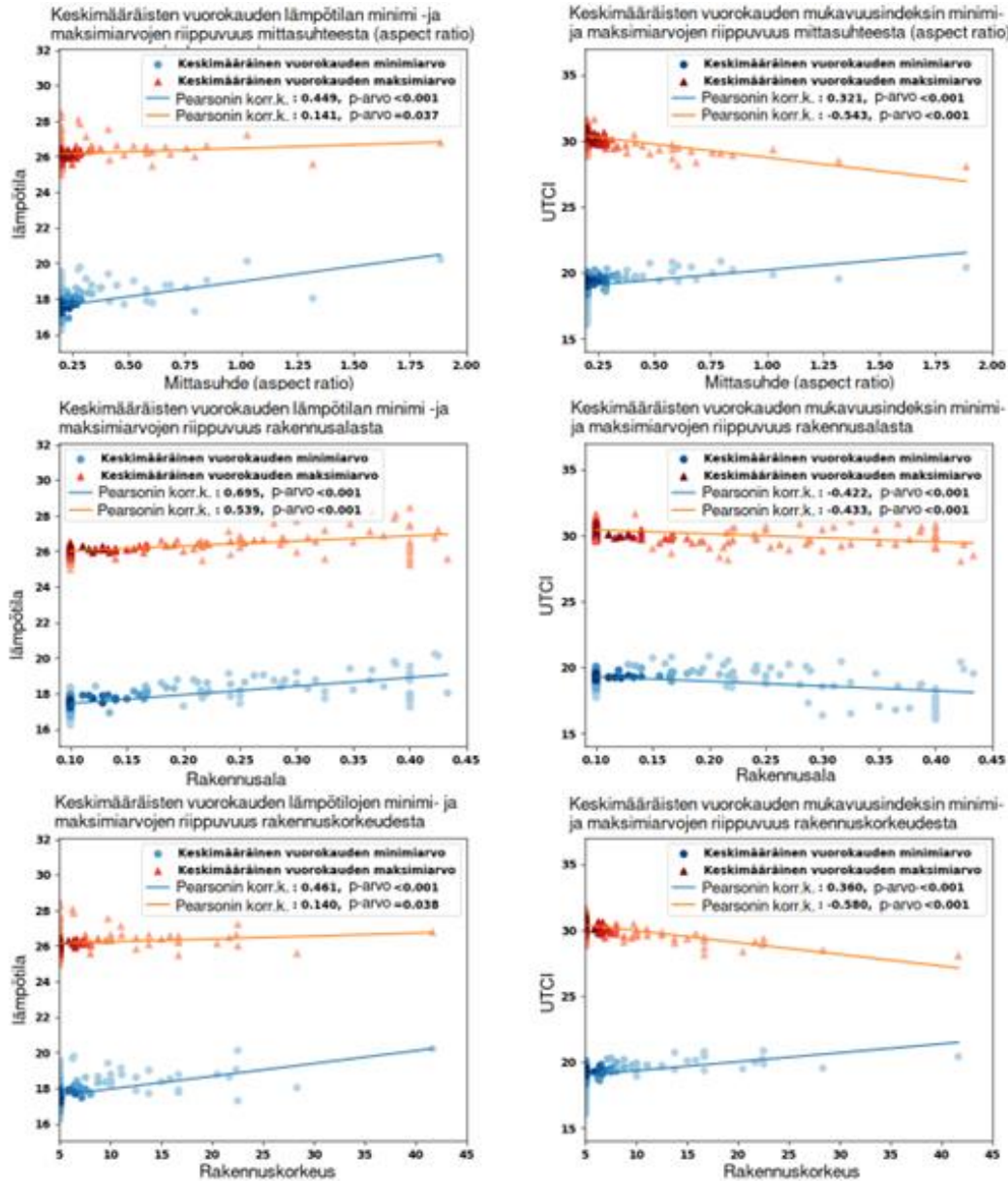
Kesäisiä lämpösaarekesimulointeja varten oli Rovaniemen kaupungin alueelta käytettävissä helleaallon 2018 ajalta dataa myös tarkemmalla paikkaresoluutiolla, 750 m x 750 m. Tässä aineistossa oli saatavilla lämpötilan lisäksi myös ihmisen kokemaa kuumarasitusta kuvaava mukavuusindeksi, UTCI (Universal Thermal Climate Index), jonka arvo riippuu ulkoilman lämpötilasta, kosteudesta, tuulennopeudesta ja säteilytaseesta (auringonsäteilystä ja lämpösäteilystä). Kaupunkialueella arvioitiin rakennettua ympäristön vaikutusta lämpötilaan ja UTCI-arvoihin. Laskennassa huomioituja tekijöitä olivat rakennusala ja keskimääräinen rakennusten korkeus sekä katukuilun mittasuhte (rakennusten korkeuden ja kadun leveyden suhde) kussakin hilaruudussa.

3.2. Lämpösaareke hellepäivänä

Vuoden 2018 helleaallon (15.7.-4.8.) mallinnettujen tulosten perusteella lämpötila kahden metrin korkeudella on keskimäärin sitä suurempi mitä kaupunkimaisempi alue on kyseessä, eli toisin sanoen mitä suurempia arvoja on tutkituilla kaupunkiparametreilla (katukuilun mittasuhte, rakennusten osuus ympäristöstä, rakennusten korkeus) (Kuva 1. a, c, e). Sama ilmiö on havaittavissa sekä vuorokauden korkeimpien että alimpien lämpötilojen kohdalla, tosin rakennusten korkeudella havaitaan vain heikko positiivinen korrelaatio päivän maksimilämpötiloihin.

Mukavuusindeksi (UTCI) käyttäytyy tulosten perusteella eri tavoin kuin lämpötila (Kuva 1 b, d, f). Yöllä UTCI on sitä korkeampi mitä korkeampia taloja on ympäristössä ja mitä suurempi on katukuilun suhde (rakennusten korkeus/ kadun leveys), mutta päivän korkeimpien arvojen kohdalla vaikutus on päinvastainen. Rakennusten osuus ympäristöstä puolestaan näyttäisi laskevan UTCI:n sekä minimi- että maksimi-arvoja. Tämä on päinvastainen ilmiö kuin mitä lämpötilassa nähdään, ja ilmiön taustalla on todennäköisesti kaupunkiparametrien vaikutus tuuleen, kosteuteen ja säteilyyn.

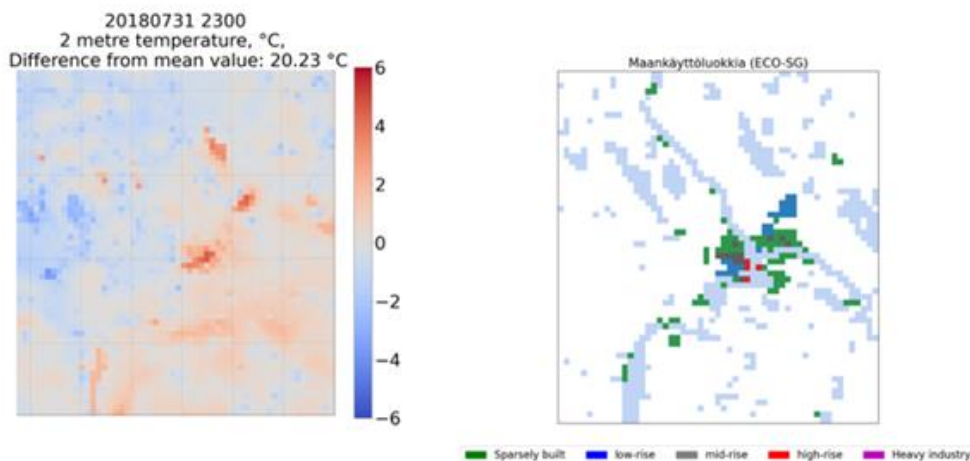
UTCI jäljittelee ihmisen tuntemaa lämpötilarasiitusta ja sen laskemisessa otetaan kaikki nämä säämuuttujat huomioon.



Kuva 1. Rakennetun ympäristön vaikutus lämpötilaan (vasemmalla (a, c, e) ja mukavuusindeksi UTCI:n arvioihin (oikealla (b, c, f) Rovaniemellä helleaallon 2018 aikana säämallisimulaatioiden mukaan. Selittävinä tekijöinä rakennusten osuus ja keskimääräinen riippuvuus sekä katukuilun mittasuhte.

Esitetyt riippuvuudet ovat lähes kaikki tilastollisesti erittäin merkitseviä (p-arvo < 0.001). Ainoastaan maksimilämpötilojen riippuvuutta katukuilun suhteesta (p-arvo 0.053) ja rakennusten korkeudesta (p-arvo 0.056) ei voida pitää tilastollisesti merkitseväenä.

Lämpösaarekeilmiö on voimakkain alueilla, joilla säämallissa on maankäyttöluokka ‘low-rise’ ja erityisesti ‘large lowrise’ eli suuria matalahkoja rakennuksia, joiden ympärille ei ole juuri viheralueita. Säämalli on aikaisemmin antanut samankaltaisia tuloksia esimerkiksi Turusta (Suomi ym., 2024). ‘Large low-rise’ on mallissa käytetyn aineiston perusteella toiseksi yleisin kaupunkimaankäyttöluokka Rovaniemellä ‘sparsely built’ luokan jälkeen. Lämpösaareke on huomattavasti lievempi lähiötyyppisellä, ‘sparsely built’-luokan alueella. Ilmiö on voimakas myös ‘mid-rise’ ja ‘high-rise’ tyyppisillä rakennetuilla alueilla, mutta koska ne eivät ole yleisiä Rovaniemellä ja niiden prosenttiosuus kaupunkiympäristöstä on pieni, ne eivät näy lämpötilakartalla yhtä selvästi.



Kuva 2. Esimerkki säämallilla simuloitujen lämpötilapoikkeaman alueellisesta jakaumasta verrattuna alueen keskilämpötilaan 31.7.2018 (vasen) sekä simuloinnissa käytetyt rakennetun ympäristön ECO-SG maankäyttöluokat (oikea) Rovaniemen alueella. Maankäyttöluokat: sparsely built = harvaan rakennettu, low-rise = matalia, mid-rise = keskikorkeita, high-rise = korkeita rakennuksia, heavy industry = teollisuusalue.

3.3. Lämpösaareke talvipakkasella

Kaupunkirakentamisen vaikutusta talvipakkasiin Rovaniemellä tarkastellaan pakkasjakson 17.1–18.1.2024 aikana, jolloin lämpötila laski Rovaniemen rautatieasemalla hieman alle -30 asteen (Kuva 3).

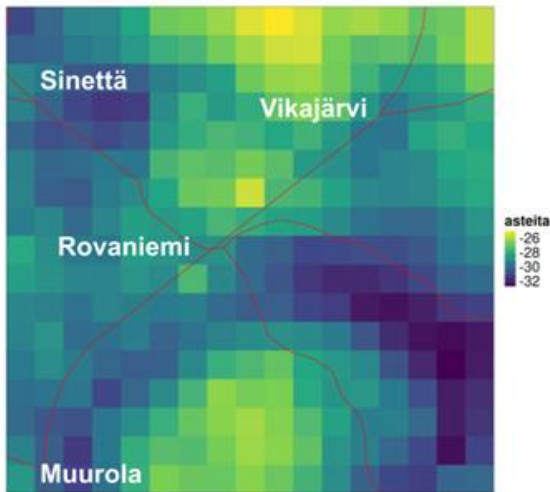
Säämallin antamassa lämpötilan alueellisessa jakaumassa (kuva 4) Rovaniemen kaupungin vaikutus on vaikea erottaa, koska muut tekijät, kuten erityisesti maaston korkeusvaihtelut, hallitsevat lämpötilan vaihteluita. Suhteellisen kylmiä alueita ovat muun muassa Kemijoen laakso (kuva 4, alaosa), kun taas sitä reunustavat ylävämmät maastonkohdat erottuvat ympäristöään lämpimämpinä.

Rakennetun ympäristön vaikutus ilmenee kuitenkin selvästi, kun tarkastellaan ennustetun lämpötilan ja rakentamatonta luontoa vastaavan lämpötilan välistä erotusta (Kuva 5). Taajaman lämmittävä vaikutus ilmenee kaikkialla, missä säämalli näkee taajamaa, ja on tarkastellussa tilanteessa suurimmillaan kolmisen astetta.

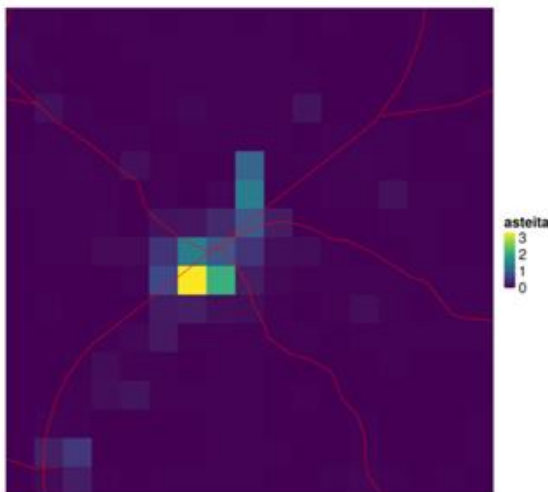
Karkeamman erottelukyvyn (2,5 km x 2,5 km) vuoksi, malli ei kuitenkaan pysty kuvaamaan realistisesti kaupungin sisäisiä lämpötilan vaihteluita, mutta tuloksia voidaan pitää suuntaa-antavina.



Kuva 3. Rovaniemen rautatieasemalla mitattu lämpötila 17.1.2024 - 18.1.2024.



Kuva 4. Säämallin ennustama lämpötila Rovaniemen seudulla 18.1.2024 klo 02 Suomen aikaa. Osa tieverkkoa merkitty punaisiin viivoin.



Kuva 5. Lämpötilan ja rakentamatonta luontoa vastaavan lämpötilan erotus Rovaniemen seudulla säämallin ennusteessa 18.1.2024 klo 02 Suomen aikaa. Osa tieverkkoa merkitty punaisiin viivoin.

4. Ilmastonmuutosskenaarioita Rovaniemelle

4.1. Menetelmät

Tässä luvussa esitettävät tulevaisuuden skenaariot Rovaniemelle perustuvat pääsääntöisesti tuoreimpiin maailmanlaajuisiin CMIP6 mallisukupolven ilmastomalleihin, joista Ruosteenoja ja Jylhä (2021) ovat tuottaneet kansallisen tason SSP-skenaariot Suomeen. Maailmanlaajuisista ilmastomalleista saadaan tietoa kuitenkin vain harvalla paikkaresoluutiolla, joten niistä on tuotettu interpoloimalla tarkemman paikkaresoluution aineistot 10 km x 10 km hilaan (Aalto ym., 2016). Rovaniemelle kohdennetut skenaariot luvuissa 4.2., 4.3., ja 4.5. perustuvat näihin aineistoihin sekä Euroopan laajuiseen 0,25° x 0,25° hilaan (Haylock ym., 2008).

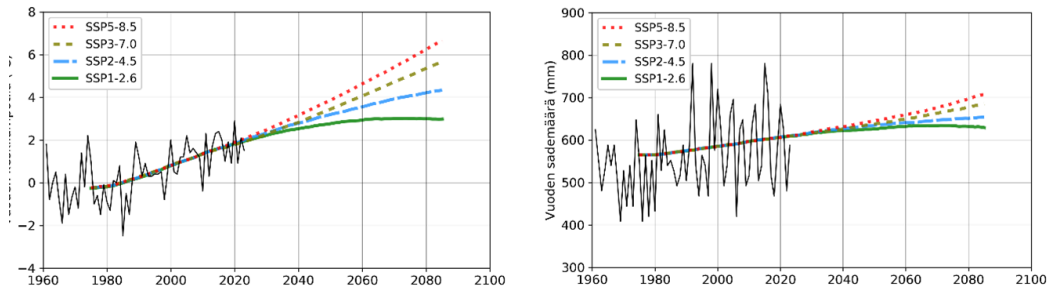
Sadeilmaston muutoksissa (luku 4.4.) tavoitteena oli saada uutta tietoa erityisesti lyhytkestoisista rankoista sateista ja toisaalta pidemmällä jaksolla kertyvistä runsaista sateista. Näissä arvioissa oli tarpeen käyttää muita malliaineistoja: Lyhytkestoisissa rankasateissa käytettiin tarkemman paikkaresoluution (3 km x 3 km) alueellista HARMONIE-Climate-ilmastomallia (HCLIM), joka pystyy simuloimaan maailmanlaajuisia malleja paremmin paikallisia, ukkos- ja kuuropilvistä saatavia sateita (Lind ym. 2023). Pidemmän aikavälin suurimpien sateiden todennäköisyysarvioissa käytettiin ns. CORDEX-aineistoa, josta oli saatavilla tähän tarkoitukseen paremmin soveltuvia harhankorjattuja sadeaineistoja. HCLIM- ja CORDEX-skenaariot pohjautuvat vielä edellisen mallisukupolven (CMIP5) RCP-skenaarioihin. Ilmastonmuutoksen nopeusarvioissa (luku 4.6) käytetään myös RCP-skenaarioiden mukaisia muutosarvoja, jotka on lisätty nykyilmaston tarkan paikkaresoluution alkuarvoihin (Heikkinen ym., 2020).

Menetelmiä kuvataan yksityiskohtaisemmin Lapin ilmasto- ja energiastrategiaa varten laaditussa raportissa (Ruuhela ym., 2025) sekä ELY-keskuksille tuotetussa raportissa sadeskenaarioista Suomessa (Luomaranta ym., 2025).

4.2. Ilmastonmuutosta kuvaavat perustekijät

Rovaniemen vuosikeskilämpötilan nouseva trendi näkyy sekä havainnoista lasketussa aikasarjassa viime vuosikymmeninä että kaikissa neljässä ilmastonmuutosskenaariossa (Kuva 6 a). Vuosisadan lopulla vähäisten päästöjen skenaariossa (SSP1-2.6) lämpötilan nousu kuitenkin tasaantuisi noin 3 °C tasolle. Suurten päästöjen skenaariossa (SSP5-8.5) lämpötilan nousu jatkuisi ja vuosisadan lopulla Rovaniemen vuosikeskilämpötila olisi noin 6,5 °C. Tämänhetkisten arvioiden mukaan maailmanlaajuisten ilmastonmuutoksen hillintätoimien perusteella päädytään todennäköisimmin keskimääräisen päästöjen skenaarioon, mikä tarkoittaisi Rovaniemen vuosilämpötilassa noin 4,5 °C tasoa vuosisadan lopulla.

Sademäärässä luontainen vuosien välinen vaihtelu on suuri. Ilmastonmuutoksen seurauksena vuodessa kertyvä sademäärä kasvaa ollen vuosisadan loppupuolella, skenaariosta riippuen, keskimäärin 650–700 mm (Kuva 6 b). Lapin sadeilmastossa tapahtuvia muutoksia tarkastellaan enemmän seuraavissa luvuissa.



Kuva 6. Vuoden (a) keskilämpötilan ja (b) sademäärän kehitys Rovaniemellä neljässä ilmastonmuutosskenaariossa vuosisadan loppuun asti 30 vuoden liukuvina keskiarvoina. Jaksolla 1961–2023 kuvaajissa on havainnoista lasketujen vuosikeskiarvojen aikasarjat. Tämä tasoittamaton aikasarja havainnollistaa myös ilmaston luontaista vuosien välistä vaihtelua.

Lämpötilan kuukausikeskiarvot ja sademäärät vuosisadan puolivälissä ja lopulla esitetään taulukoissa 3–6 neljässä ilmastonmuutosskenaariossa.

Taulukko 3. Rovaniemen kuukausikeskilämpötilat [°C] neljässä eri ilmastonmuutosskenaariossa vuosisadan puolivälissä (2031–2060) sekä vertailuarvo nykyilmastosta (1991–2020).

	vertailuarvo	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Tammikuu	-11,3	-9,4	-8,8	-8,5	-8,2
Helmikuu	-11,1	-9,4	-9	-8,8	-8,3
Maaliskuu	-6,3	-4,8	-4,5	-4,3	-4,1
Huhtikuu	-0,2	1,2	1,6	1,7	2
Toukokuu	6,3	7,9	8,2	8,2	8,6
Kesäkuu	12,3	13,7	14	14,1	14,4
Heinäkuu	15,4	16,8	17	17,1	17,5
Elokuu	12,7	14,2	14,4	14,5	14,9
Syyskuu	7,4	8,9	9,1	9,1	9,5
Lokakuu	0,6	2,2	2,4	2,5	2,9
Marraskuu	-4,8	-2,9	-2,4	-2,3	-1,7
Joulukuu	-8,4	-6,5	-5,9	-5,7	-5,3

Taulukko 4. Rovaniemen kuukausikeskilämpötilat [°C] neljässä eri ilmastonmuutosskenaariossa vuosisadan lopulla (2071–2000).

	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Tammikuu	-9	-7,2	-5,3	-4,2
Helmikuu	-9,2	-7,6	-5,9	-4,8
Maaliskuu	-4,7	-3,3	-1,8	-1
Huhtikuu	1,6	2,8	4,1	5
Toukokuu	8,3	9,5	10,6	11,5
Kesäkuu	14,2	15,2	16,3	17
Heinäkuu	17,1	18,1	19,3	20,3
Elokuu	14,5	15,6	16,8	17,8
Syyskuu	9,2	10,3	11,4	12,4
Lokakuu	2,6	3,7	4,8	5,8
Marraskuu	-2,6	-0,9	0,4	1,5
Joulukuu	-6,3	-4,4	-2,6	-1,4

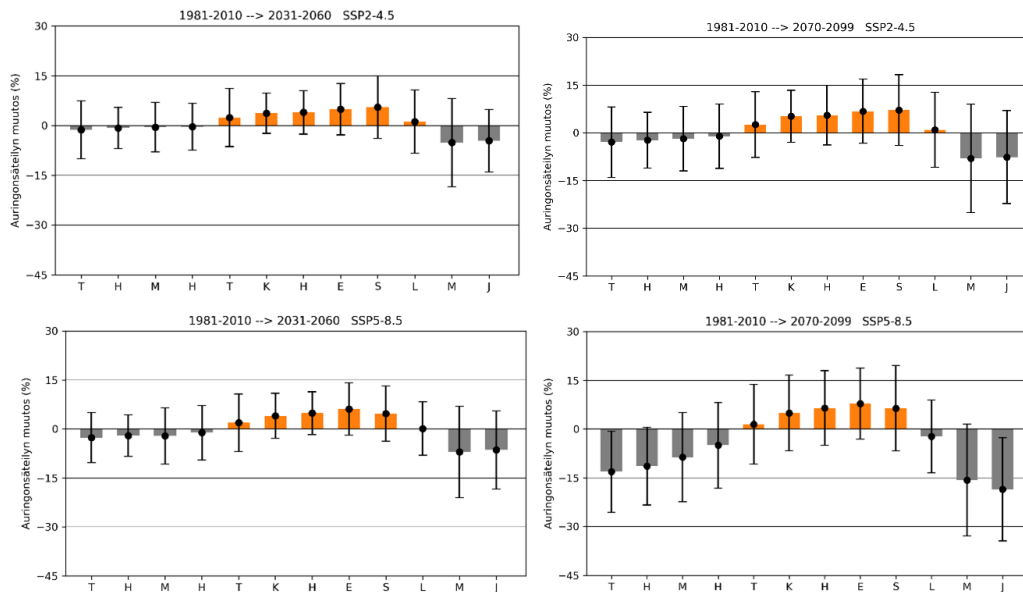
Taulukko 5. Rovaniemen kuukauden sademäärät [mm] neljässä eri ilmastonmuutoskenaariossa vuosisadan puolivälissä (2031–2060) sekä vertailuarvo nykyilmastosta (1991–2020).

	vertailuarvo	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Tammikuu	41	44	46	46	46
Helmikuu	33	35	35	36	36
Maaliskuu	33	34	34	35	35
Huhtikuu	31	34	34	34	35
Toukokuu	44	47	49	48	49
Kesäkuu	62	65	65	65	65
Heinäkuu	77	80	81	80	80
Elokuu	63	66	65	66	65
Syyskuu	56	61	59	59	61
Lokakuu	52	56	56	58	58
Marraskuu	51	54	56	56	56
Joulukuu	46	49	51	51	52

Taulukko 6. Rovaniemen kuukauden sademäärät [mm] neljässä eri ilmastonmuutoskenaariossa vuosisadan lopulla (2071–2000).

	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Tammikuu	45	47	52	54
Helmikuu	35	36	40	42
Maaliskuu	34	35	38	39
Huhtikuu	34	35	37	39
Toukokuu	49	52	53	55
Kesäkuu	66	67	68	68
Heinäkuu	82	83	83	82
Elokuu	65	67	68	68
Syyskuu	59	60	63	65
Lokakuu	56	59	63	66
Marraskuu	55	59	64	67
Joulukuu	49	53	59	62

Pilvisyyden muutosten mallintamiseen liittyvien epävarmuuksien vuoksi tässä esitetään maanpinnalle tulevan auringonsäteilyn muutosten skenaariot, jotka edustavat laajemmin Etelä-Lappia. Auringonsäteily lisääntyy kesäpuolella vuotta ja vähenee marras-joulukuussa nykyisistä arvoista. Alkuvuoden kuukausina auringonsäteilyn määrä pysynee suunnilleen samana nykyiseen verrattuna, mutta suurten päästöjen skenaarioissa auringonsäteily vähenee selvästi vuosisadan lopulla myös alkuvuoden kuukausina (Kuva 7).



Kuva 7. Auringonsäteilyssä tapahtuvat muutoksia Etelä-Lapissa kuukausittain verrattuna kauteen 1980–2010 keskimääräisten (ylärivi) ja suurten (alarivi) päästöjen skenaarioissa. Vasemmalla muutokset vuosisadan puoliväliin ja oikealla muutokset vuosisadan loppuun mennessä. Nolla-viivan yläpuolella näkyvät pylväät kuvaavat auringonsäteilyn lisääntymistä ja alapuolella auringonsäteilyn vähenemistä. Pystyjanat kuvaavat arvioihin liittyvää epävarmuutta.

4.3. Muuttuvat talvet

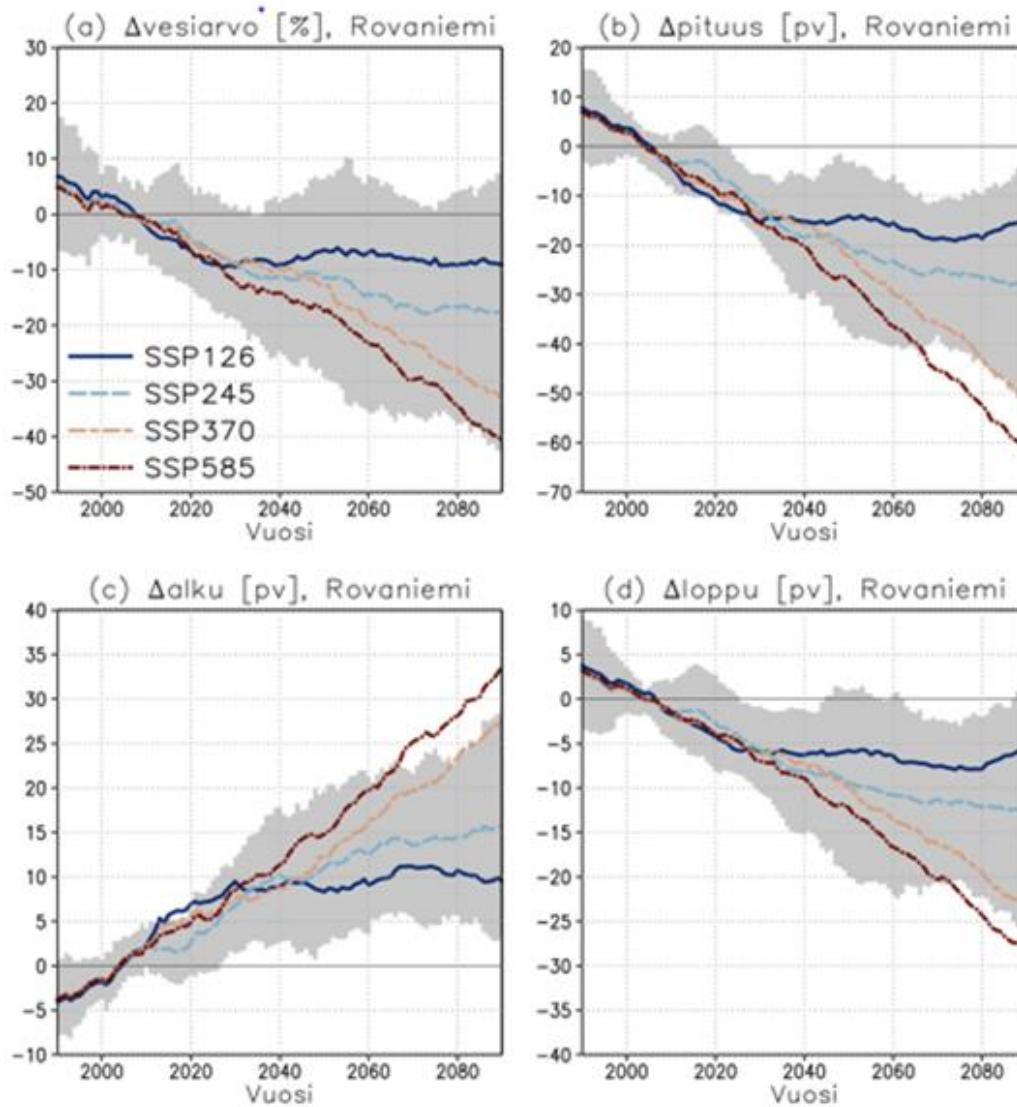
4.3.1. Lumipeite

Lumipeitteen osalta tutkittiin talven suurimman lumen vesiarvon (eli lumikuorman) ja yhtenäisen lumikauden pituuden, alku- ja loppuajankohdan muutosta kolmentoista CMIP6-ilmastomallin perusteella. Muutokset määriteltiin eroina normaalikauteen 1991–2020. Tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä ja tuloksia koko Pohjois-Euroopan alueelle tarkastellaan artikkelissa Räisänen ym. (2025)

Ilmastomallitulosten perusteella lumi vähenee ilmaston lämmitessä: maksimivesiarvo pienenee, lumikausi lyhenee, ja sen alku siirtyy myöhemmäksi ja loppu aikaistuu (kuva 8). Muutokset ovat sitä suurempia, mitä enemmän ilmakehän kasvihuonekaasut lisääntyvät. Esimerkiksi SSP2-4.5-skenaariolle lumen maksimivesiarvon ennakoidaan olevan vuosisadan lopulla (2081–2100) todennäköisimmin noin 15–20 % pienempi kuin vertailujaksolla 1991–2020. SSP1-2.6-skenaariolle muutos jää noin 10 %:iin mutta SSP5-8.5:lle se on jopa 40 %. Vastaavasti lumikausi lyhenee SSP2-4.5-skenaariossa todennäköisimmin noin 25–30 päivällä vertailujaksoon 1991–2020 verrattuna, SSP1-2.6:ssa noin 15 päivällä ja SSP5-8.5:ssa noin kahdella kuukaudella. Hieman yli puolet lumikauden lyhentymisestä selittyy lumikauden alun myöhästymisellä; lumikauden loppu siirtyy hiukan vähemmän kuin sen alku.

Kuvassa 8 nollakohtana käytetty normaalikausi 1991–2020 on ilmaston lämpenemisen takia väistämättä "jäljessä"; toisin sanoen se edustaa paremmin lähimenneisyyttä (vuosi 2005) kuin nykyaikaa. Nykyaikaan (2025) verrattuna muutokset jäävät hieman pienemmiksi.

Lumikauden muutoksiin liittyy huomattavaa epävarmuutta kolmesta syystä. Ensimmäinen syy on skenaarioepävarmuus: päästöjen kehitys tulevaisuudessa ei ole vielä tiedossa. Toiseksi, ilmastomallien välillä on eroja, ja kolmanneksi, ilmaston luonnollista vaihtelua ei pystytä ennustamaan pitkällä aikavälillä. Kahden viimeksi mainitun tekijän yhteisvaikutusta havainnollistaa kuvan 8 harmaa varjostus, joka esittää 5–95 %:n epävarmuusväliä skenaariolle SSP2-4.5. Esimerkiksi lumikauden lyheneminen vuosisadan loppuun mennessä voi olla SSP2-4.5-skenaariolle viidestä päivästä jopa viiteenkymmeneen päivään. Lumen maksimivesiarvo voi vähentyä jopa 40 %, mutta toisaalta on mahdollista, että vesiarvo pysyy kauden 1991–2020 tasolla tai jopa hiukan sen yläpuolella.

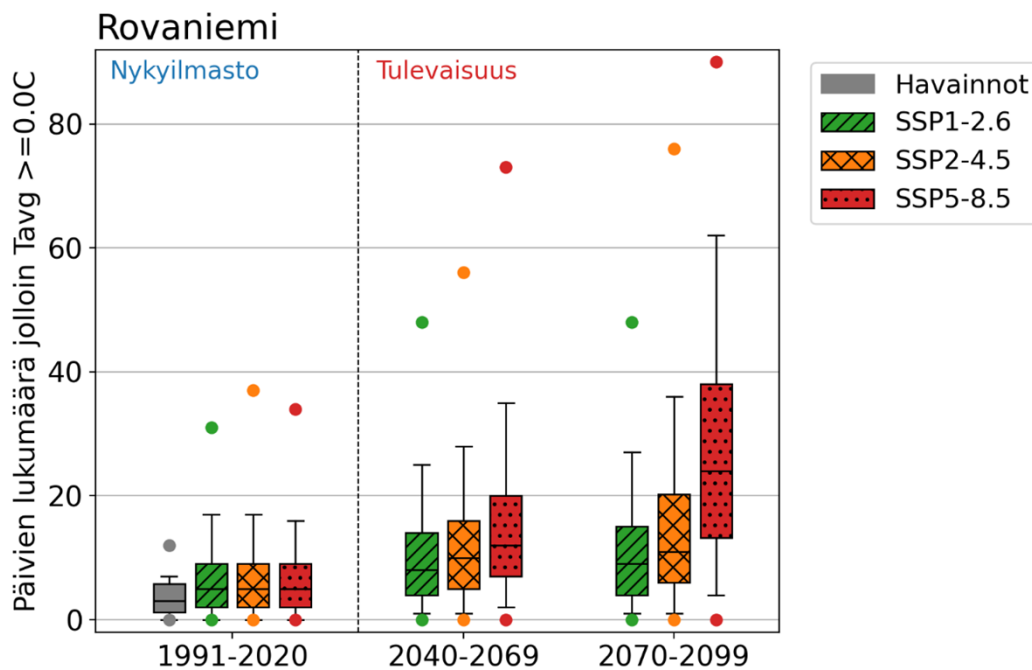


Kuva 8. Lumikauden muutokset Rovaniemelle CMIP6-ilmastomallien perusteella vertailukauteen 1991–2020 verrattuna (20 vuoden liukuvat keskiarvot). (a) Lumen suurimman vesiarvon muutos prosentteina. (b) Yhtenäisen lumikauden pituuden muutos; (c) lumikauden alun muutos ja (d) lumikauden lopun muutos (päivinä). Käyrät esittävät parasta arviota skenaarioille SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 ja SSP5-8.5 ja varjostus 5–95 %:n epävarmuusväliä SSP2-4.5-skenaariolle.

4.3.2. Talviset vesisateet ja suojasäät

Ilmaston lämpeneminen näkyy talvien lauhtumisena ja suojapäivät, jolloin lämpötila on ainakin osan päivää nollan yläpuolella, yleistyvät keskitalvella myös Rovaniemellä. Tässä hankkeessa tuotettiin skenaariot niiden päivien määrälle, jolloin vuorokauden

keskilämpötila on vähintään tai korkeampi kuin 0 °C keskitalven kuukausina, jouluhelmikuussa. Lukumäärissä ennustetaan olevan nousua, mutta 2050-luvulle asti nousu on vielä maltillista. Vuosisadan lopulla pienten ja keskimääräisten päästöjen skenaariossa suoja päivien määrä olisi useimpina talvina vielä alle 20, mutta suurten päästöjen tapauksessa selvästi enemmän (Kuva 9). On mahdollista, että ilmastomallit hieman yliarvioivat suoja päivien määrää. Tätä osoittaa se, että havaintojen perusteella nykyilmastossa suoja päiviä on hieman vähemmän kuin ilmastomallit antavat lähtötilanteessa.

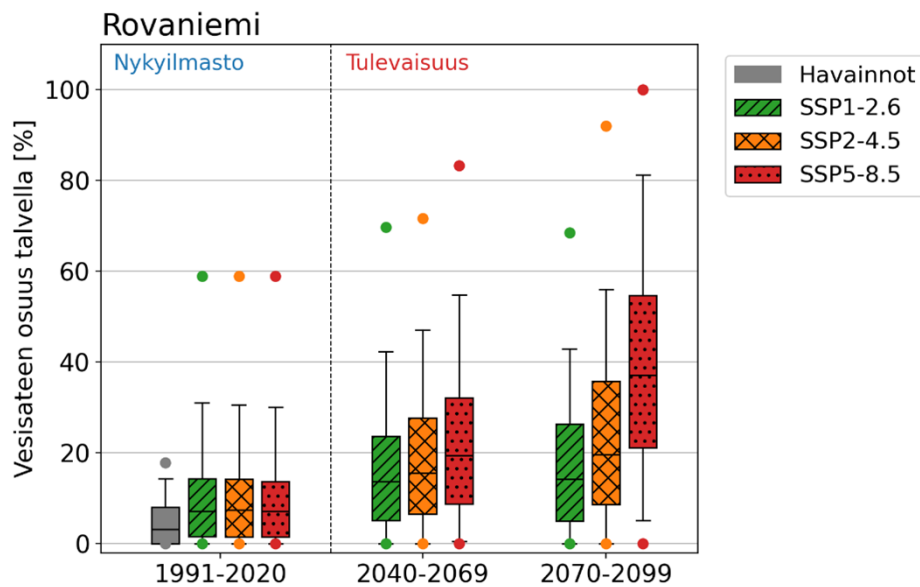


Kuva 9. Suoja päivien, jolloin vuorokauden keskilämpötila ylittää tai on vähintään 0 °C, määrä Rovaniemellä jouluhelmikuussa nykyilmastossa sekä vuosisadan puolivälissä (2040–2069) ja lopulla (2070–2099) pienten (SSP1-2.6), keskimääräisten (SSP2-4.5) sekä suurten (SSP5-8.5) päästöjen skenaarioissa. Box-plot esitysmuodossa palkit kuvaavat ilmastomallien perusteella arvoitua vaihteluväliä. Todennäköisin arvo on paksun palkin keskiviiva, paksu palkki 25–75 %:n ja janojen päät 5–95 %:n vaihteluväliä sekä pallukat pienintä ja suurinta arvoa.

Talvien lauhtuminen lisää myös vesisateiden todennäköisyyttä keskellä talvea. Tässä hankkeessa arvioimme vesisateen osuuden kasvua keskitalven sademäärästä Rovaniemellä. Ilmastomallit eivät suoraan anna sateen olomuotoa, vaan sateen olomuoto päätellään lämpötilan perusteella. Kun vuorokauden keskilämpötila on vähintään +0,5 °C, sade on vettä, muutoin lunta.

Rovaniemen nykyilmastossa vain noin kolme prosenttia keskitalven sademäärästä tulee vetenä, mutta osuus kasvaa vähitellen ja vuosisadan lopulla vesisateen osuus jouluihelmikuussa kertyvästä sateesta on jo 20 %:n luokkaa, suurten päästöjen skenaariossa tätäkin suurempi (Kuva 10).

Täytyy kuitenkin muistaa, että sateen olomuodon määrittely tällä menetelmällä on hyvin karkea yleistys. Esimerkiksi, vaikka vuorokauden keskilämpötila olisi yli +0,5 °C, voi sateita tulla lumena, jos lauhtuminen alkaa vasta sateen jälkeen. Toisaalta myös pakkasella voi esiintyä vesisadetta, kuten jäätävää tihkua. Joka tapauksessa, ilmaston lämmetessä vesisateet yleistyvät talvella, vaikka niiden tarkkaa osuutta on vaikea määrittää pelkästään vuorokauden keskilämpötilan perusteella.



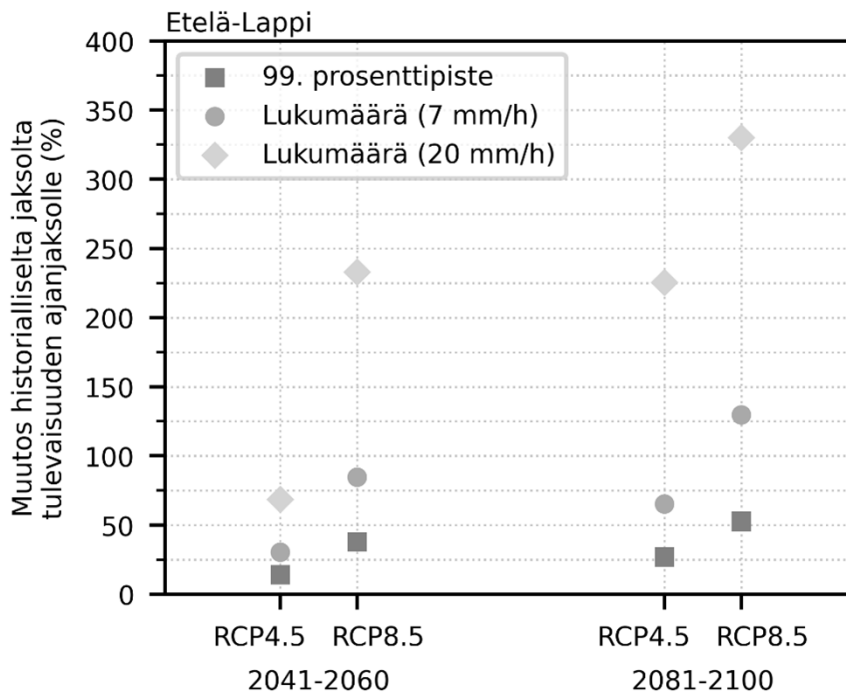
Kuva 10. Vesisateen osuus sademäärästä keskitalvella eli jouluihelmikuussa Rovaniemellä nykyilmastossa sekä vuosisadan puolivälissä (2040–2069) ja lopulla (2070–2099) pienten (SSP1-2.6), keskimääräisten (SSP2-4.5) sekä suurten (SSP5-8.5) päästöjen skenaarioissa. Box-plot esitysmuodossa palkit kuvaavat ilmastomallien perusteella arvoitua vaihteluväliä. Todennäköisin arvo on paksun palkin keskiviiva, paksu palkki 25–75 %:n ja janojen päät 5–95 %:n vaihteluväliä sekä pallukat pienintä ja suurinta arvoa.

4.4. Sateiden määrä ja intensiteetti kasvaa

Useilla toimialoilla on tarpeen varautua sekä sateiden intensiteetissä että sademäärässä eri pituisilla jaksoilla tapahtuviin muutoksiin, suurimmat riskit liittyvät harvemmin toistuviin ääritilanteisiin. Tässä luvussa runsaissa sateissa ennakoitavia muutoksia tarkastellaan kahdella eri menetelmällä meteorologisista syistä.

Lyhytkestoisten rankkasateiden skenaariot kuvaavat käytännössä kesäisten ukkos- ja sadekuuroissa tapahtuvia muutoksia, joita tarvitaan erityisesti kaupungin taajama-alueen hulevesiriskien arvioinnissa. Pidemmällä aikavälillä – viikoista kuukausiin – kertyviin runsaisiin sateisiin sisältyvät myös laajat sadealueet, joista sadetta kertyy tasaisemmin ja pidempään kuin lyhytkestoisista sadekuuroista.

4.4.1. Lyhytkestoiset rankkasateet



Kuva 11. Sateisten tuntien (sademäärä yli 0.1 mm/h) sademäärän 99. prosenttipistearvon sekä 7 mm/h ja 20 mm/h ylittävien tuntien lukumäärän suhteellinen muutos Etelä-Lapissa historialliselta jaksolta kahdelle tulevaisuuden ajanjaksolle siirryttäessä touko-syyskuussa. Tulokset pohjautuvat HCLIM-ilmastomallin tuloksiin ja RCP4.5- ja RCP8.5-kasvihuonekaasujen päästöskenaarioihin.

Kesän (touko-syyskuu) lyhytkestoisten rankkasateiden muutoksia tutkittiin HCLIM-ilmastomallin avulla. Rankkasateiden muutoksia tarkasteltiin koko Etelä-Lapin kattavalla alueella, sillä lyhytkestoisten rankkasateiden paikallisuuden ja satunnaisuuden vuoksi tarkastelun rajoittaminen vain Rovaniemen alueelle ei tuottaisi käyttökelpoista tietoa.

HCLIM-aineistosta laskettiin sateisten tuntien (sademäärä yli 0.1 mm/h) sateen voimakkuuden 99. prosenttipiste, sekä 7 mm/h (rankat sateet) ja 20 mm/h (hyvin rankat sateet) ylittävien tuntien lukumäärä historiallisella (1986–2005) ja kahdella tulevaisuuden ajanjaksolla: vuosisadan puolivälissä (2041–2060 ja lopulla (2081–2100). Kuvassa 11 esitetään näiden arvojen suhteellinen muutos historialliseen jaksoon verrattuna keskimääräisten (RCP4.5) ja suurten (RCP8.5) kasvihuonekaasujen päästöskenaarioissa.

HCLIM-ilmastomallin mukaan rankimmat lyhytkestoiset sateet voimistuisivat ja yleistyisivät Etelä-Lapissa RCP4.5-skenaarion mukaan jo vuosisadan puoliväliin mennessä, mutta kasvu olisi suurempaa vuosisadan loppupuolella ja RCP8.5-skenaariossa (Kuva 11). Hyvin rankkojen sateiden lukumäärä kasvaisi suhteessa enemmän kuin rankkojen sateiden lukumäärä, tosin hyvin voimakkaat rankkasateet olisivat tulevaisuudenkin ilmastossa paljon epätodennäköisempiä kuin rankat sateet. On hyvä huomata, että rankkasateiden lukumäärän kasvu ei välttämättä tarkoita, että yksittäisten sadejärjestelmien lukumäärä kasvaa, vaan rankkoja sateita voi esiintyä laajemmalla alueella.

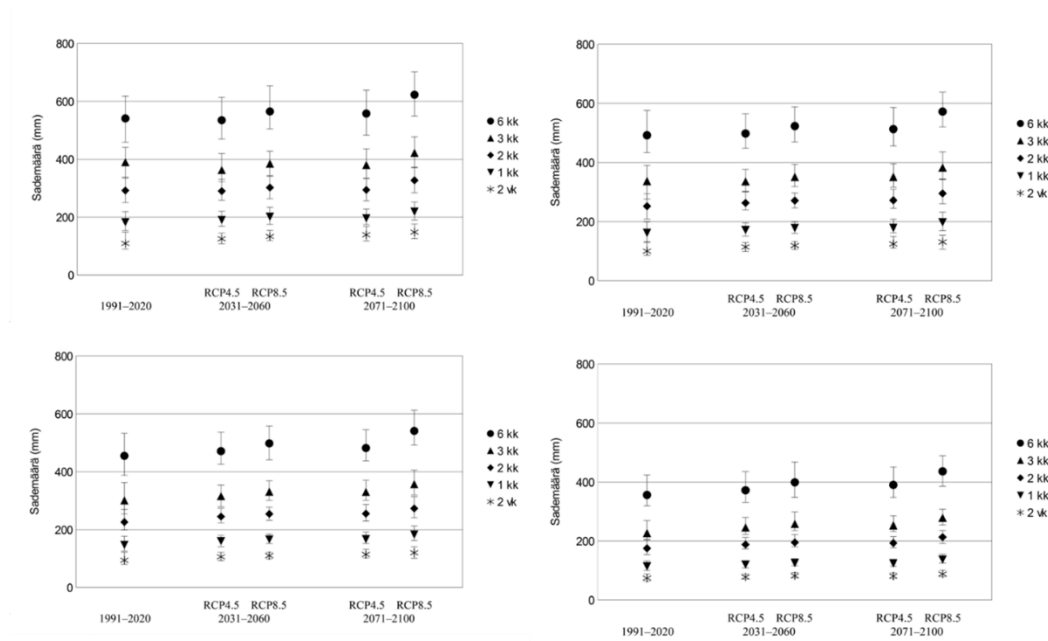
Muutoksen tasossa on kuitenkin epävarmuutta, sillä arviot perustuvat vain yhden alueellisen ilmastomallin tuloksiin. Kesäiset rankkasateet ovat usein hyvin pienialaisia ja lyhytkestoisia, niiden sijainti sattumanvarainen ja niissä on suurta alueellista vaihtelua. Muutokselle esitetty taso ei siis kuvasta muutosta kaikkialla, vaan yksittäisessä paikassa sateiden voimakkuuden tai lukumäärän muutos voi olla suurempaa tai pienempää tai ne voivat jopa laskea. Satunnaisuudesta johtuva epävarmuus korostuu mitä rankemmista ja täten harvinaisemmista sateista puhutaan.

4.4.2. Runsaat sateet pidemmällä jaksolla

Suurissa sademäärissä ennakoitavia muutoksia tarkasteltiin myös pidemmällä aikavälillä: 2 viikkoa, 1 kuukausi, 2 kuukautta, 3 kuukautta ja 6 kuukautta. Koska lämpimänä vuodenaikana sademäärät ovat suurempia kuin kylmänä, tämä tarkastelu rajattiin touko-lokakuuhun. Analyysissä laskettiin sademäärän 50, 90, 95 sekä 99 %:n prosenttipisteet nykyilmastossa sekä vuosisadan puolivälissä (2031–2060) ja lopulla (2071–2000) keskimääräisten ja suurten päästöjen skenaarioissa. Sademääriä valitulla

aikavälillä voidaan pitää runsaina, kun ne ylittävät sademäärä jakauman 90 %:n prosenttipisteen.

Analyyysi osoittaa, että keskimääräisten päästöjen tapauksessa sademäärä kasvaa maltillisesti myös äärevimpien (95. ja 99. prosenttipisteet) tapauksessa vielä vuosisadan lopullakin Etelä-Lapissa. Sen sijaan suurten päästöjen skenaarioissa runsaimmat sademäärät kasvavat selvästi enemmän, varsinkin vuosisadan loppuun mennessä (Kuva 12).



Kuva 12. Sademäärät sadejakaumien prosenttipisteissä: a) 99, b) 95, c) 90 sekä d) 50 % vuosisadan puolivälissä (2031–2060) ja lopulla (2071–2100) keskimääräisten (RCP4.5) ja suuren (RCP8.5) kasvihuonekaasupäästöjen skenaarioissa. Janat kuvaavat sademäärän alueellista vaihtelua Etelä-Lapin sisällä

4.5. Rakennusten lämmitys- ja jäähdytystarve

Lämmitystarveluku kuvaa rakennusten lämmitystarvetta ja jäähdytystarveluku rakennusten viilennystarvetta ulkoilman lämpötilan vaihtelun mukaan.

Lämmitystarveluku saadaan laskemalla yhteen päivittäisten sisä- ja ulkolämpötilojen erotus. Laskennassa oletetaan sisälämpötilaksi +17 °C ja erotus lasketaan sen ja ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvon erotuksena. Lämmitystarveluvun laskennassa ei oteta huomioon päiviä, joiden keskilämpötila on vuoden alkupuoliskolla (aikavälillä 1.1.-30.6.) yli +10 °C ja vuoden loppupuoliskolla (aikavälillä 1.7.-31.12.) yli +12 °C. Laskentatavassa siis oletetaan, että kiinteistöjen lämmitys lopetetaan ja aloitetaan päivittäin ulkolämpötilan ylittäessä tai alittaessa mainitut rajat. (<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>). Jäähdytystarveluku lasketaan vastaavasti kesäkaudelta vuorokauden keskilämpötilan ja sisälämpötilan, +17 °C, erotuksesta, kun ulkoilman vuorokauden keskilämpötila ylittää +18 °C.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset lämmitys- ja jäähdytystarvelukuihin Rovaniemellä esitetään tässä kahdessa eri skenaariossa eli keskimääräisten päästöjen (SSP2-4.5) ja suurten päästöjen (SSP5-8.5) skenaarioissa vuosisadan puolivälissä ja lopulla 30-vuoden keskiarvoina (Taulukot 7 ja 8). Laajemmin Suomen alueelta vastaavia tuloksia on esitelty artikkelissa Pirinen ym., 2024.

Rovaniemen kaupunki on suuri pinta-alaltaan, joten muutokset lämmitys- ja jäähdytystarveluissa on tuotettu sekä koko kaupungin alueen että taajama-alueen keskiarvoina. Vaikka taajama-alue näyttäytyy tässä analyysissä lämpimämpänä kuin koko kaupungin alue keskimäärin, on todennäköistä, että Rovaniemen lämpösaarekkeen vaikutus on aliarvio todelliseen verrattuna. Tulevaa kaupunkikehitystä ei myöskään ole voitu ottaa näissä laskemissa huomioon.

Rakennusten lämmitystarve pienenee huomattavasti ilmastonmuutoksen edetessä. Rovaniemen taajamassa lämmitystarveluku pienenee nykyilmaston arvosta, noin 5500 °Cvrk vuosisadan loppuun mennessä arvoon noin 4400 °Cvrk keskimääräisten päästöjen skenaariossa ja arvoon noin 3700 °Cvrk suurten päästöjen skenaariossa.

Taulukko 7. Lämmitystarveluku Rovaniemen kaupungissa kahdessa eri ilmastonmuutosskenaariossa nykyisessä ilmastossa (1991–2020) sekä vuosisadan puolivälissä (2031–2060) ja lopulla (2071–2100).

Rovaniemi, koko kaupunki	1991–2020	2031–2060	2071–2100
SSP2-4.5	5711	5106	4587
SSP5-8.5	5729	4944	3847
Rovaniemi, taajama			
SSP2-4.5	5541	4944	4434
SSP5-8.5	5561	4786	3704

Rakennusten jäädytystarve nykyisessä ilmastossa on vähäinen Rovaniemellä ja tulee olemaan ilmaston lämmitessäkin pieni lämmitystarpeeseen verrattuna. Siitä huolimatta on tarpeellista tunnistaa, että jäädytystarpeen kasvuun on myös syytä varautua rakennetussa ympäristössä.

Taulukko 8. Jäädytystarveluku Rovaniemen kaupungissa kahdessa eri ilmastonmuutosskenaariossa nykyisessä ilmastossa (1991–2020) sekä vuosisadan puolivälissä (2031–2060) ja lopulla (2071–2100).

Rovaniemi, koko kaupunki	1991–2020	2031–2060	2071–2100
SSP2-4.5	21	44	92
SSP5-8.5	23	64	207
Rovaniemi, taajama			
SSP2-4.5	24	51	105
SSP5-8.5	27	73	228

Liitteessä esitetään karttoina Lapin alueen lämmitys- ja jäädytystarvelukujen skenaarioita.

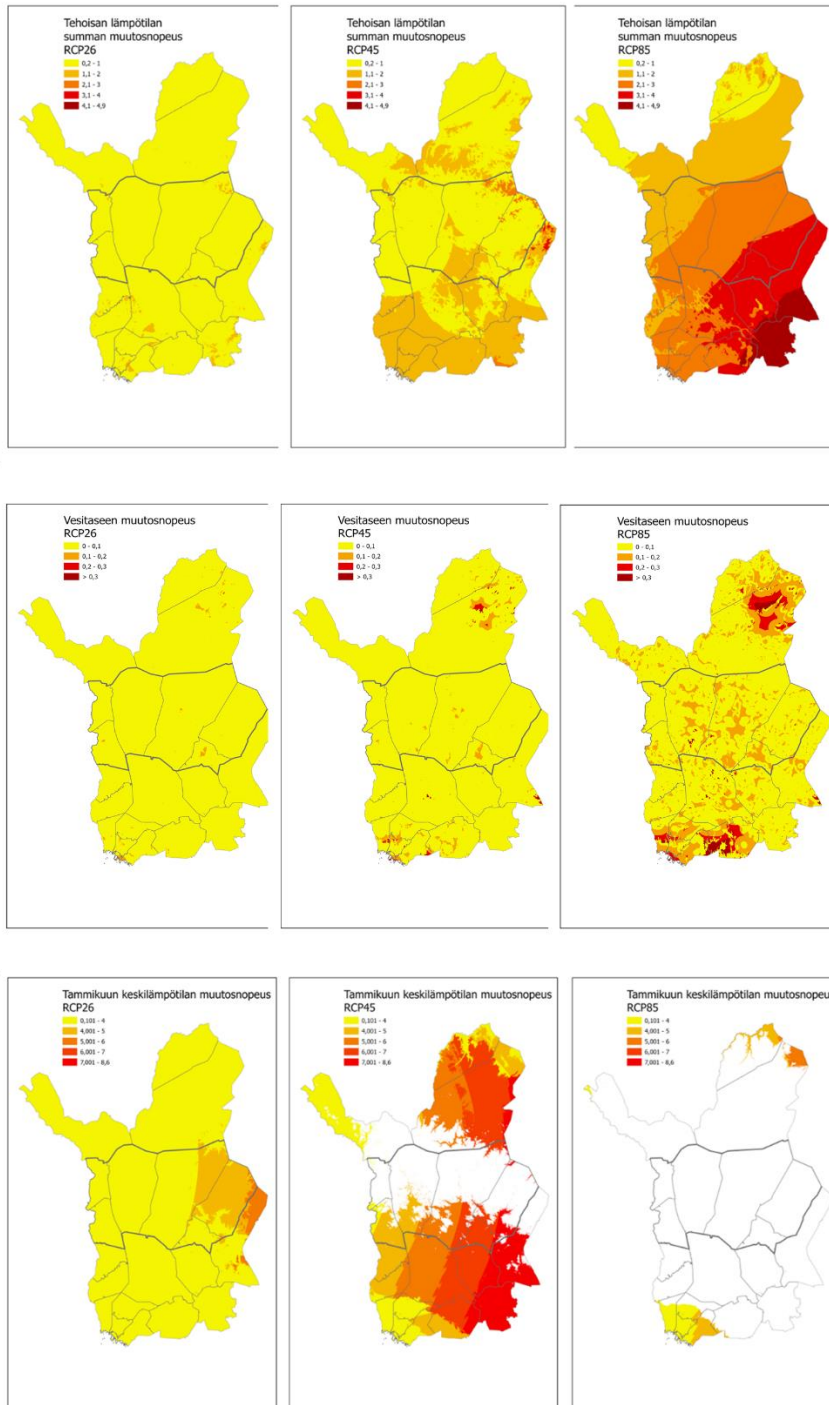
4.6. Ilmastonmuutoksen nopeustasot

Ilmastonmuutoksen nopeustasojen avulla pyritään konkretisoimaan sitä, miten nopeasti ilmasto muuttuu tietyssä paikassa. Menetelmällä haetaan eri ilmastonmuutosskenaarioissa lähin sijainti, jossa vallitsee vuosisadan lopulla (ilmastomalleihin perustuen) keskimäärin vastaavat olosuhteet kuin tarkasteltavassa pisteessä nykyilmastossa (Heikkinen ym., 2020). Muutosnopeus saadaan näiden kahden pisteen välisen etäisyyden ja kuluneen ajan suhteena (km/vuosi). Tässä yhteydessä muutosnopeuksia Rovaniemellä tarkastellaan erikseen kolmen bioilmastollisen indikaattorin avulla. Nämä ovat kasvukauden tehoisa lämpösumma, vesitase ja tammikuun keskilämpötila (Taulukko 9). Tutkimuksessa tarkastelut on tuotettu hyvin tarkalla, 50 x 50 m alueellisella erotuskyvyllä.

Kasvukauden tehoisa lämpösumman muutosnopeus Rovaniemellä on 5–30 km/vuosikymmenessä ilmastonmuutosskenaariosta riippuen (Taulukko 9, Kuva 13). Sateisuudessa tapahtuvat muutokset ovat suhteessa pienempiä kuin lämpötilassa ja lisäksi sateissa on suurta ajallista ja paikallista vaihtelua. Niinpä vesitaseen muutosnopeus Rovaniemellä on tarkastelun perusteella pieni. Lapissa tammikuun lämpöolot muuttuvat nopeasti, kymmeniä kilometrejä vuosikymmenessä. Suurten päästöjen skenaariossa (RCP8.5) Rovaniemen nykyistä tammikuun keskilämpötilaa vastaavia olosuhteita ei löydy vuosisadan lopulla enää laskenta-alueelta, eikä muutosnopeutta pystytä laskemaan (valkoiset alueet kartoilla). Laskenta-alueena tässä analyysissä oli Suomen lisäksi Ruotsin ja Norjan pohjoisosat sekä Pohjois-Venäjän lähialueita (Heikkinen ym., 2020).

Taulukko 9. Kasvukauden tehoisan lämpösumman, vesitaseen ja tammikuun keskilämpötilan muutosnopeus [km/ 10 v] Rovaniemellä pienten (RCP2.6), keskimääräisten (RCP4.5) ja suurten (RCP8.5) päästöjen skenaarioissa.

	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
Kasvukauden lämpösumma	5,7	10	28,3
Vesitase	0	0,1	0,3
Tammikuun keskilämpötila	14	57,6	Ei vastaavuutta



Kuva 13. Ilmastomuutosnopeus kolmessa Lapissa pienten (RCP2.6), keskimääräisten (RCP4.5) ja suurten (RCP8.5) päästöjen skenaarioissa. Ylärivissä tehoisa lämpösomma, keskellä vesitase ja alarivissä tammikuun keskilämpötila.

5. Johtopäätöksiä

Raportissa esitettyä, Rovaniemelle kohdennettua ilmastotietoa tuotettiin erityisesti Rovaniemen strategisen yleiskaavan 2050 prosessia varten, mutta tietoa voidaan hyödyntää myös muilla toimialoilla pidemmän aikavälin suunnittelussa. Rovaniemi on maantieteellisesti suuri kaupunki, minkä vuoksi ilmastotietoja tuotettiin myös luontovaikutuksia huomioiden.

Havaitusta ilmastosta Rovaniemelle lasketut bioilmaston indikaattorit osoittavat, että ilmastonmuutos etenee laajamittaisesti. Muutokset ovat selkeitä erityisesti lämpötilaan liittyvissä indikaattoreissa, mutta ne tulevat esiin myös sateisuuteen sekä lumeen liittyvissä indikaattoreissa.

Rovaniemen nykyinen kaupunkirakenne aiheuttaa lämpösaarekeilmiötä eli nostaa lämpötiloja kaupungin keskustan alueella vuoden ympäri. Tämä näkyy lämpösaarekkeen simuloinneissa, joita toteutettiin sekä kesäisen helleaallon että talvisen pakkasjakson tilanteissa nykyilmastossa ja nykyisessä kaupunkirakenteessa. Tässä yhteydessä ei ollut mahdollisuuksia arvioida tulevan kaupunkikehityksen vaikutuksia lämpösaarekkeen voimakkuuteen.

Vuoden 2025 aikana Rovaniemellä asennetaan ns. TAPSI-kaupunki-ilmaston mittausverkosto. Tämä tulee mahdollistamaan tarkemman kaupunki-ilmaston seurannan. Pidemmällä aikavälillä kertyvän mittausaineiston avulla voidaan havainnoida ilmastonmuutoksen ja kaupunkikehityksen yhteisvaikutusta Rovaniemen keskustan ilmastoon.

Ilmastonmuutos tulee Rovaniemellä näkymään lämpötilojen kohoamisena, etenkin talvien lauhtumisena, mikä johtaa suojapäivien yleistymiseen myös keskitalvella. Samalla vesisateen osuus talven kokonaissademäärästä kasvaa. Lumikauden pituus lyhenee ja suurimmat lumikuormat todennäköisesti pienenevät, mutta lumen määrä vaihtelee jatkossakin huomattavasti talvesta toiseen. Kesäisten lyhytkestoisten sateiden ennakoitaan voimistuvan ja yleistyvän. Myös pidemmällä aikavälillä – viikoista kuukausiin – kertyvän sademäärän ennakoitaan kasvavan. Muutosten suuruus vuosisadan lopulla riippuu ensisijaisesti maailmanlaajuisten kasvihuonekaasujen päästöistä.

Nämä muutokset vaikuttavat kaupungin rakennettuun ympäristöön monin tavoin ja ilmastonmuutos kasvattaa riskejä, jotka liittyvät mm. vesien hallintaan, liukkauteen ja kuumarasitukseen. Ilmastonmuutos on otettava huomioon myös viher- ja

vesialueiden hoidossa. Lämpenevästä ilmastosta on kuitenkin myös hyötyjä, kuten vähenevä rakennusten lämmitystarve. Toisaalta myös Rovaniemellä on tarpeen pohtia, missä määrin rakennuksissa tulee jatkossa varautua jäähdytystarpeeseen. Ilmastonmuutoksen nopeustasot ovat tärkeää tietoa erityisesti Lapin luonnon monimuotoisuuden suojelun kannalta. Ilmastoriskeihin varautuminen ja ilmastonmuutokseen sopeutuminen onnistuvat paremmin, mikäli suurimpien muutosten skenaariot eivät toteudu.

Viitteet

- Aalto, J., P. Pirinen, and K. Jylhä (2016), New gridded daily climatology of Finland: Permutation-based uncertainty estimates and temporal trends in climate, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 3807–3823, doi:[10.1002/2015JD024651](https://doi.org/10.1002/2015JD024651)
- Aalto, J., Lehtonen, I., Pirinen, P., Aapala, K., and Heikkinen, R. K. (2023). Bioclimate change across the protected area network of Finland. *Science of the Total Environment*, 893. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164782>.
- Drebs, A., Suomi, J. and Mäkelä, A. (2023). Urban heat island research at high latitudes – utilising Finland as an example. *Boreal Env. Res.* 28: 81–96. <https://www.borenav.net/BER/archive/pdfs/ber28/ber28-081-096.pdf>
- Haylock, M. R., N. Hofstra, A. M. G. Klein Tank, E. J. Klok, P. D. Jones, and M. New (2008). A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006, *J. Geophys. Res.*, 113, D20119, doi:[10.1029/2008JD010201](https://doi.org/10.1029/2008JD010201)
- Heikkinen, R. K., Leikola, N., Aalto, J. et al. (2020). Fine-grained climate velocities reveal vulnerability of protected areas to climate change. *Sci Rep* **10**, 1678. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58638-8>
- Lind, P., Belušić, D., Médus, E., Dobler, A., Pedersen, R. A., Wang, F., Matte, D., Kjellström, E., Landgren, O., Lindstedt, D., Christensen, O. B., Christensen, J. H. (2023). Climate change information over Fenno-Scandinavia produced with a convection-permitting climate model. *Clim. Dyn.* 61, 519–541. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06589-3>
- Luomaranta, A., Virman, M., Mika Rantanen, M., Hautala, J., Ruosteenoja, K., Mäkelä A. (2025). Sateisuuden havaittuja ja ennakoituja muutoksia Suomen maakunnissa. Ilmatieteen laitos, Raportteja 2025:2. <https://doi.org/10.35614/isbn.9789523362055>
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>

Pirinen P., Ruuhela R., Jokinen P., and Jylhä K. (2024). Future Scenarios for Heating and Cooling Degree Days in Finland, FMI's Clim. Bull. Res. Lett., 6, 14–16,

<https://doi.org/10.35614/ISSN-2341-6408-IK-2024-05-RL>

Ruosteenoja, K. and 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/pdf/geophysica_2021_56_1_039_ruosteenoja.pdf

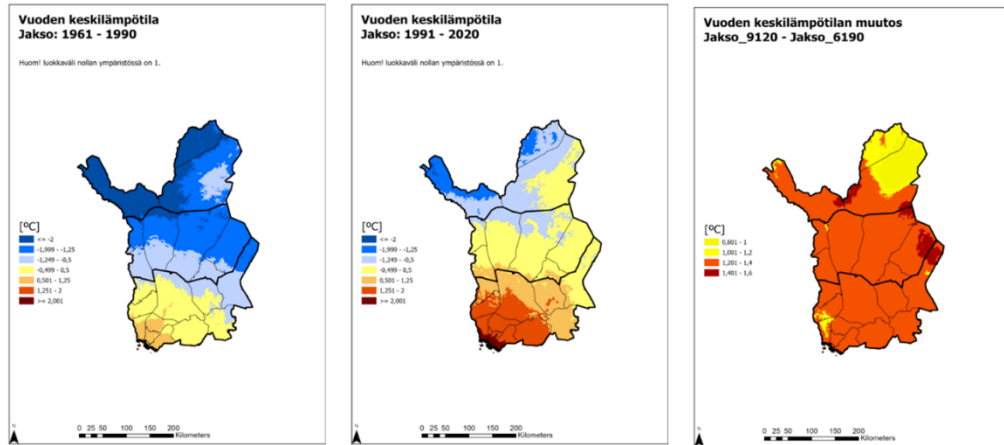
Ruuhela, R.... 2025. Ilmastotietoja Lapin ilmasto- ja energiastrategiaan. Ilmatieteen laitoksen Raportteja (valmisteilla).

Räisänen, P., Luomaranta, A. and Jylhä, K. (2025), Future Snow Scenarios for Northern Europe Based on Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 Data.

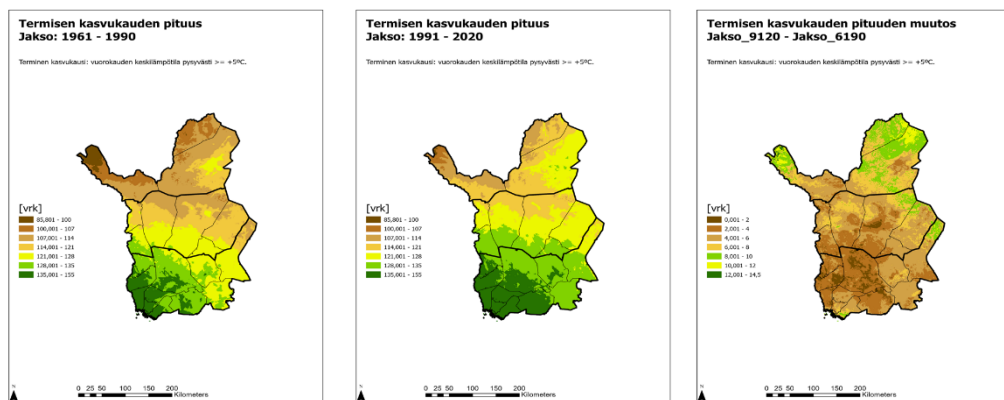
Int J Climatol e8795. <https://doi.org/10.1002/joc.8795>

Suomi, J., Saranko, O., Partanen, A.-I., Fortelius, C., Gonzales-Inca, C., and Käyhkö, J., 2024: Evaluation of surface air temperature in the HARMONIE-AROME weather model during a heatwave in the coastal city of Turku, Finland. Urban Climate, 53, 101811, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101811>.

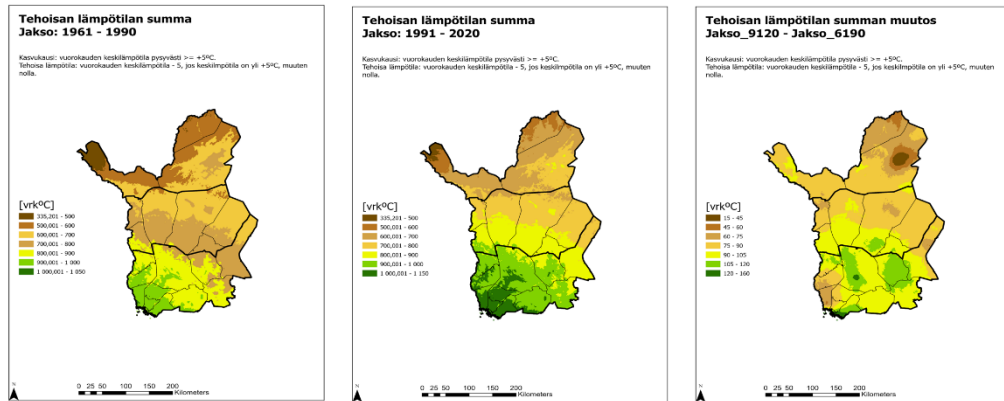
LIITE 1. Bioilmaston indikaattorit Lapissa



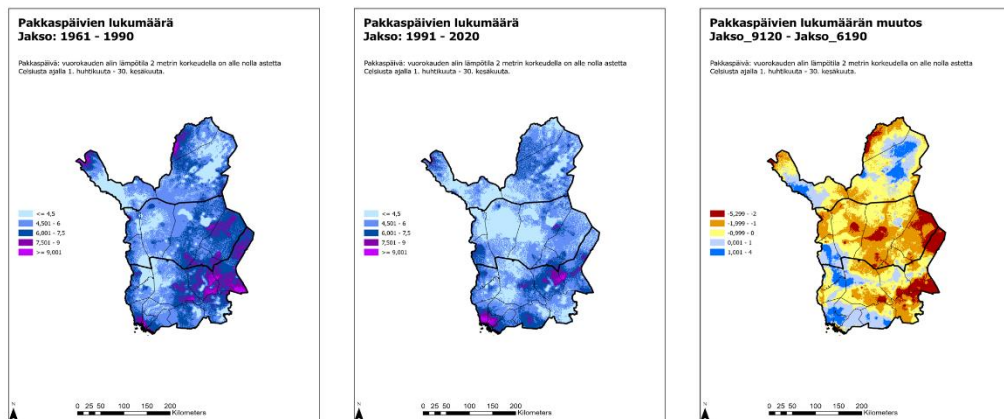
Kuva L1. Vuoden keskilämpötila [°C] Lapissa kahdella 30 vuoden mittaisella, peräkkäisellä ilmastollisella vertailukaudella, vasemmalla kausi 1961–1990, keskellä kausi 1991–2020. Oikealla muutos näiden kausien välillä.



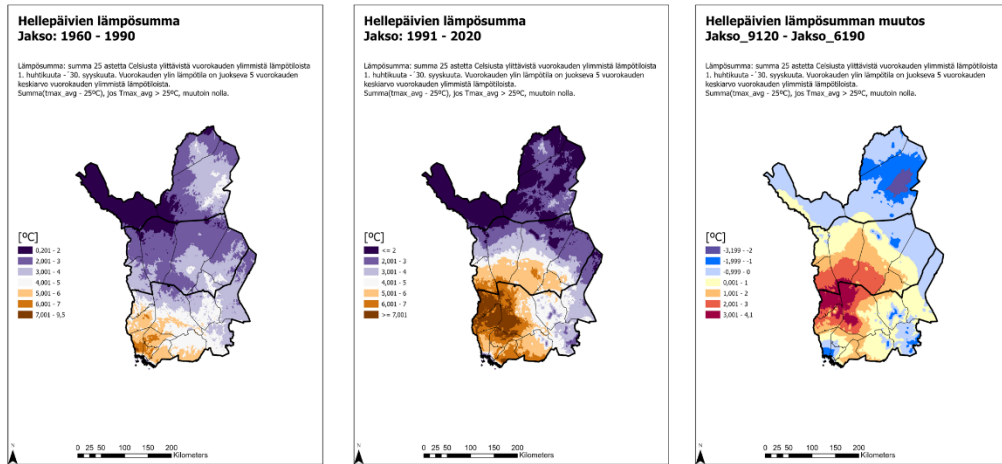
Kuva L2. Termisen kasvukauden pituus [vrk] Lapissa kahdella 30 vuoden mittaisella, peräkkäisellä ilmastollisella vertailukaudella, vasemmalla kausi 1961–1990, keskellä kausi 1991–2020. Oikealla muutos näiden kausien välillä.



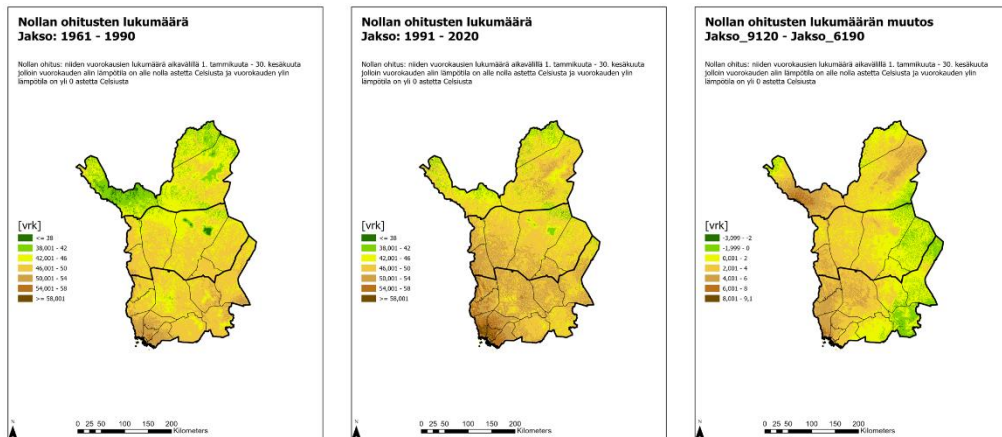
Kuva L3. Termisen kasvukauden lämpösumma [$^{\circ}\text{Cvrk}$] Lapissa kahdella 30 vuoden mittaisella, peräkkäisellä ilmastollisella vertailukaudella, vasemmalla kausi 1961–1990, keskellä kausi 1991–2020. Oikealla muutos näiden kausien välillä.



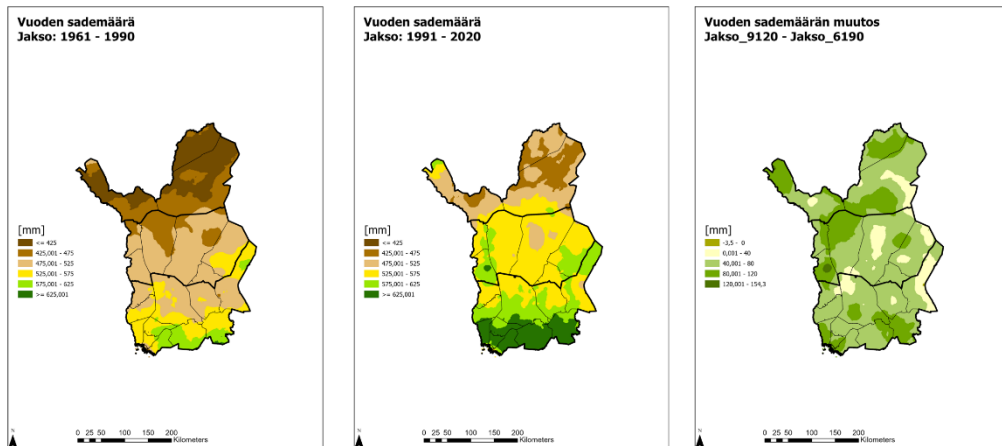
Kuva L4. Pakkaspäivien (vuorokauden alin lämpötila nollan alapuolella) määrä Lapissa huhti-kesäkuussa kahdella 30 vuoden mittaisella, peräkkäisellä ilmastollisella vertailukaudella, vasemmalla kausi 1961–1990, keskellä kausi 1991–2020. Oikealla muutos näiden kausien välillä.



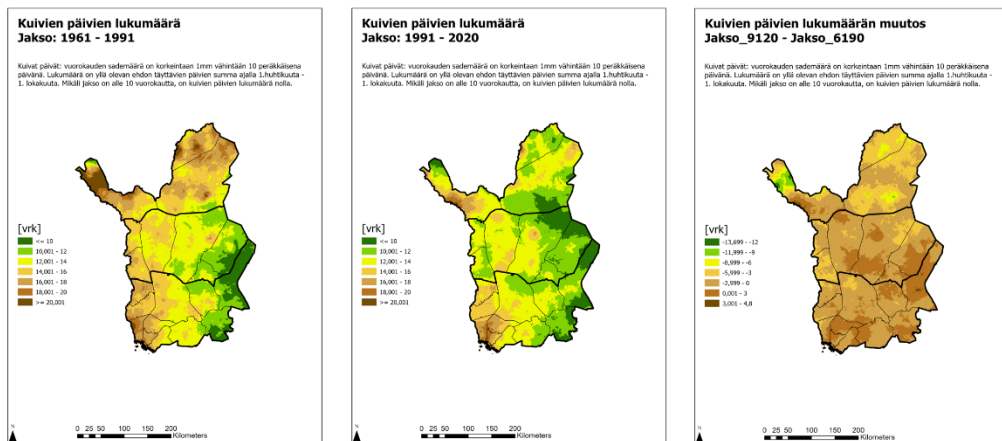
Kuva L5. Hellepäivien (Tmax yli 25 °C) lämpösomma Lapissa huhti-syyskuussa kahdella 30 vuoden mittaisella, peräkkäisellä ilmastollisella vertailukaudella, vasemmalla kausi 1961–1990, keskellä kausi 1991–2020. Oikealla muutos näiden kausien välillä.



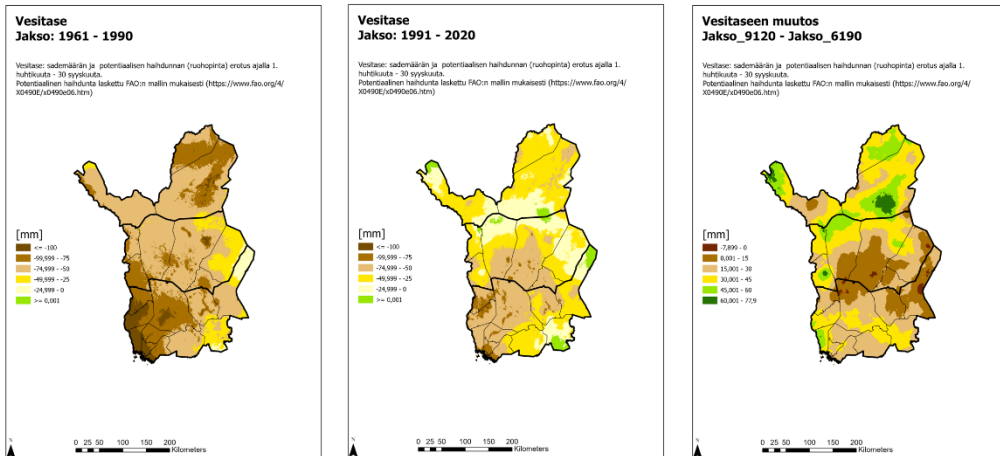
Kuva L6. Nolla-asteen ohituspäivien määrä Lapissa tammi-kesäkuussa kahdella 30 vuoden mittaisella, peräkkäisellä ilmastollisella vertailukaudella, vasemmalla kausi 1961–1990, keskellä kausi 1991–2020. Oikealla muutos näiden kausien välillä.



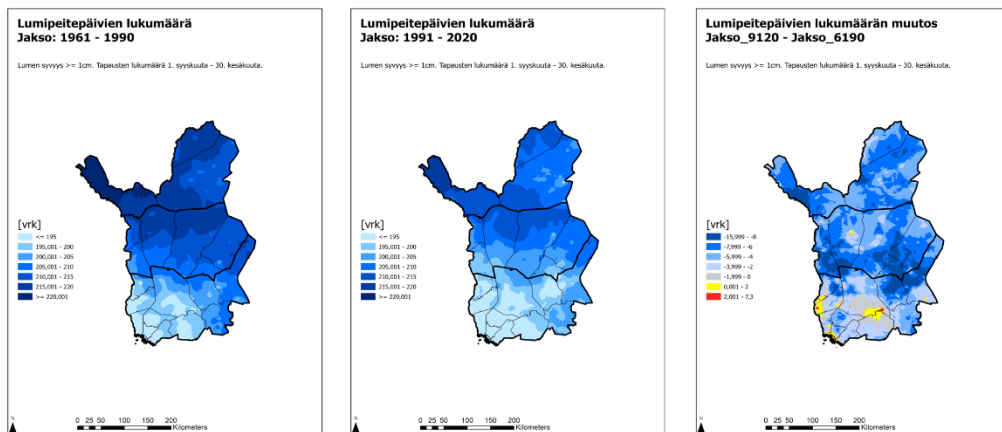
Kuva L7. Vuoden sademäärä [mm] Lapissa kahdella 30 vuoden mittaisella, peräkkäisellä ilmastollisella vertailukaudella, vasemmalla kausi 1961–1990, keskellä kausi 1991–2020. Oikealla muutos näiden kausien välillä.



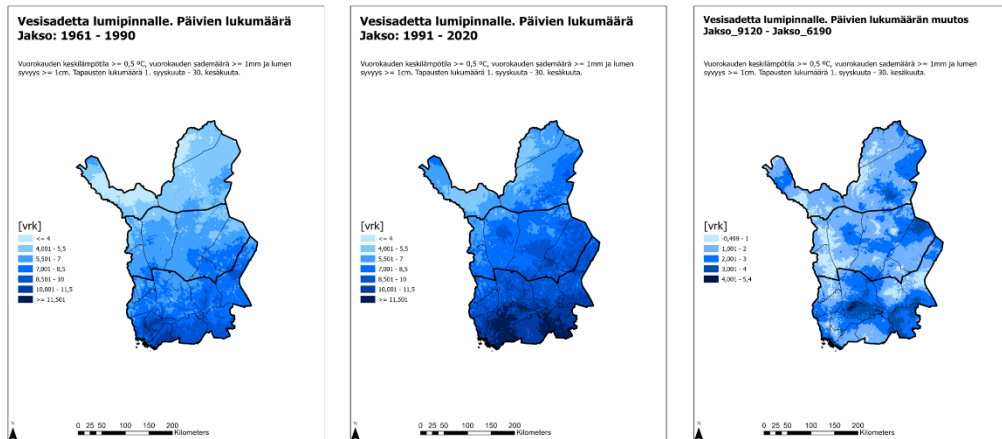
Kuva L8. Pitkien kuivuusjaksojen päivien määrä Lapissa huhti-syyskuussa kahdella 30 vuoden mittaisella, peräkkäisellä ilmastollisella vertailukaudella, vasemmalla kausi 1961–1990, keskellä kausi 1991–2020. Oikealla muutos näiden kausien välillä.



Kuva L9. Vesitase [mm] Lapissa huhti-syyskuussa kahdella 30 vuoden mittaisella, peräkkäisellä ilmastollisella vertailukaudella, vasemmalla kausi 1961–1990, keskellä kausi 1991–2020. Oikealla muutos näiden kausien välillä.

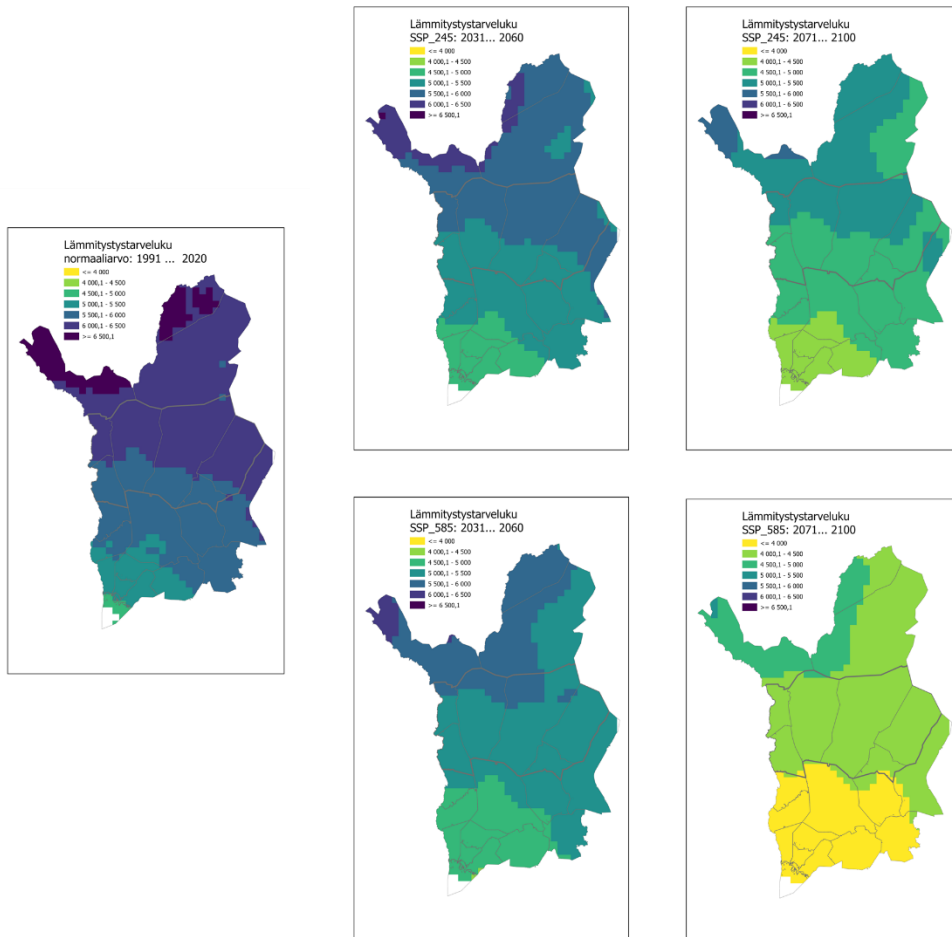


Kuva L10. Lumipeitepäivien määrä Lapissa kahdella 30 vuoden mittaisella, peräkkäisellä ilmastollisella vertailukaudella, vasemmalla kausi 1961–1990, keskellä kausi 1991–2020. Oikealla muutos näiden kausien välillä.

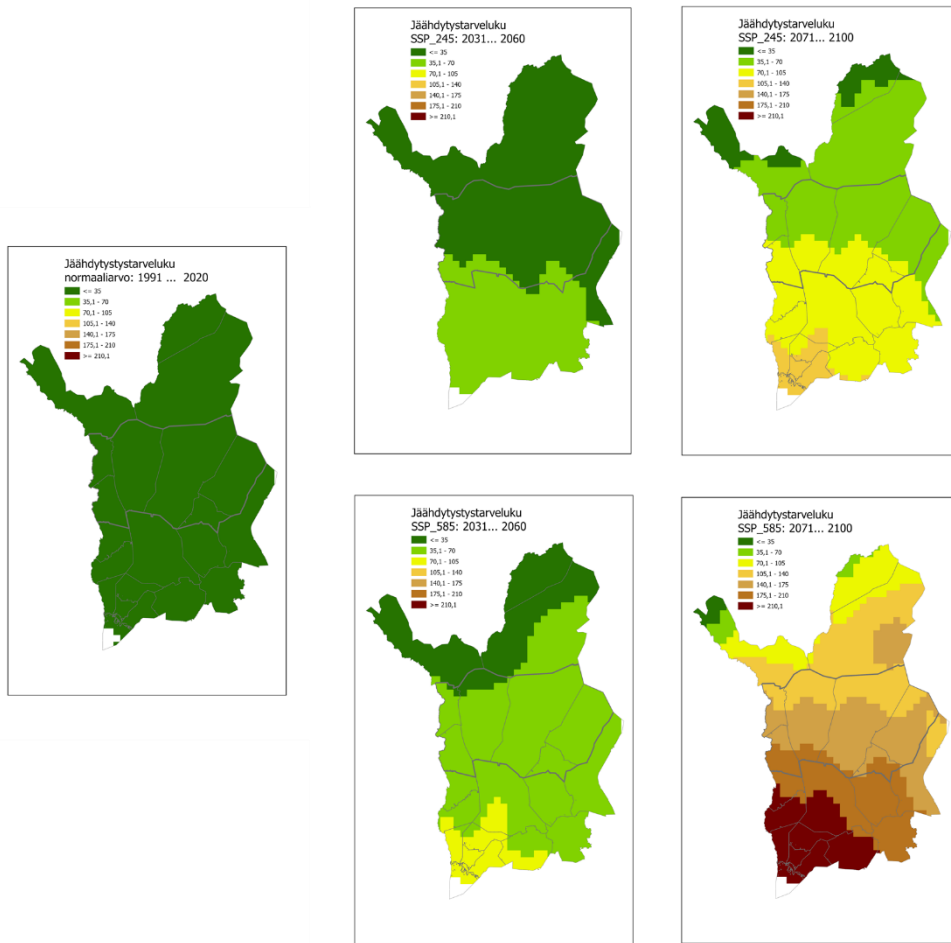


Kuva L11. Päivien määrä, jolloin vettä sataa lumipeitteen päälle Lapissa kahdella 30 vuoden mittaisella, peräkkäisellä ilmastollisella vertailukaudella, vasemmalla kausi 1961–1990, keskellä kausi 1991–2020. Oikealla muutos näiden kausien välillä

LIITE 2. Lämmitys- ja jäähdytystarvelukujen skenaariot Lapissa



Kuva L12. Rakennusten lämmitystarveluku Lapissa ilmastollisella vertailukaudella 1991–2020 (vasen), keskimääräisten päästöjen (SSP2–4.5, yläriivi) ja suurten päästöjen skenaariossa (SSP5–8.5, alarivi) vuosisadan puolivälissä (2031–2060) ja lopulla (2071–2100).



Kuva L13. Rakennusten jäähdytystarveluku Lapissa ilmastollisella vertailukaudella 1991–2020 (vasen), keskimääräisten päästöjen (SSP2–4.5, yläriivi) ja suurten päästöjen skenaariossa (SSP5–8.5, alarivi) vuosisadan puolivälissä (2031–2060) ja lopulla (2071–2100).