



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

RAPORTTEJA
RAPPORTER
REPORTS
2014:3

ILMASTONMUUTOS JA LÄMMITYSTARVE- LUKU PAIKKATIETOARVIOINA SUOMESSA

PENTTI PIRINEN
HENRIIKKA SIMOLA
SARI NEVALA
PIRKKO KARLSSON
REIJA RUUHELA

Raportteja

Rapporter

Reports

No. 2014:3

ILMASTONMUUTOS JA LÄMMITYSTARVELUKU PAIKKATIETOARVIOINA SUOMESSA

Pentti Pirinen

Henriikka Simola

Sari Nevala

Pirkko Karlsson

Reija Ruuhela



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Helsinki 2014

ISBN 978-951-697-820-1 (pdf)

ISSN 0782-6079

Helsinki 2014



Julkaisija Ilmatieteen laitos, (Erik Palménin aukio 1)
PL 503, 00101 Helsinki

Tekijät

Pirinen Pentti, Simola Henriikka, Nevala Sari, Karlsson Pirkko ja Ruuhela Reija

Nimeke

Ilmastonmuutos ja lämmitystarveluku paikkatietoarvioina Suomessa

Tiivistelmä

Ilmastonmuutos vaikuttaa rakennusten lämmitys- ja jäähdytysenergian tarpeeseen. Tässä raportissa on tarkasteltu lämmitystarveluvun (S17) ja jäähdytystarveluvun muutoksia Suomessa. Lämmitys- ja jäähdytystarveluvussa tapahtuvat muutokset on laskettu kolmen ilmastonmuutosskenaarioiden pohjalta ja ne on interpoloitu 10 km x 10 km hila-aineistoksi kattamaan koko Suomi. Näin on voitu tarkastella luvuissa tapahtuvia alueellisia muutoksia ja saatu laskettua koko maata kuvaavat luvut hila-aineiston keskiarvona.

Ilmaston lämpenemisen myötä lämmitystarve Suomessa vähenee ja lämmityskausi lyhenee. Kuluvan vuosisadan lopulla suuripäästöisimmässä ilmastonmuutosskenaariossa, A2, lämmitystarvelukua kertyy noin 1000–2000 °Cvrk:tta vähemmän kuin nykyilmastossa. Vähäpäästöisimmässä B1-skenaariossa muutos vuosisadan loppuun mennessä on noin 500–1000 °Cvrk:tta. Suurimmat muutokset tapahtuvat maan pohjoisosassa. Koko Suomen lämmitystarveluku pienenee absoluuttisesti eniten talvikuukausina.

Lämmityskausi lyhenee vuosisadan loppuun mennessä B1-skenaariossa noin 2-4 viikkoa, A2- ja A1B-skenaarioiden maan pohjoisosassa noin 1,5 kuukautta. Varsinkin maan pohjoisosassa lämmitystarvelukua kerryttävä kausi lyhenee enemmän keväällä kuin syksyllä.

Jäähdytystarvelukua kertyy Suomen nykyilmastossa vain vähän. Ilmaston lämpenemisen myötä jäähdytystarve kasvaa kesäkaudella, mutta vielä vuosisadan lopussakin jäähdytystarveluku on sangen pieni lämmitystarvelukuun verrattuna. A2-skenaariossa maan kaakkoisosassa jäähdytystarveluku tulee olemaan noin 25–85 °Cvrk:tta eli 5-6 -kertainen nykyiseen verrattuna.

Hankkeessa tuotettuja arvioita ilmastonmuutoksen vaikutuksista lämmitystarvelukuun ja jäähdytystarvelukuun paikkatietona voidaan hyödyntää rakennuskannan energiatarpeen ja ilmastopolitiikan päästölaskennan tarkentamisessa alueellisissa arvioinnissa sekä yhdyskuntasuunnittelussa.

Julkaisijayksikkö

Ilmastokeskus (IKE)

Luokitus (UDK)

551.583
551.524
644.1, 697, 711.2

Asiasanat

Lämmitystarveluku, jäähdytystarveluku, ilmastonmuutos, lämmitys, rakentaminen, yhdyskuntasuunnittelu, paikkatieto

ISSN ja avainnimike

0782-6079

ISBN

978-951-697-819-5(nid)
978-951-697-820-1 (pdf)

Kieli

suomi

Sivumäärä

47



Published by Finnish Meteorological Institute
(Erik Palménin aukio 1), P.O. Box 503
FIN-00101 Helsinki, Finland

Authors

Pirinen Pentti, Simola Henriikka, Nevala Sari, Karlsson Pirkko ja Ruuhela Reija

Title

Climate change and heating degree days as spatial information in Finland

Abstract

Climate change will have an impact on the heating and cooling energy demand of buildings. In this report the changes of heating and cooling degree days are presented in three climate change scenarios as gridded data (10 km x 10 km grid) covering Finland.

Because of global warming the heating energy demand will be reduced and the period for heating will become shorter. By the end of the century in the high greenhouse gas emission scenario (A2) the heating degree days will be reduced by 1000-2000 Kd, i.e. about one third of the value in present climate. In the low emission scenario (B1) the heating degree days will be reduced by 500-1000 Kd. The biggest changes will take place in Northern Finland and during winter months.

The heating period will be shortened in the B1-scenario by 2 to 4 weeks by the end of the century. In the A2 and A1B scenarios the heating period will become about one and half month shorter. In spring the changes are greater than in autumn.

The cooling energy demand in present climate in Finland is small and even though it will grow because of global warming, the cooling degree days will be small compared to heating degree days also at the end of the century. In South-Eastern Finland it will be 25-85 Kd in A2 emission scenario, thus five to six times higher than the value in present climate.

The spatial information of the climate change impacts on the heating and cooling degree days can be utilized in assessing future energy demand of buildings and more detailed calculations of greenhouse gas emissions of the built environment in Finland. The information can be utilized also in climate friendly spatial planning.

Publishing unit

Climate Service Centre (IKE)

Classification (UDK)

551.583
551.524
644.1, 697, 711.2

Keywords

Heating degree day index, cooling degree day index, climate change, heating, building, community planning, spatial information

ISSN and series title

0782-6079

ISBN

978-951-697-819-5(nid)
978-951-697-820-1 (pdf)

Kieli
Finnish

Pages 47

Esipuhe

Ilmastonmuutos ja lämmitystarveluku paikkatietoarvioina Suomessa –hankkeen tavoitteena oli tuottaa ilmastopolitiikan tueksi alueellisesti aiempaa kattavampaa ja tarkempaa tietoa lämmitys- ja jäähdytystarpeessa tapahtuvista muutoksista Suomessa eri kasvihuonekaasujen päästöskenaarioissa. Jotta tiedot olisivat käyttäjien kannalta mahdollisimman selkeitä ja helposti sovellettavissa, tulokset on laskettu nykyisin operatiivisessa palvelussa käytössä olevalla lämmitystarveluvun laskentamenetelmällä. Hankkeen toisena tavoitteena oli esimerkin avulla tuottaa ideoita ja ehdotuksia säätiedon ja rakennuskantatiedon yhdistämisestä sekä mahdollisista hyödyistä energiatehokkuutta ja yleisemminkin ilmastomyönteisyyttä tavoittelevissa tarkasteluissa yhdyskuntasuunnittelussa.

Hanke on toteutettu ympäristöministeriön rahoituksella. Rakennuskantatiedon ja säätiedon yhdistämiseen liittyvä esimerkki on kuitenkin tuotettu osana EAKR-rahoitteista, Ilmastonkestävä kaupunki – työkaluja suunnitteluun (ILKKA) –hanketta. Työtä ovat ohjanneet Juha-Pekka Majala ja Antti Irjala ympäristöministeriöstä, Maija Mattinen Suomen ympäristökeskuksesta sekä Juhani Heljo Tampereen teknisestä yliopistosta.

Helsinki 23.5.2014

Reija Ruuhela

SISÄLLYSLUETTELO

Esipuhe	5
1. Tausta ja tavoitteet	8
2. Menetelmät	9
3. Ilmastonmuutoksen vaikutukset lämmitystarvelukuun	12
4. Ilmastonmuutoksen vaikutukset jäähdytystarvelukuun	17
5. Helsingin rakennuskanta- ja ilmastotiedot paikkatietona	18
6. Kehitys- ja tutkimustarpeita	29
Lähteet:	31
LIITE 1. Laskentakaavat	32
LIITE 2. Kartat	33

1. Tausta ja tavoitteet

Vuonna 2012 Suomen kasvihuonekaasupäästöistä noin 9 % aiheutui rakennusten lämmityksestä, ja energian loppukäytöstä 25 % kuluu rakennusten lämmitykseen (Suomen virallinen tilasto, 2014). Ilmastopolitiikassa rakennusten energiatehokkuuden parantaminen on siis tärkeä päästöjen vähentämiskeino. Ilmastonmuutos myös helpottaa päästöjen vähentämistavoitteiden saavuttamista, sillä rakennusten lämmitystarve vähenee ilmaston lämmitessä. Toisaalta jäähdytystarpeen kasvu on syytä ottaa huomioon ilmastonmuutokseen sopeutumisessa ja arvioitaessa rakennusten energiakulutusta tulevana vuosikymmeninä. Tämän hankkeen päätavoitteena oli tuottaa uutta, tarkempaa tietoa rakennuskannan energiatarpeen ja päästölaskennan laskentamallien pitkän aikavälin skenaariotarkasteluiden pohjaksi.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia rakennusten energiatarpeeseen Suomessa on arvioitu rakennusten energialaskennan testivuoden päivityksen yhteydessä (Jylhä et al., 2011) kolmelle paikkakunnalle. Sekä ilmastonmuutoksen sopeutumis- että hillintätoimien tueksi yhdyskuntasuunnittelussa on kuitenkin tarve myös alueellisesti kattavammalle ja tarkemmalle tiedolle. Rakennusten lämmitys- ja jäähdytysenergiankulutukseen vaikuttavista säätekijöistä tärkeimmät ovat ulkoilman lämpötila, auringonsäteily, tuuli ja suhteellinen kosteus. Energiankulutusta voidaan simuloida laskentaohjelmilla, joissa käytetään useita säätekijöitä, mutta yleisesti rakennusten energiankulutuksen normittamisen yhteydessä käyttöön on vakiintunut yksinkertainen indikaattori, lämmitystarveluku, joka perustuu vain ulkoilman lämpötilaan. Jäähdytystarveluku on vastaavanlainen yksinkertainen ulkoilman lämpötilaan perustuva indikaattori. Tässä raportissa tarkastellaan lämmitystarve- ja jäähdytystarveluvussa ilmastonmuutoksen seurauksena tapahtuvia muutoksia. Eri maissa käytössä on hieman toisistaan poikkeavia lämmitys- ja jäähdytysluvun laskentatapoja. Tässä raportissa käytetään lämmitystarveluvulle Suomessa vakiintunutta menetelmää, S17, ja jäähdytystarveluvun laskennassa ulkolämpötila raja-arvo on +18 astetta.

Raportissa esitetään alueellisen ilmastotiedon ja rakennuskantatiedon yhdistämisen mahdollisuuksia pääkaupunkiseudulla. Esimerkkien tavoitteena on lisätä ilmastotiedon hyödyntämistä paikallisen ja aluetason energiatehokkuustarkasteluissa tai muuta ilmastomyönteisyyttä tavoit-

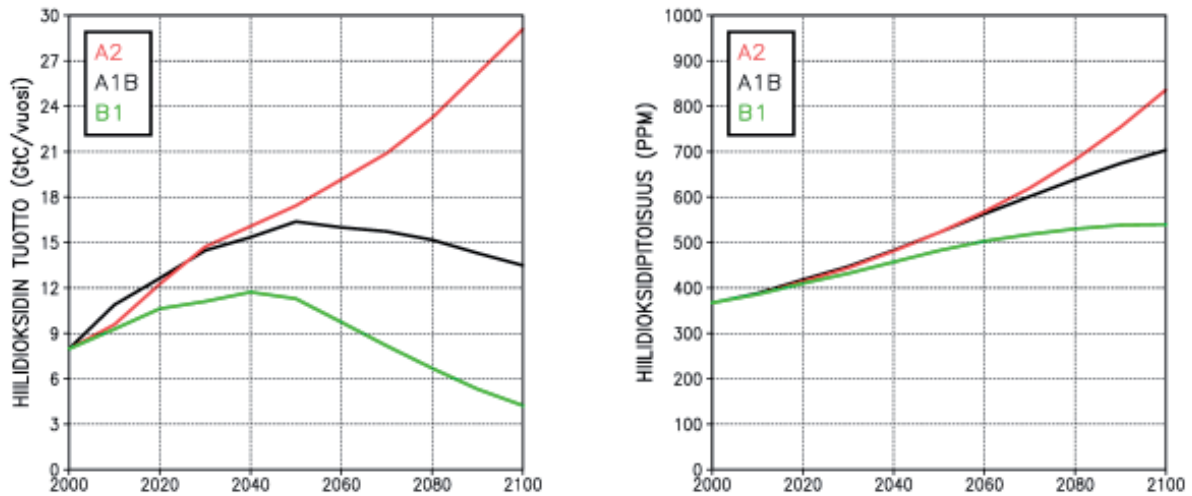
televissa tarkasteluissa rakennuskannassa ja yhdyskuntasuunnittelussa.

Lisäksi raportissa on listattu suosituksia/ehdotuksia menettelytavoiksi, joita voidaan hyödyntää suunnitteluaineiston ja laskelmien raportoimiseksi sekä visualisoimiseksi. Tällä edistetään tutkimustiedon ja syntyneen suunnitteluaineiston hyödyntämistä ja jakamista ymmärrettävällä tavalla.

2. Menetelmät

Tätä raporttia varten on tuotettu arviot lämmitystarve- ja jäähdytystarveluvusta nykyilmastossa sekä niiden muutoksista tulevaisuudessa Suomen alueelle paikkatietona 10 neliökilometrin hila-lassa. Raportin arviot muutoksista on laskettu kolmelle eri 30 vuoden pituiselle ajanjaksolle. Jaksot ovat 2010–2039, 2040–2069, 2070–2099. Arviot on laskettu sekä eri kuukausille että koko vuodelle. Lisäksi on arvioitu lämmityskauden pituudessa tapahtuvia muutoksia, olettaen että lämmityskausi loppuu keväällä, kun vuorokauden keskilämpötila nousee +10 asteen yläpuolella, ja alkaa syksyllä, kun vuorokauden keskilämpötila laskee +12 asteen alapuolelle.

Arvioissa tulevaisuuteen on käytetty kolmea IPCC:n SRES-skenaariota A2, A1B ja B1 (IPCC 2000). Tuoreempia IPCC:n 5. arviointiraportin RCP-skenaarioita ei ollut vielä saatavissa hilamutoisena paikkatietoaineistona tätä työtä varten. SRES-skenaarioista A2 edustaa pessimististä, suurten kasvihuonekaasupäästöjen tulevaisuudennäkymää, jossa teollisuus- ja kehitysmaiden tulo- ja kehityserot säilyvät suurina ja väestönkasvu jatkuu kehitysmaissa nopeana. Myös siirtyminen fossiilisista polttoaineista päästöttömiin energianlähteisiin on hidasta. Pienien päästöjen B1-skenaario taas on varsin optimistinen. Siinä oletetaan teollisuus- ja kehitysmaiden hyvinvointierojen tasaantuvan, mikä saa väestönkasvun talttumaan kehitysmaissakin. Kestävä kehitys on arvossaan, ja ympäristölle ystävällisen teknologian kehittäminen ja käyttöönotto on nopeaa. A1B-skenaario edustaa näiden kahden ääripään välimuotoa, ja siinä päästöt ovat melko suuria.



Kuva 1. Ihmiskunnan tuottamien hiilidioksidipäästöjen (vasen kuva) ja ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden (oikea kuva) arvioitu muuttuminen kolmen SRES-skenaarion mukaan. Yksikkö GtC on gigatonnia eli miljardia tonnia hiileksi laskettuna. Yksikkö ppm on tilavuuden miljoonasosa.

Kuvassa 1. on hiilidioksidipäästöjen ja ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden muutos raportissa käytetyissä SRES-skenaarioissa. A2-skenaarion toteutuessa hiilidioksidi päästöt suurin piirtein kolminkertaistuvat tämän vuosisadan aikana, ja ovat selvässä kasvussa vielä vuoden 2100 tienoillakin. Kahdessa muussa skenaariossa päästömäärät kääntyvät laskuun vuosisadan puoliväliä lähestyttäessä. B1-skenaariossa päästöjen väheneminen on suurempaa. Tämän skenaarion toteutuessa hiilidioksidin päästöt olisivat vuosisadan lopussa puolet vuoden 2000 määristä.

Hiilidioksidin päästöt vaikuttavat ilmakehässä pitkään, ja sen takia CO₂:n pitoisuus kasvaa kaikissa skenaarioissa, vaikka päästöt saataisiinkin laskuun. B1-skenaarion toteutuessa hiilidioksidin määrä näyttäisi vuoden 2100 tienoilla olevan vakiintumassa noin 550 ppm:n tasolle (suunnilleen kaksinkertainen pitoisuus teollistumista edeltävään aikaan verrattuna). A2-skenaariossa pitoisuus on vuosisadan lopussa luonnolliseen tasoon verrattuna kolminkertainen (yli 800 ppm), ja kasvu jatkuu edelleen nopeana.

Ilmastonmuutoskenaarioista on aiemmissa projekteissa (Ruosteenoja 2013, ACCLIM, SETUKLIM) tuotettu edellä mainituille 30-vuoden jaksoille kuukausikeskilämpötilan muutos Suomen alueelle 10 km x 10 km hila-aineistona. Hila-aineiston tuottamisessa on käytetty ns. Kriging-menetelmää (Goovaerts, 1997), joka interpoloi arvot havaintoasemien välisille alueille käyttäen lähtötietoina itse havaintoaineistoa, havaintojen välistä alueellista riippuvuutta sekä muuttujaan vaikuttavia ympäristötekijöitä. Kriging-menetelmää sovellettaessa on selittävinä tekijöinä otettu huomioon maaston keskimääräinen korkeus merenpinnasta sekä rannikon ja vesistöjen vaikutukset.

Kuukausikeskilämpötilan muutosarvot on hila-aineistossa laskettu jakson 1971–2000 keskiarvoon nähden. Muutosarvot muutettiin tässä projektissa absoluuttiarvoiksi lisäämällä niihin jakson 1971–2000 keskiarvot, jotta vertailu voitiin tehdä nyt käytössä olevaan vertailujaksoon 1981–2010.

Lämmitys- ja jäähdytystarvelukujen laskentaan tarvitaan kuitenkin kuukausikeskiarvojen sijaan vuorokausikeskiarvoja, koska lämmitys- ja jäähdytystarveluku lasketaan valitun sisälämpötilan ja ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvon välisenä erotuksena. Kuukauden lämmitystarveluku on vuorokautisten lämmitystarvelukujen summa ja vuoden lämmitystarveluku on kuukausittaisten lämmitystarvelukujen summa. Kuukauden ja vuoden jäähdytystarveluku lasketaan samalla tavalla. Sisälämpötilaksi on molemmissa valittu nykyisin tyypillisimmin käytössä oleva +17 astetta. Lämmitystarveluvun laskennassa ei oteta huomioon päiviä, joiden keskilämpötila on tammikuusta kesäkuuhun vähintään +10 astetta ja heinäkuusta joulukuuhun vähintään +12 astetta. Jäähdytystarveluvun laskennassa huomioidaan vain ne päivät, jolloin ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvo on yli +18 astetta (Pilli-Sihvola et al. 2010).

Lämpötilan kuukausikeskiarvoista tuotettiin vuorokauden keskilämpötila-arvot fourier-sovitukseksi (tarkemmin liitteessä 1). Vuorokausiarvot kullekin hilapisteelle ja eri skenaarioille laskettiin käyttäen harmonista analyysiä. Vaikka uusimmalta vertailujaksolta 1981–2010 oli ollut käytössä vuorokauden keskilämpötilan vuosijakaumat, on yhtenäisyyden vuoksi myös niissä käytetty lähtötietona kuukausiarvoja ja sovellettu näihin arvoihin samaa laskentamenetelmää kuin skenaariodatalle.

3. Ilmastonmuutoksen vaikutukset lämmitystarvelukuun

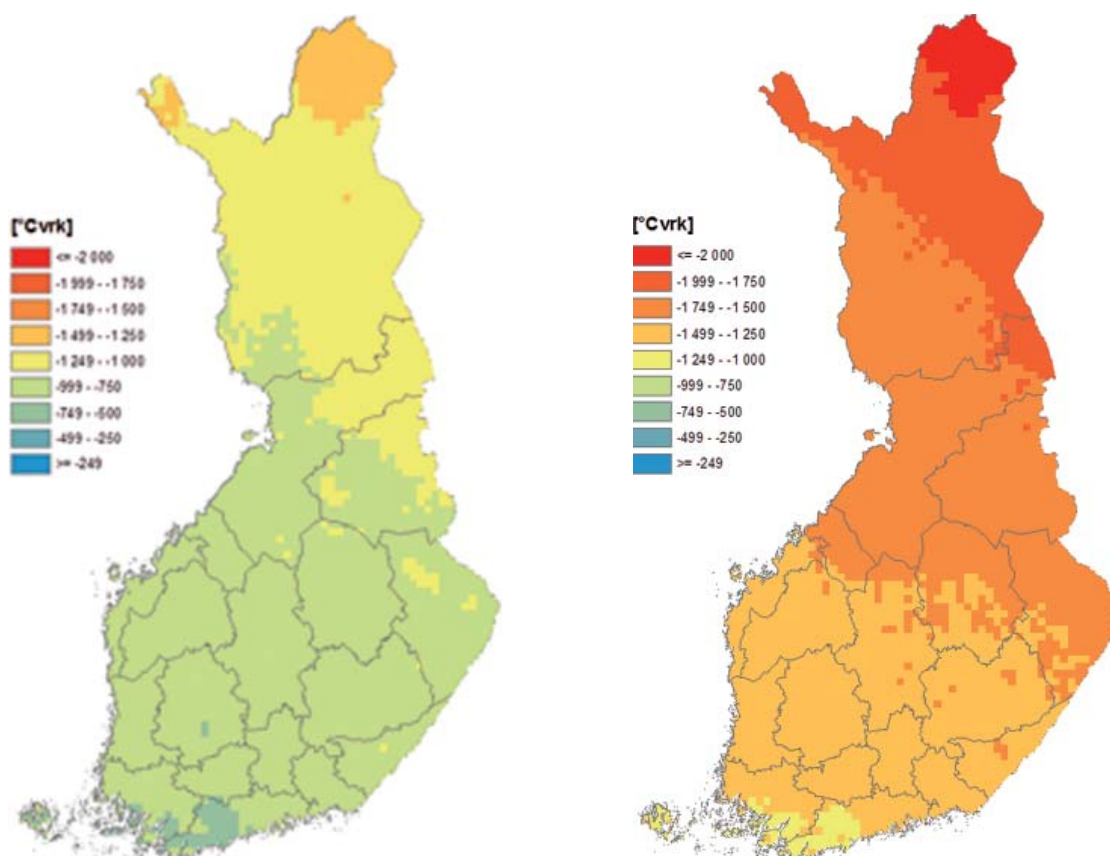
Ilmastonmuutoksen vaikutusta lämmitystarvelukuun ja lämmityskauden pituuteen kolmessa eri skenaariossa on kuvattu liitteessä 2 sivuilla 34-45 olevissa kartoissa.

Nykyilmastossa lämmitystarveluku vaihtelee lounaisaariiston noin 3800 °Cvrk:den ja maan pohjoisosan noin 5000–6000 °Cvrk:den välillä. Eniten lämmitystarvelukua kertyy tammikuussa, mikä selittyy osin sillä, että tammikuussa on enemmän päiviä kuin helmikuussa.

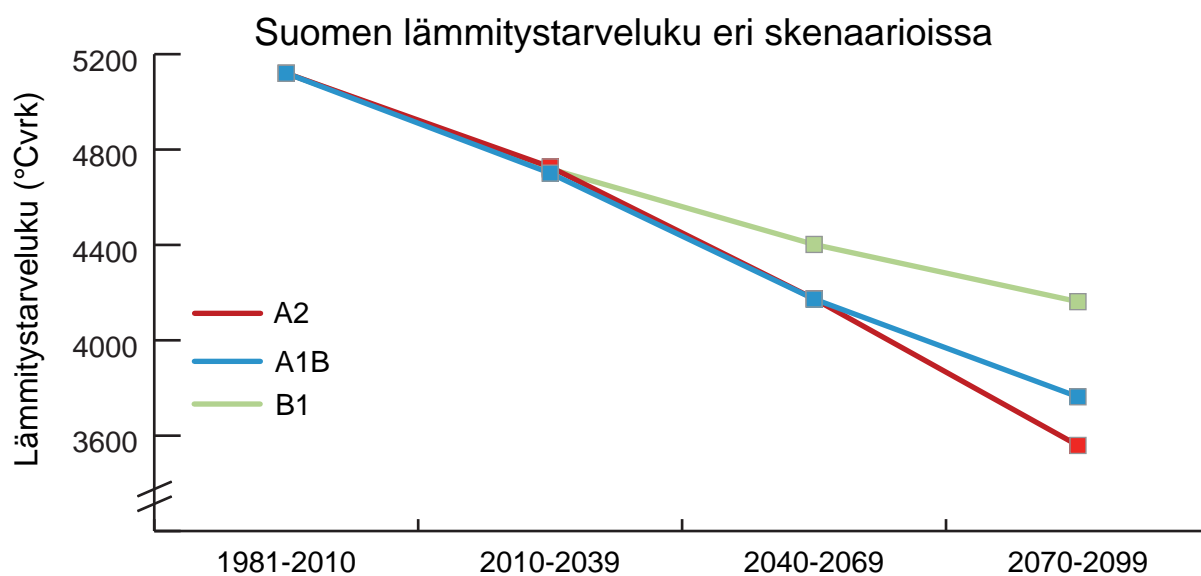
Tulevaisuuden skenaarioissa absoluuttisesti suurimmat muutokset lämmitystarveluvussa tapahtuvat Lapissa. Lämmitystarveluvun pieneneminen näkyy jo lähivuosisikymmeninä ja vuosisadan puolivälissä suurten kasvihuonekaasupäästöjen A2-ilmastonmuutosskenaariossa, joissa lämmitystarvelukua kertyy Lapissa ja Kainuussa vuodessa yli 1000 °Cvrk:tta vähemmän kuin nykyisin. B1-skenaariossa lämmitystarveluku vähenee vuosisadan loppuun mennessä (kuva 2. vasen kartta) suunnilleen saman verran kuin muissa skenaarioissa vuosisadan puoliväliin mennessä. Vuosisadan lopulla lämmitystarvelukua kertyy A2-skenaarion (kuva 2. oikea kartta) mukaan pohjoisimmassa Lapissa vuodessa yli 2000 °Cvrk:tta vähemmän ja etelässäkin yli 1000 °Cvrk:tta vähemmän kuin nykyilmastossa. Tämä on siis noin kolmannes vähemmän kuin nykyilmastossa.

Kuvissa 3. ja 4. esitetään koko Suomen lämmitystarveluvun kehitys eri skenaarioissa eri 30-vuoden jaksoilla vuosisadan lopulle saakka. Suomen lämmitystarveluku on laskettu 10 neliökilometrin hila-aineistosta keskiarvona koko maan yli. Laskennassa ei huomioida väestön tai rakennuskannan alueellista jakaumaa eikä niissä tulevaisuudessa tapahtuvia muutoksia. Kuvassa 3. on koko vuoden lämmitystarveluku ja kuvassa 4 a. lämmitystarveluku kuukausittain ja kuvassa 4 b. erotus nykyiseen verrattuna.

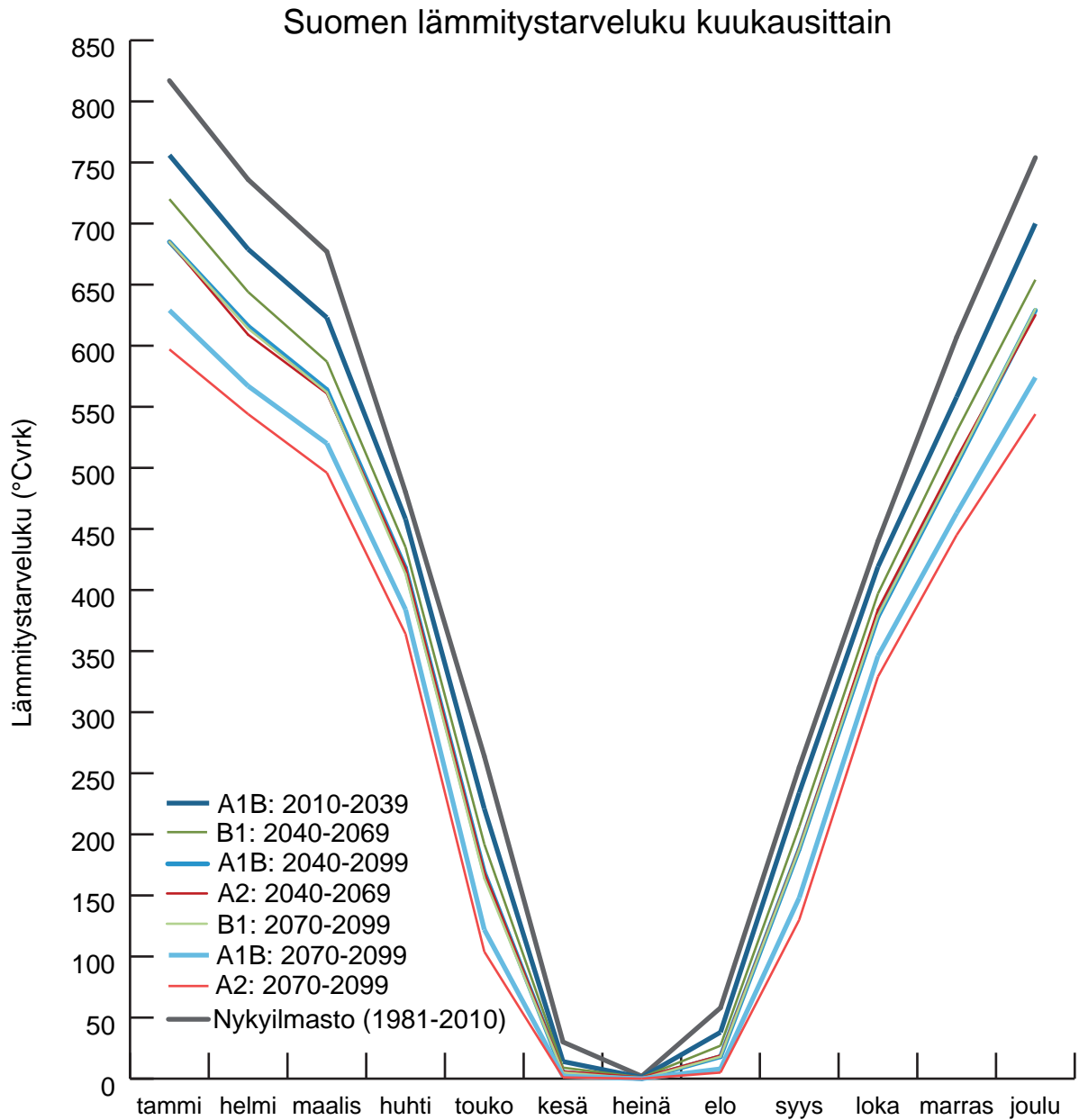
Suomen lämmitystarveluku pienenee absoluuttisesti eniten talvikuukausina. Prosentuaalisesti muutos on talvikuukausina vuosisadan loppuun mennessä A2-skenaariossa noin 40 %:a ja B1 skenaariossa noin 20 %:a. Vuosisadan lopulla koko Suomen lämmitystarvelukua ei heinäkuussa kerry enää missään skenaariossa. Lämmitystarveluvun suuret muutokset touko- ja syyskuussa selittyvät lämmityskauden pituudessa tapahtuvilla muutoksilla.



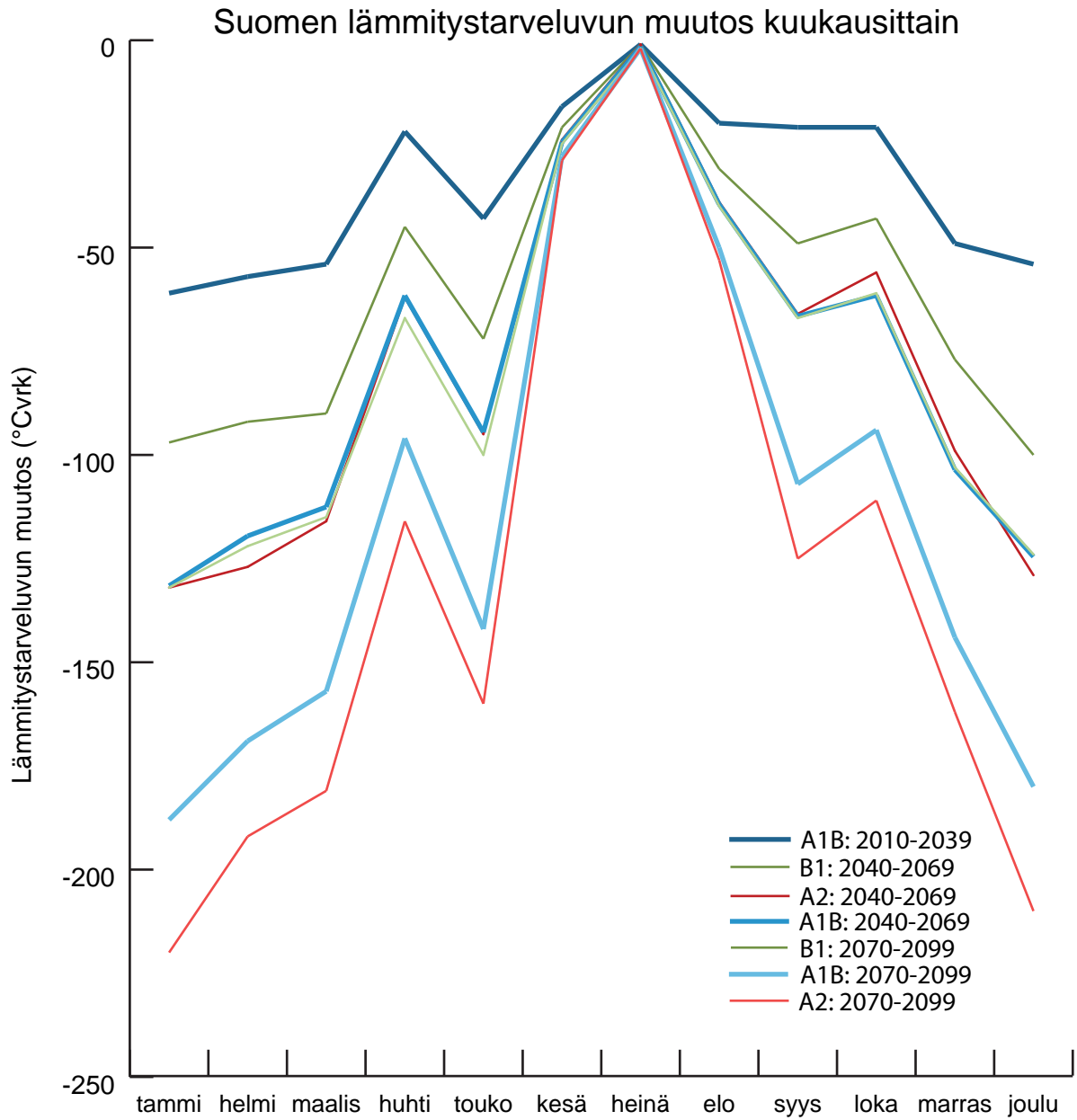
Kuva 2. Vuosisadan lopun (2070-2099) lämmitystarveluvun muutos nykyilmastoon verrattuna SRES-skenaarioissa B1 (vasemmalla) ja A2 (oikealla)



Kuva 3. Suomen vuoden lämmitystarveluku eri SRES-skenaarioissa.



Kuva 4 a. Suomen lämmitystarveluku kuukausittain eri skenaarioissa kolmella eri jaksolla (2010–2039, 2040–2069, 2070–2099) sekä nykyilmastossa. Jaksolla 2010–2039 muut skenaariot eivät mainittavasti poikkea skenaariosta A1B, joten niitä ei ole esitetty kuvassa. Skenaariot A1B ja A2 jaksolla 2040–2069 sekä skenaario B1 jaksolla 2070–2099 ovat hyvin lähellä toisiaan.

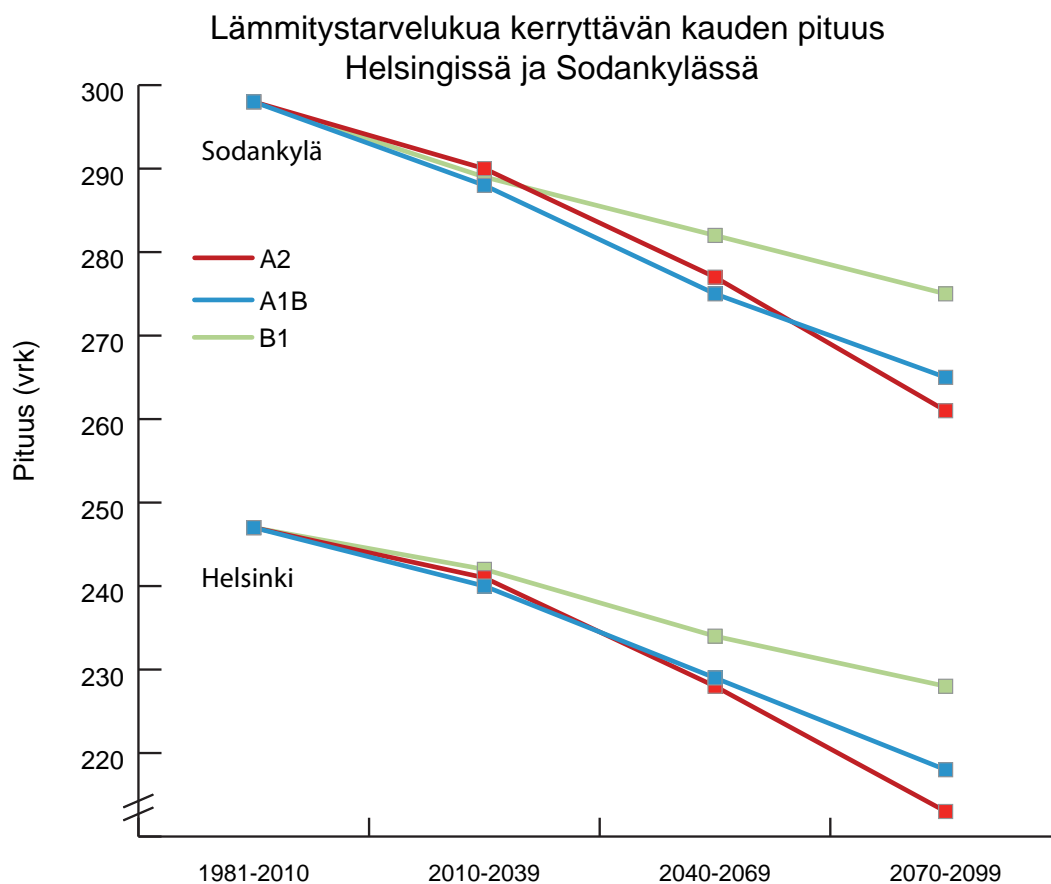


Kuva 4 b. Suomen lämmitystarveluvun muutos eri skenaarioissa kolmella eri jaksolla (2010–2039, 2040–2069, 2070–2099). Jaksolla 2010–2039 muut skenaariot eivät mainittavasti poikkea skenaariosta A1B, joten niitä ei ole esitetty kuvassa. Skenaariot A1B ja A2 jaksolla 2040–2069 sekä skenaario B1 jaksolla 2070–2099 ovat hyvin lähellä toisiaan.

Ilmastonmuutoksen myötä myös lämmitystarvelukua kerryttävän kauden pituus lyhenee. Nykyilmastossa lämmityskausi alkaa, eli vuorokauden keskilämpötila laskee +12 asteen alapuolelle, maan pohjoisosassa elokuun aikana ja etelärannikolla syyskuun alkupuolella. Lämmityskausi päättyy, eli vuorokauden keskilämpötila nousee +10 asteen yläpuolelle, maan eteläosassa toukokuussa ja maan pohjoisosassa kesäkuussa. Nykyisin lämmityskauden pituus on etelässä noin 250 vuorokautta eli 8,5 kuukautta ja pohjoisessa yli 300 vuorokautta eli yli 10 kuukautta.

Lähivuosisikymmeninä lämmityskauden pituus ei vielä merkittävästi muutu. Vuosisadan puoliväliin mennessä lämmityskausi lyhenee A2 ja A1B skenaarioissa maan eteläosassa jo muutama viikon ja maan pohjoisosassa noin kuukauden. Varsinkin maan pohjoisosassa lämmitystarvelukua kerryttävä kausi lyhenee enemmän kevät- kuin syksypuolelta.

Vuosisadan lopulla lämmityskauden pituus on etelässä B1-skenaariossa keskimäärin noin 240



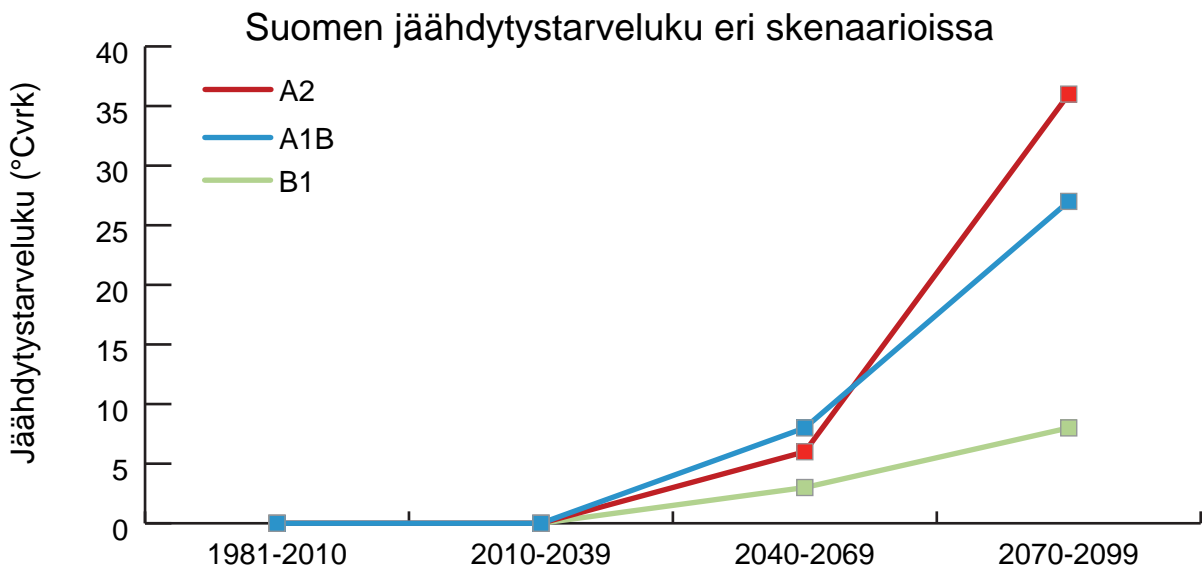
Kuva 5. Helsingin ja Sodankylän lämmityskauden pituus vuorokausina eri SRES-skenaarioissa.

vuorokautta eli 8 kuukautta ja pohjoisessa noin 270 vuorokautta eli 9 kuukautta. Lämmityskausi lyhenee siis etelässä noin pari viikkoa ja pohjoisessa noin kuukauden eli saman verran kuin A2-skenaariossa vuosisadan puoliväliin mennessä. A2- ja A1B-skenaarioissa lämmityskausi lyhenee maan pohjoisosassa noin 1,5 kuukautta. Muutos on suunnilleen yhtä suuri keväällä ja syksyllä. Maan eteläosassa lämmityskausi lyhenee noin 3-4 viikkoa; noin 2-3 viikkoa lämmityskauden alusta ja noin 1-2 viikkoa lämmityskauden lopusta. Muutos on siis etelässä vuosisadan lopulla hieman suurempi syksyllä kuin keväällä.

4. Ilmastonmuutoksen vaikutukset jäähdytystarvelukuun

Ilmastonmuutoksen vaikutusta jäähdytystarvelukuun kolmessa eri skenaariossa on kuvattu liitteessä 2 sivuilla 46-47 olevissa kartoissa.

Suomen nykyilmastossa jäähdytystarvelukua kertyy vain vähän. Vuosisadan puolivälissä jäähdytystarveluku alkaa kasvaa maan etelä- ja itäosassa kaikissa skenaarioissa. Jäähdytystarveluku on vuosisadan lopussakin sangen pieni verrattuna lämmitystarvelukuun, mutta A2-skenaariossa maan kaakkoisosassa kuitenkin 5-6 -kertainen nykyiseen verrattuna. B1-skenaariossa jäähdytystarvelukua ei juuri kerry vuosisadan loppupuolellakaan. Lapissa tämän hankkeen yhteydessä käytettyä jäähdytystarvelukua ei kerry ollenkaan edes A2-skenaariossa.



Kuva 6. Suomen vuoden jäähdytystarveluku ero SRES-skenaarioissa.

5. Helsingin rakennuskanta- ja ilmastotiedot paikkatietona

Yhdyskuntasuunnittelussa ja rakennuskannan energiatehokkuuteen tähtäävien toimien suunnittelussa tulisi kehittää alueellisesti ja paikallisesti tarkennetun ilmastotiedon hyödyntämistä. Tässä yhteydessä tarkastellaan rakennusten energiankulutukseen vaikuttavien ilmastollisten tekijöiden alueellista vaihtelua pääkaupunkiseudulla yhdessä Helsingin kaupungin rakennuskantatietojen kanssa, tavoitteena pohjustaa ilmastotiedon hyödyntämistä laajemmin eri yhteyksissä.

Pääkaupunkiseudun ilmastoon vaikuttaa voimakkaasti Suomenlahti. Kun tarkastellaan lämmitystarvelukua Kaisaniemessä, kaupungin keskustassa olevassa puistossa, ja Helsinki-Vantaan lentoasemalla, huomataan selviä eroja. Vantaa on keskimäärin Kaisaniemeä kylmempi, joten lämmitystarvetta kertyy vuodessa noin 6 % enemmän kuin Kaisaniemessä. Toukokuun lämmitystarveluku on kuitenkin Kaisaniemessä suurempi kuin Vantaalla meren viilentävän vaikutuksen takia. Syksyllä taas ilmaan nähden lämmin merivesi tekee Kaisaniemen ja Vantaan lämmitystarveluvun erosta suhteellisesti suuremman kuin muina kuukausina, kun kesäkuukaudet jätetään huomioimatta.

Taulukko 1. Helsinki-Vantaan lentoaseman ja Helsingin Kaisaniemen keskimääräinen lämmitystarveluku vertailukaudella 1981–2010

kk	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Vuosi
Helsinki-Vantaa la	682	640	586	376	146	16	2	21	158	348	497	625	4097
Helsinki, Kaisaniemi	647	612	566	383	153	11	1	12	125	316	464	588	3878

Helsingin rakennuskantatieto ja lämmitystarveluku

Yli puolet Helsingin päästöistä aiheutuu rakennusten lämmittämisestä. Helsingin rakennettu kokonaisala on vuoden 2012 tilastojen mukaan 56 621 000 m² ja suurin rakennettu kokonaisala on kantakaupungin alueella. Helsingin rakennuskanta käsittää lähes 47 900 rakennusta, joista yli 70 prosenttia on asuinrakennuksia. Suurin osa asunnoista, 86 prosenttia, on kerrostaloissa ja 14 prosenttia esikaupunkialueiden pientaloissa.

Rakennuskannasta seitsemän prosenttia on erilaisia julkisen sektorin rakennuksia ja noin neljä prosenttia teollisuus-, varasto- ja palo- ja pelastustoimen rakennuksia. Teollisuus-, varasto- ja palo- ja pelastustoimen rakennukset keskittyvät Kalasataman, Jätkäsaaren, Tattarinsuon, Herttoniemen ja Pitäjänmäen alueille. Toimisto- ja liikerakennusten osuus rakennuskannasta on noin 3,5 prosenttia ja ne sijoittuvat pääasiassa keskustan alueelle ja muihin palvelukeskittyymiin.

Helsingin rakennuskanta on varsin nuori. Yli 70 prosenttia Helsingin rakennuskannasta on rakennettu vuoden 1969 jälkeen ja yli 50 prosenttia vuoden 1980 jälkeen. Vain 12 prosenttia rakennuksista on rakennettu ennen vuotta 1940. Ennen vuotta 1940 valmistuneista rakennuksista lähes kaksi kolmasosaa sijaitsee ns. kantakaupungissa. 1940 - 1950- luvulla rakentaminen painottui keskustan lähialueille kuten Haagaan, Herttoniemeen ja Munkkiniemeen. 1960-luvulla rakentaminen siirtyi Itä-Helsingin lähiöihin – Vuosaareen, Kontulaan ja Myllypuroon. 1960- ja 1970-luvun vaihteessa valmistui suurin osa Jakomäen alueesta. 1970-luvun rakentamisen muita painopistealueita olivat Itä-Pasila, Kannelmäki, Haaga, Malmi, Tapanila, Puistola ja Pukimäki. 1980-luvulla painopiste siirtyi Malminkartanon ja Lassilan sekä pääradan varren pientaloalueiden rakentamiseen. 1990-luvulla valmistui Meri-Rastilan ja Kallahden alue sekä Herttoniemenranta ja Kivikko. Täydennysrakentamisen myötä on 1990- ja 2000-luvulla valmistunut rakennuksia tasaiseen tahtiin myös kantakaupungin alueelle, esimerkkinä Ruoholahti ja Länsisatama.

Helsingin alueen rakennusten pääasiallinen lämmitysmuoto on kaukolämpö. Asuinkerrostaloista yli 85 prosenttia lämmitetään kaukolämmöllä. Sähkölämmitys on Helsingissä pääasiallisesti pientalojen lämmitysmuoto. Pientaloissa sähkölämmityksen osuus 39 prosenttia ja kaukolämmön osuus on vain 23 prosenttia. Yli 25 prosenttia pientaloista lämmitetään öljyllä.

Valtaosa Helsingissä kulutetusta kaukolämmöstä on peräisin sähkön ja lämmön yhteistuotantovoimalaitoksista, jotka ovat useimmiten rakennusten energiatehokkain lämmitysvaihtoehto. Kaukolämmön osuus Helsingin kokonaispäästöistä vuonna 2012 oli 46 prosenttia. Vuosi 2012 oli edellisvuotta kylmempi, joten energiantuotannon päästöt kasvoivat edellisvuodesta 4 prosenttia. Kaukolämmön päästöt ovat pysyneet noin 50 prosentissa läpi 2000-luvun, vaikka rakennettu kokonaispinta-ala on kasvanut 17 prosenttia vuodesta 2003 vuoteen 2012.

Eri vuosikymmeninä rakennettujen rakennusten energiankulutuksessa on merkittäviä eroja. Kaikkein heikoimmin eristettyjä ovat 1950–1970 luvuilla valmistuneet rakennukset, eli noin kolmasosa Helsingin rakennuskannasta. Vanhat 1900-luvun alun paksuseinäiset rakennukset eristävät lämpöä niin hyvin, että vasta 2000-luvulla rakennettujen uudisrakennusten lämmönkulutus on niitä alemmalla tasolla. Pohjois- ja Koillis-Helsinki ovat 1970 – 90-luvulla rakennettuja kokonaisalaltaan väljiä pientaloalueita, joita lämmitetään usein vain sähkölämmityksellä. Sähkölämmitys kylmimmässä osassa Helsinkiä voi aiheuttaa talvikuukausina sähkön ja energiankäytön kulutushuippuja erityisesti pitkien kovien pakkasjaksojen aikana.

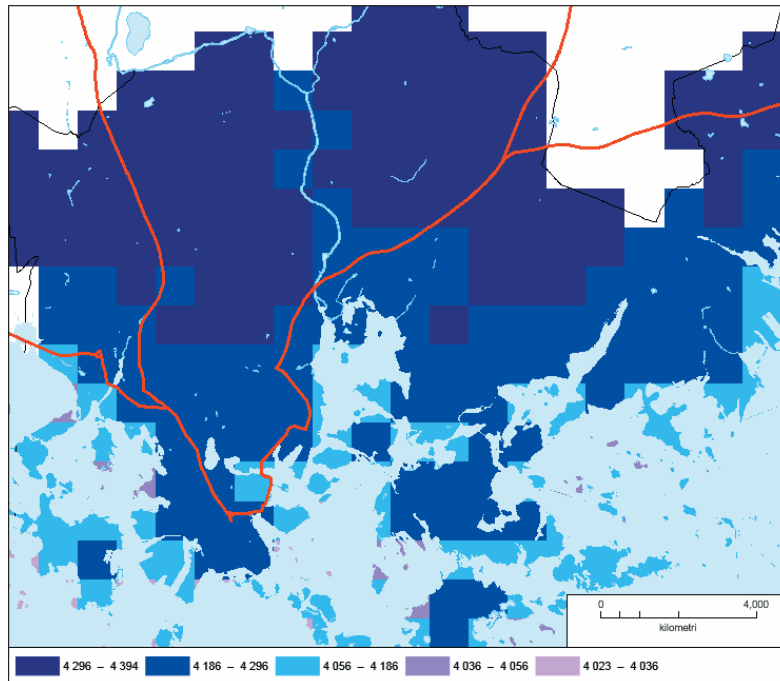
Helsingin tavoitteena on maankäytön ja asumisen toteutumishjelman 2008 – 2017 mukaisesti saada kaupunkiin vuosittain keskimäärin viisituhatta uutta asuntoa, joista vuokra-asuntojen osuus olisi noin 40 prosenttia. Tavoitteena on uusien asuntoasuntoalueiden, mm. Kruunuvuorenrannan ja Kuninkaantammen, rakentamisen lisäksi asuntojen täydennysrakentaminen jo olemassa oleville alueille sekä vanhemman asuntokannan korjaaminen. Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto on aloittanut uuden yleiskaavan laatimisen vuoteen 2050, jolla ohjataan kaupungin yhdyskuntarakenteen kehittämistä. Uusi yleiskaava valmistuu viimeistään 2016 mennessä, ja sen pohjana on ajatus Helsingistä raideliikenteen verkostokaupunkina, jolla on laajeneva vahva pääkeskus – kantakaupunki. Uusi yleiskaava jatkaa kaupunkirakenteen eheyttämistä ja tiivistämistä energiaviisaammaksi muun muassa kannustamalla energiatehokkaita lämmitysratkaisuja uusilla kaava-alueilla sekä täydennysrakentamista jo olemassa olevan infrastruktuurin ja joukkoliikenteen yhteyteen.

Helsingin kaupungin palvelurakennuksien uudis- ja korjausrakentamisessa pyritään lähes nollaenergiarakentamiseen. Helsingin kaupunki on sitoutunut toteuttamaan uudisrakennuskohteet matalaenergiaperiaatteella ja soveltamaan matalaenergiaohjeistusta peruskorjauksissa rakennuksien erityispiirteet huomioiden. Kaupungin asuintalorakentamisessa siirrytään 2010-luvun aikana matalaenergiarakentamiseen ja passiivitalotuotantoon 2020-luvulla. Matalaenergiarakentamista edistetään muun muassa tontinluovutusehtojen energiatehokkuusvaatimuksilla. Uusille alueille, kuten Jätkäsaareen, Kalasatamaan, Kuninkaantammen ja Östersundomiin, on energiatehokkuusvaatimukset sisällytetty kaavamääräyksiin ja rakennusjärjestykseen, ja energiatehokkuussuositukset rakentamistapaohjeisiin sekä ekologista kestävyyttä edistävät

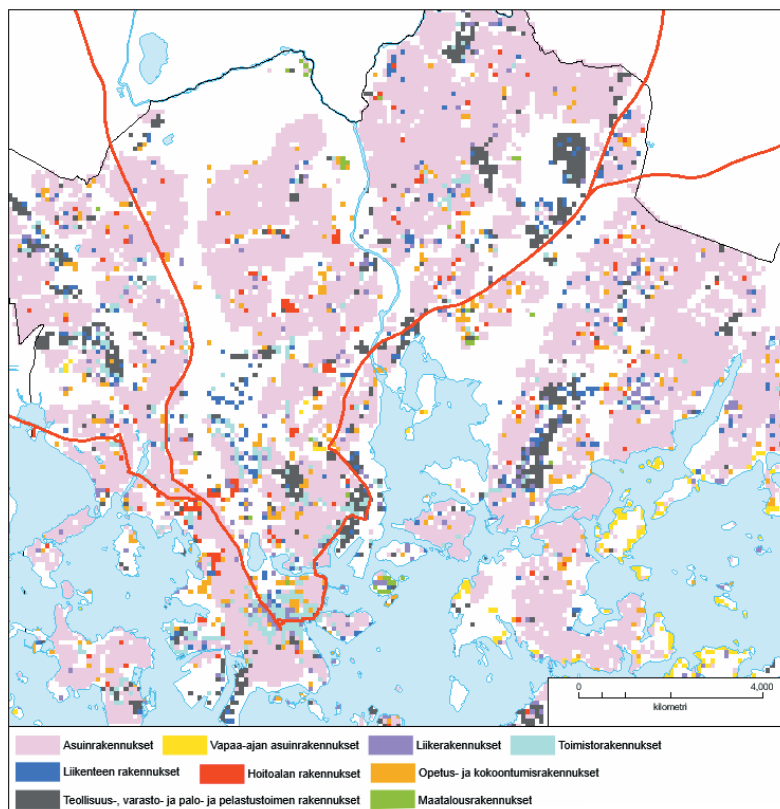
kuvaukset kaavaselostuksiin. Suuri osa nyt ”korjausikään” tulevista rakennuksista - jopa kolmasosa Helsingin rakennuskannasta - muodostaa yhtenäisiä aluekokonaisuuksia, joten rakenteiden ja taloteknisten järjestelmien korjaustarpeet esiintyvät alueittain hyvin samanlaisina. Esimerkiksi 1960- ja 70- luvun kerrostalotuotannon linjasaneeraus- ja julkisivukorjausten tarve on melko hyvin arvioitavissa. (SeutuCD, ERA17, Lounasheimo 2013, Helsingin kaupungin tietokeskus 2007, 2013, YTV 2007)

Kuvissa 7-14 esitellään Helsingin alueen lämmitystarveluvun alueellinen jakauma sekä erilaisia rakennuskantatietoja.

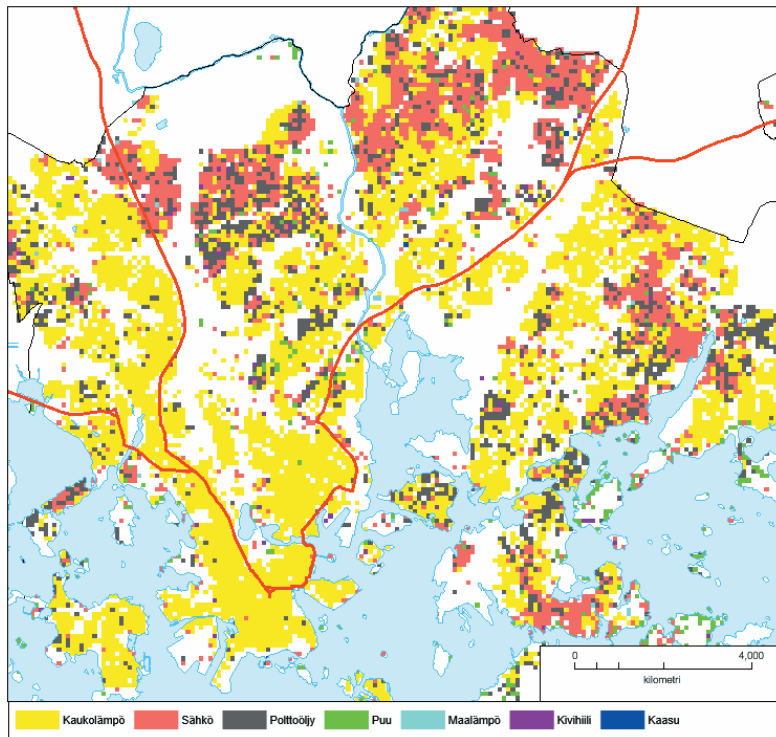
Rakennuskantakarttojen tietolähteenä on käytetty Helsingin seudun ympäristöpalvelut-kuntayhtymän (HSY) kokoamaa SeutuCD- rekisteriaineistoa vuodelta 2012. SeutuCD sisältää perusrekisteriaineistoja Helsingin, Espoon, Vantaan sekä Kauniaisten alueelta sekä erimitakaavaisia ja -laajuisia karttoja. Kartoissa vektorimuotoinen paikkatietoaineisto on muutettu hila-aineistoksi, siten että yksi ruutu vastaa maastossa 100m x 100m aluetta. Niissä tapauksissa, joissa kyseessä oli luokiteltu pistetieto, valittiin alkuperäisten pisteiden arvoista yleisin arvo edustamaan 100m x 100m aluetta. Tilavuuden ja pinta-alan osalta 100m x 100m hilan arvoksi laskettiin alkuperäisten pisteiden summa. Käytetty koordinaatisto on ETRS-GK25 – tasokoordinaatisto. Lämmitystarveluvun alueellista jakaumaa esittävässä kartassa on aikavälille 1.7.2009–30.6.2010 laskettu lämmitystarveluku interpoloitu yhden neliökilometrin hilaan. Kartat on tuotettu osana ILKKA-hanketta.



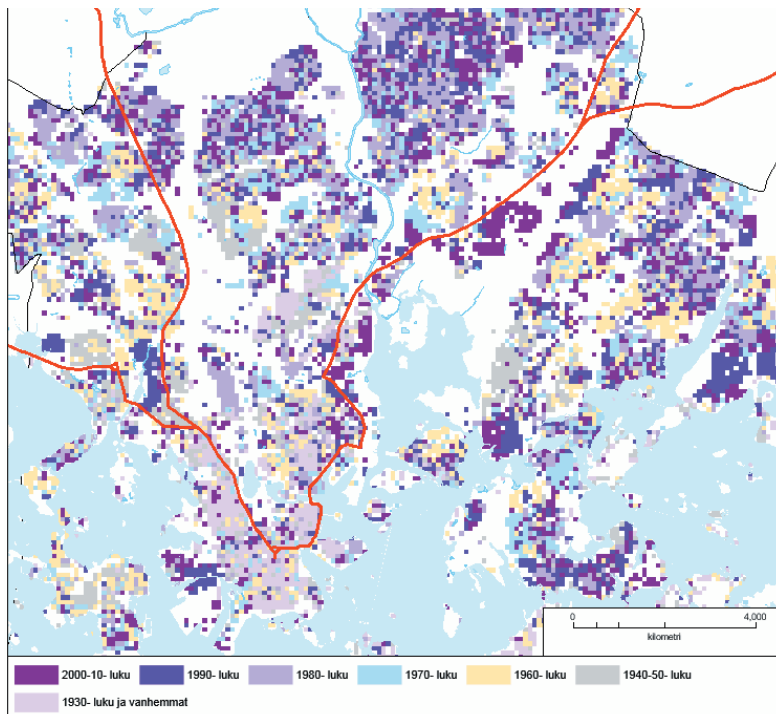
Kuva 7. Lämmitystarveluku 1.7.2009–30.6.2010. Valtatiet merkitty karttaan punaisella.



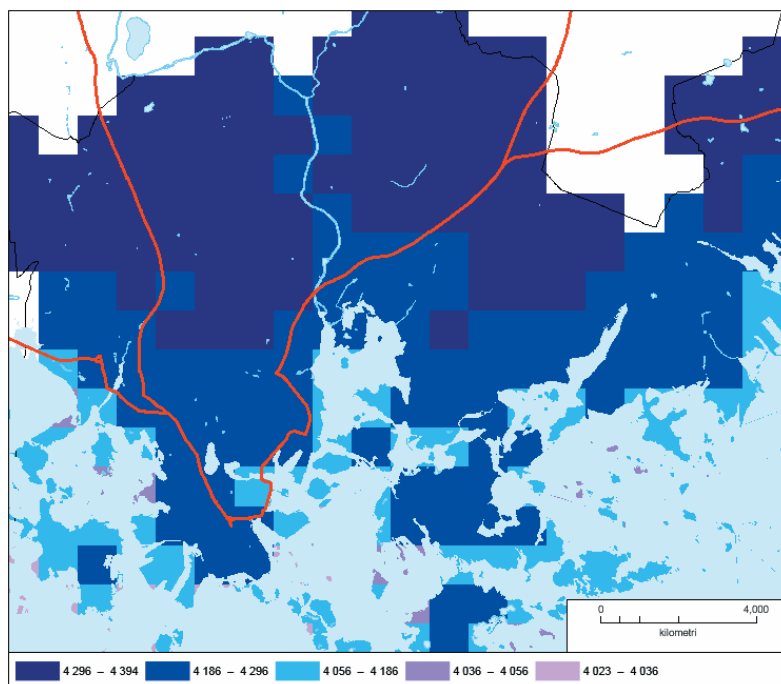
Kuva 8. Rakennusten käyttötarkoitus.



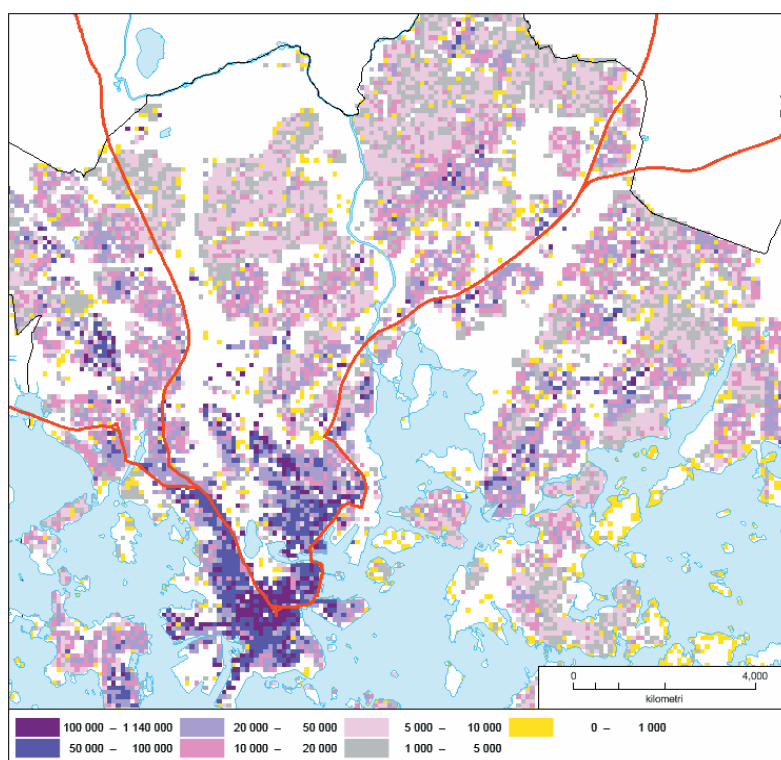
Kuva 9. Rakennusten lämmitystapa.



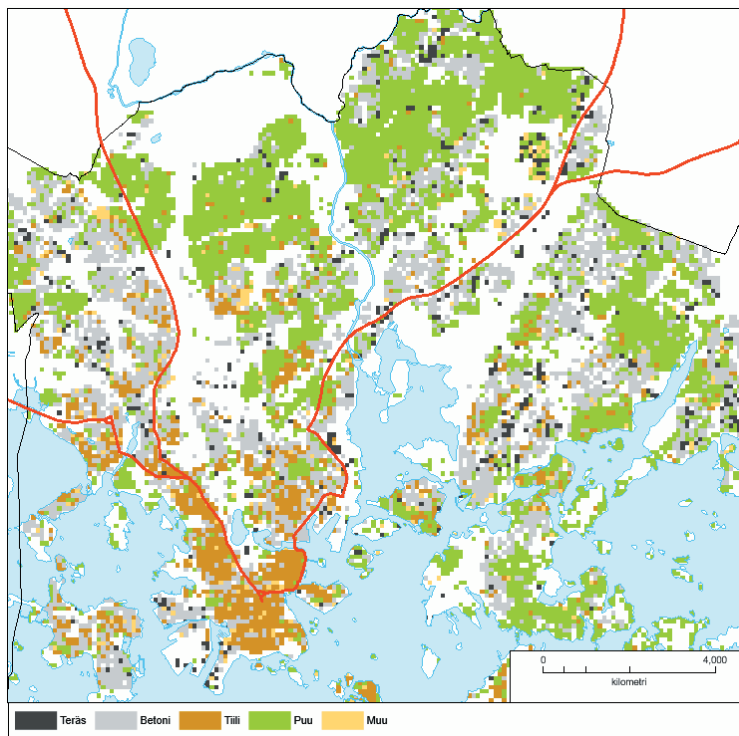
Kuva 10. Rakennusten käyttöönottovuosi.



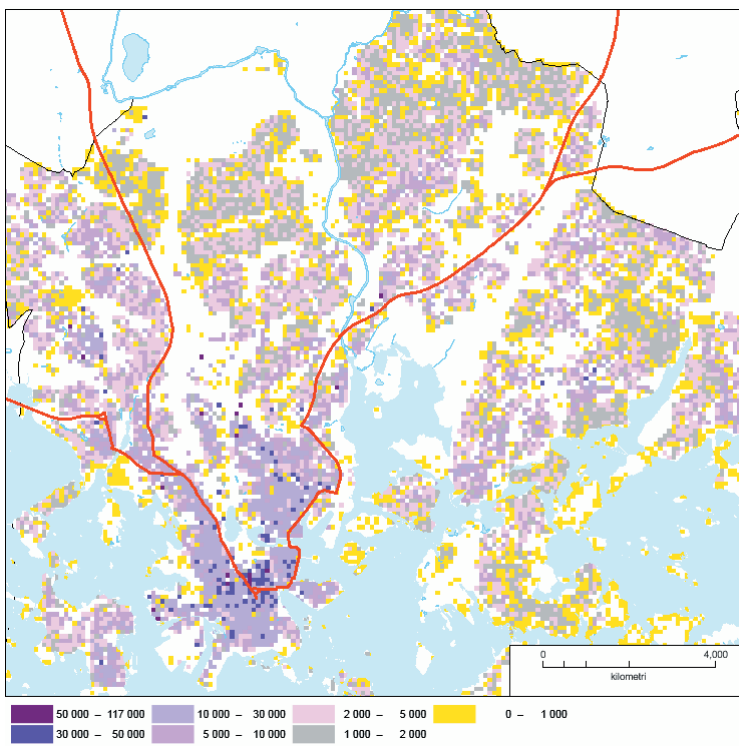
Kuva 11. Lämmitystarveluku 1.7.2009–30.6.2010. Valtatiet merkitty karttaan punaisella.



Kuva 12. Rakennusten tilavuus.



Kuva 13. Rakennusmateriaali.



Kuva 14. Rakennusten kerrosala.

Kuvissa 7-10 on esitelty lämmitystarveluvun jakaumaa, rakennusten käyttötapaa, lämmitystapaa ja rakennusten käyttöönottovuotta. Rakennuksen käyttötarkoitus tarkoittaa rakennusluvan mukaista rakennuksen pääasiallista käyttöä, joka määräytyy sen mukaan, mihin suurinta osaa rakennuksen kerrosalasta käytetään.

Kartoista voidaan huomata mm. että Pohjois-Helsingissä, jossa lämmitystarvelukua kertyy vuodessa enemmän kuin muualla on paljon 1980- ja 1990-luvulla rakennettuja taloja, joissa on suora sähkölämmitys.

Kuvissa 11-14 on esitetty lämmitystarveluvun jakauman lisäksi rakennusten tilavuus, rakennusmateriaali ja kerrosala. Rakennusten tilavuus on se rakennuksen tila, jota rajoittavat ulkoseinien ulkopinnat, alapohjan alapinta ja yläpohjan yläpinta. Tilavuus ilmoitetaan kuutiometreinä (m³). Rakennusmateriaali on rakennuksen kantavien rakenteiden pääasiallinen rakennusaine.

Kartoista nähdään, että Pohjois-Helsingissä kylmemmillä alueilla on vähemmän lämmitettävää tilavuutta kuin kantakaupungissa, mutta toisaalta paljon pinta-alaa. Puu rakennusaineena on yleisempi kylmemmillä alueilla, kun taas tiiltä ja betonia on käytetty paljon alueilla, jossa lämmitystarvetta kertyy vähemmän. Kerrosala- ja tilavuuskartat antavat melko samanlaisen kuvan Helsingin rakennuskannan alueellisesta jakaumasta.

Esimerkkejä pääkaupunkiseudun lämmitystarpeeseen vaikuttavista tekijöistä heinäkuusta 2009 kesäkuuhun 2010:

Rakennusten lämmitys- ja jäähdytystarpeeseen vaikuttavat lämpötilan lisäksi varsinkin auringonsäteily, mutta myös tuuli ja ilmankosteus. Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista –raportin mukaan kesällä auringonsäteilyn vaikutus lämmitysenergian kulutukseen on suunnilleen yhtä suuri kuin lämpötilan. Sen sijaan ilmankosteuden ja tuulen nopeuden vaikutukset ovat pieniä (Jylhä et al. 2011, s.31).

Helsingissä sijaitsevien havaintoasemien avulla voidaan tarkastella näiden ilmastosuureiden paikallista vaihtelua. Auringonsäteilyä ja auringonpaistetuntien määrää mitataan Helsingissä Kumpulassa ja Helsinki-Vantaan lentoasemalla. Havainnot aikavälille 1.7.2009–30.6.2010 on esitetty taulukossa 2.

Taulukosta nähdään, että keväällä paistetunteja kertyy lähempänä rannikkoa enemmän, kun kylmän meren vaikutuksesta kumpupilvikehitystä tapahtuu enemmän sisämaassa. Muina vuodenaikoina auringonpaisteajoissa ei tarkastelujaksolla ole suuria paikallisia eroja.

Taulukko 2. Helsinki-Vantaan lentoaseman ja Helsingin Kumpulan auringonpaistetuntien määrä ylimmillä riveillä ja kokonaissäteilyn määrä (MJ/m²) alemmilla harmailla riveillä 1.7.2009–30.6.2010

kk	7/2009	8/2009	9/2009	10/2009	11/2009	12/2009	1/2010	2/2010	3/2010	4/2010	5/2010	6/2010
Helsinki-Vantaa la	264	231	163	104	13	17	48	44	133	151	229	290
Helsinki Kumpula	277	231	161	99	17	13	42	39	130	154	241	284
Helsinki-Vantaa la	604	481	288	130	27	17	47	91	257	367	521	667
Helsinki Kumpula	625	472	284	123	20	13	38	73	236	355	544	656

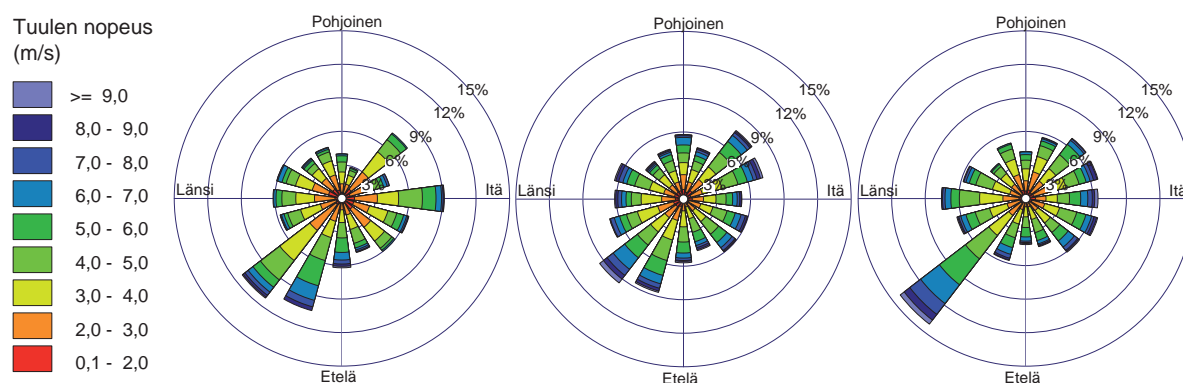
Lämpötilaa mitataan Helsingin Kumpulan ja Helsinki-Vantaan lentoaseman lisäksi Helsingin Kaisaniemessä ja Rautatientorilla (joulukuusta 2009 alkaen). Kuukausikeskilämpötilat aikavälille 1.7.2009–30.6.2010 on esitetty taulukossa 3. ja kahdella ylimmällä rivillä on Vantaan ja Kaisaniemen lämmitystarveluvut.

Syksyllä erottuu selvästi kuinka vielä lämmin meri nostaa Helsingin Kaisaniemen ja Kumpulan keskilämpötilaa verrattuna Vantaaseen. Talvikuukaudet ovat valitulla jaksolla keskimääräistä huomattavasti kylmempiä, mutta ero Kaisaniemen ja Vantaan kuukausikeskilämpötilan välillä on samansuuruinen kuin tyypillisestikin. Rautatientorin lämpimyys erottuu hyvin kylminä talvikuukausina, sen tammikuun keskilämpötila oli liki 3 astetta korkeampi kuin Vantaan.

Taulukko 3. Helsinki-Vantaan ja Helsinki Kaisaniemen lämmitystarveluku ylempänä ja keskilämpötila 1.7.2009–30.6.2010 alemmilla harmailla riveillä

kk	7/2009	8/2009	9/2009	10/2009	11/2009	12/2009	1/2010	2/2010	3/2010	4/2010	5/2010	6/2010
Helsinki-Vantaa la	6	0	76	424	435	692	910	730	611	370	127	0
Helsinki Kaisaniemi	5	0	52	396	402	639	850	702	584	372	127	0
Helsinki-Vantaa la	17,2	16,3	12,9	3,3	2,5	-5,3	-12,4	-9,1	-2,7	4,7	11,9	15,1
Helsinki Kaisaniemi	17,2	16,7	13,5	4,2	3,6	-3,6	-10,4	-8,1	-1,8	4,6	11,5	14,6
Helsinki Kumpula	17,3	16,6	13,3	4,0	3,2	-4,1	-10,9	-8,3	-1,9	4,8	11,9	14,9
Helsinki Rautatientori						-3,0	-9,6	-7,5	-1,1	5,1	11,9	15,2

Tuulta mitataan Helsinki-Vantaan lentoasemalla ja Helsingissä Kumpulassa ja Kaisaniemessä. Tuuliruusut ajalle 1.7.2009–30.6.2010 ovat kuvassa 15. Kaikissa tuuliruusuissa näkyvät osittain talvella vallinneet idänpuoleiset tuulet, mutta myös paikallisten olosuhteiden merkitys. Kaisaniemen tuulijakaumaan vaikuttavat kaupungin rakennukset, Helsinki-Vantaan lentoasemalla taas mm. kiitoteiden suunnat ja Kumpulassa Vanhankaupunginlahti, Kumpulanlaakso sekä yliopistokampuksen rakennukset. Tuuliolosuhteissa on siis varsin paljon paikallista vaihtelua, ja sen vuoksi tuulen vaikutusten mallintaminen rakennusten energiantarpeeseen on hankalaa.



Kuva 15. Helsinki Kaisaniemen, Helsinki-Vantaan lentoaseman ja Helsinki Kumpulan tuuliruusut 1.7.2009–30.6.2010

6. Kehitys- ja tutkimustarpeita

Tässä hankkeessa Suomen alueelle 10 km x 10 km hilaruudussa tuotettuja arvioita ilmastonmuutoksen vaikutuksista lämmitystarvelukuun ja jäähdytystarvelukuun voitaisiin hyödyntää yhdyskuntasuunnittelussa monin tavoin - sekä uusien alueiden suunnittelussa että täydennysrakentamisessa:

- Pienilmasto-olosuhteet voidaan ottaa paremmin huomioon kaavoittamisessa ja rakennusten sijoittelussa, kun tunnistetaan kylmät ja lämpimät alueet.
- Voidaan laatia paikallisia skenaarioita ilmastonmuutoksen vaikutuksista esimerkiksi mallittaa paikallista lämmitys/jäähdytysenergiatarpeen muutoksia ilmaston muuttuessa ja sen seurauksena vaikutuksia paikallisiin kasvihuonekaasupäästöihin.
- Voidaan arvioida rakentamisen vaikutuksia pienilmastoon. Rakennusmassa varastoi energiaa ja tiheästi rakennetuilla alueilla rakennukset muuttavat kaupunkien pienilmastoa (kaupunkien lämpösaareke).

Koko maahan tuotettujen lämmitystarveluvun paikkatietojen lisäksi esitettiin esimerkkejä tarkemmista ilmasto- ja rakennuskantatiedoista paikkatietoina Helsingin alueella. Tulevaisuudessa ilmastotiedon ja rakennuskantatiedon yhdistämistä voitaisiin jatkaa uusissa yhteyksissä ja niitä voitaisiin hyödyntää myös yksittäisten rakennusten tapauksissa. Tätä mahdollisuutta tukee myös se, että kaikille rakennuksille tulee pysyvä rakennustunnus vuoden 2014 loppuun mennessä. Mahdollinen sovellus tarkemman paikkatiedon hyödyntämiseksi tulevaisuudessa on mm. rakennusten energiatehokkuutta parantavien toimien vaikutusten arviointi.

Lämmitystarpeen seurannan ja normittamisen lisäksi lämmitystarpeen ennustetiedolle on kysyntää. Useat energiayhtiöt ovat hyödyntäneet jo pitkään sääennusteita alueellisen kysynnän ennakoimisessa. Jatkossa energiatarpeen reaaliaikaista seuranta ja ennakointia voitaisiin kehittää myös yksittäisten rakennusten tekniikan hallinnassa.

Lämmitystarveluku on laskettu tässä raportissa käyttäen vakiintunutta lämmitystarveluvun laskentatapaa. Tulevaisuudessa olisi kuitenkin tarpeen kehittää lämmitystarveluvun laskentamenetelmiä vastaamaan paremmin muuttuvaa rakennuskantaa ja erilaisia rakennusten

käyttötapoja. Esimerkiksi vuoden 2020 jälkeen rakennettavien talojen tulisi olla lähes nollae-nergiarakennuksia ja rakennusten energiatehokkuuteen parantamiseksi ja uusiutuvan energian hyödyntämiseksi tehdään paljon kehitystyötä. Nykyinen lämmitystarvelukuindikaattori, joka perustuu ulkoilman ja sisälämpötilan erotukseen, yksinkertaistaa rakennusten energiantarpeen sääriippuvuutta huomattavasti muutoinkin. Lämpötilan lisäksi energiantarve riippuu myös säteilytaseesta (auringonsäteily ja säteilyjäähdyminen), kosteudesta ja tuulesta. On syytä huomioida myös, että uusiutuvan energian ja erityisesti aurinkoenergian hyödyntäminen lisääntyy.

Tulevaisuudessa rakennusten energiankulutusseurannan perusjakson on viikko ja tätä seurantaa varten tarvitaan viikoittainen lämmitystarveluku, sillä eri vuosina kuukausiin osuu eri määrä viikonloppuja ja viikonloppuisin kulutus on erilainen kuin viikolla.

Lähteet:

Goovaerts, P. (1997). Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Applied Geostatistics Series. Oxford University Press.

Jylhä, Kirsti, Kalamees, Targo, Tietäväinen, Hanna, Ruosteenoja, Kimmo, Jokisalo, Juha, Hyvönen, Reijo, Ilomets, Simo, Saku, Seppo ja Huttila, Asko. Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista, Ilmatieteen laitoksen raportteja 2011:6

Lounasheimo, Johannes, 2013. Pääkaupunkiseudun ilmastoraportti - Päästöjen kehitys 2012, Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä, HSY:n julkaisuja 10/2013

Emissions scenarios, IPCC, 2000, Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.), Cambridge University Press, UK. pp 570.

Pilli-Sihvola K., Aatola P., Ollikainen M., Tuomenvirta H. 2010. Climate change and electricity consumption – Witnessing increasing or decreasing use and costs? Energy Policy 38 (5), 2409-2419.

Pääkaupunkiseudun ilmastostrategia 2030, YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta, YTV:n julkaisuja 24/2007

Rakentaminen Helsingissä 1970–2006, Tilastoja - Helsingin kaupungin tietokeskus 2007:20.

Ruosteenoja, Kimmo, Räisänen, Jouni, Jylhä, Kirsti, Mäkelä, Hanna, Lehtonen, Ilari, Simola, Henriikka, Luomaranta, Anna, Weiher, Stefan. Maailmanlaajuisiin CMIP3-malleihin perustuvia arvioita Suomen tulevasta ilmastosta, Ilmatieteen laitoksen raportteja 2013:4

Vihavainen, Maija ja Kuparinen, Virva. Asuminen Helsingissä 1990–2012 tilastojen valossa, Tilastoja - Helsingin kaupungin tietokeskus 2013:39.

ACCLIM-hanke: <http://ilmatieteenlaitos.fi/acclim-hanke>

SETUKLIM-hanke: <http://ilmatieteenlaitos.fi/setuklim>

SeutuCD: <http://www.hsy.fi/seututieto/kaupunki/paikkatiedot/seutucd/Sivut/default.aspx>

Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut [verkkojulkaisu]. ISSN=1797-6049. 2012, Liitekuvio 2. Suomen kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain vuonna 2012. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 15.5.2014]. <http://tilastokeskus.fi/til/khki>

Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus [verkkojulkaisu]. ISSN=1799-795X. 4. vuosineljännes 2013, Liitekuvio 14. Energian loppukäyttö sektoreittain 2013. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 15.5.2014]. <http://www.tilastokeskus.fi/til/ehk/2013/04>

ERA 17 Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. Ympäristöministeriö, Sitra ja Tekes. <http://era17.fi/>

LIITE 1. Laskentakaavat

Lämpötilan kuukausikeskiarvoista tuotettiin vuorokauden keskilämpötila-arvot fourier-sovituksena. Vuorokausiarvot kullekin hilapisteelle ja eri skenaarioille laskettiin käyttäen harmonista analyysyä. Mukana on 6 sini- ja kosinitermiä:

$$\begin{aligned} \text{TDAY} = & A + \\ & S1 * \sin(P * 2 * \pi / 365) + C1 * \cos(P * 2 * \pi / 365) + \\ & S2 * \sin(2 * P * 2 * \pi / 365) + C2 * \cos(2 * P * 2 * \pi / 365) + \\ & \dots \\ & S6 * \sin(6 * P * 2 * \pi / 365) + C6 * \cos(6 * P * 2 * \pi / 365) \end{aligned}$$

Missä P on päivän juokseva numero vuoden alusta (1 ... 365).

Kertoimet A, S1, ..., C6 saatiin laskemalla yllä oleva yhtälö kaikille 12 kuukausiarvolle, joiden P-arvo oli kuukauden keskimmäisen päivän arvo (16. tammikuuta = 16 ja 16. joulukuuta=335).

Laskenta tehtiin R-ohjelmistolla ja lineaarinen malli määriteltiin seuraavasti:

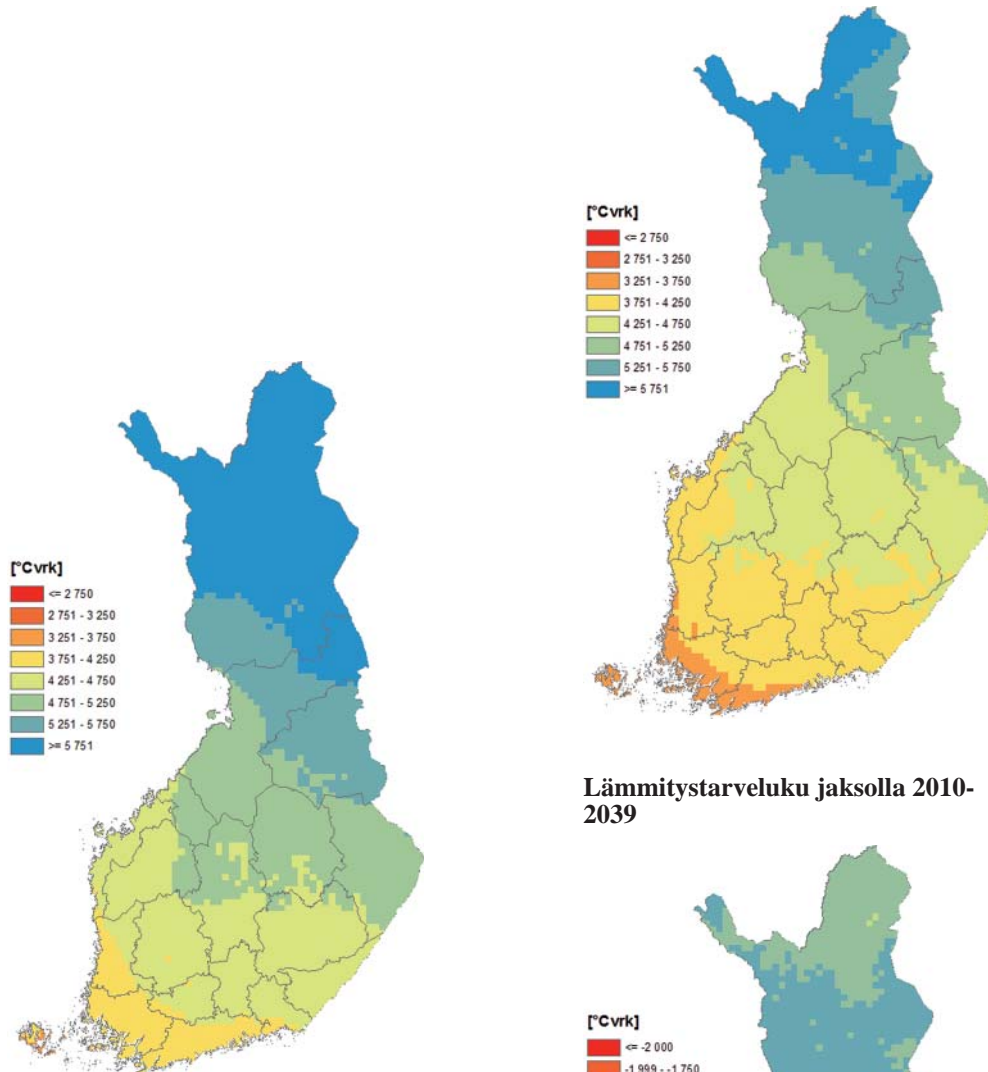
```
harmonic_model <- lm(temp.monthly~sin(jul_pv*2*pi/365)+cos(jul_pv*2*pi/365)+
  sin(2*jul_pv*2*pi/365)+cos(2*jul_pv*2*pi/365)+
  sin(3*jul_pv*2*pi/365)+cos(3*jul_pv*2*pi/365)+
  sin(4*jul_pv*2*pi/365)+cos(4*jul_pv*2*pi/365)+
  sin(5*jul_pv*2*pi/365)+cos(5*jul_pv*2*pi/365)+
  sin(6*jul_pv*2*pi/365)+cos(6*jul_pv*2*pi/365))
```

Näin saaduista vuorokausiarvoista laskettu kuukausikeskiarvo poikkesi joissakin tapauksissa alkuperäisestä kuukausikeskiarvosta 0,1 – 0,2 astetta. Jotta laskennallinen kuukausikeskiarvo saatiin lähemmäs alkuperäistä arvoa, laskettiin alkuperäisen ja uudelleenlasketun kuukausikeskiarvojen erotus ja muodostettiin aiemman mallin avulla erotuksien vuorokausiarvot. Nämä vuorokauden erotusarvot laskettiin yhteen aiemmin saatujen vuorokausiarvojen kanssa, minkä jälkeen sama tarkastus kuin edellisen laskentakierroksen jälkeen tehtiin uudelleen. Mikäli laskennallinen kuukausiarvo poikkesi alkuperäisestä kuukausiarvosta, jatkettiin jäännösarvojen uudelleenlaskentaa niin kauan, että päästiin haluttuun tarkkuustasoon.

LIITE 2.

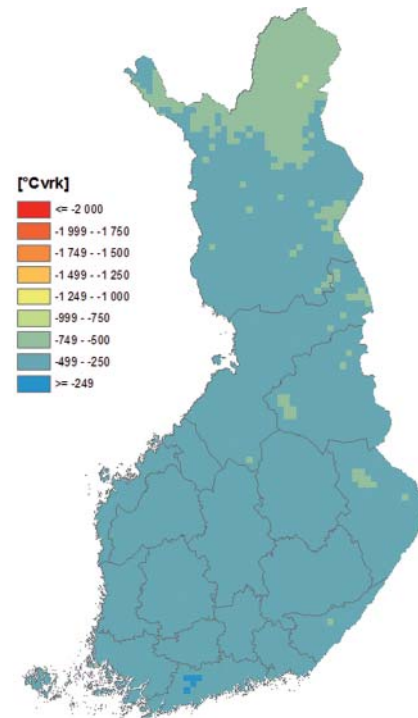
**KARTAT LÄMMITYS- JA JÄÄHDYTYSTARVELUVUN
MUUTOKSISTA**

Lämmitystarveluvun muutos melko suurilla päästöillä (skenaario A1B)



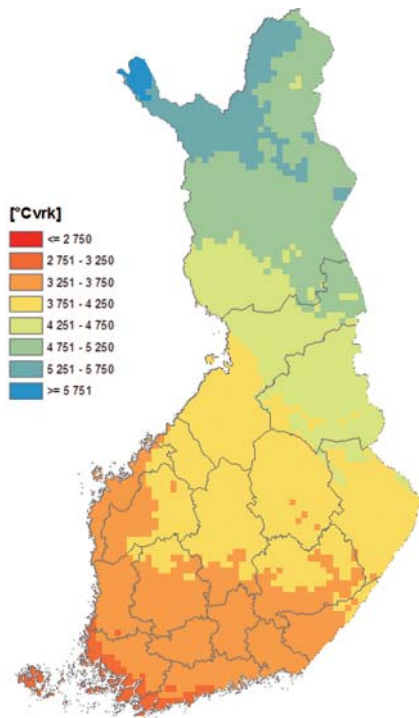
Lämmitystarveluku nykyilmastossa

Lämmitystarveluku jaksolla 2010-2039

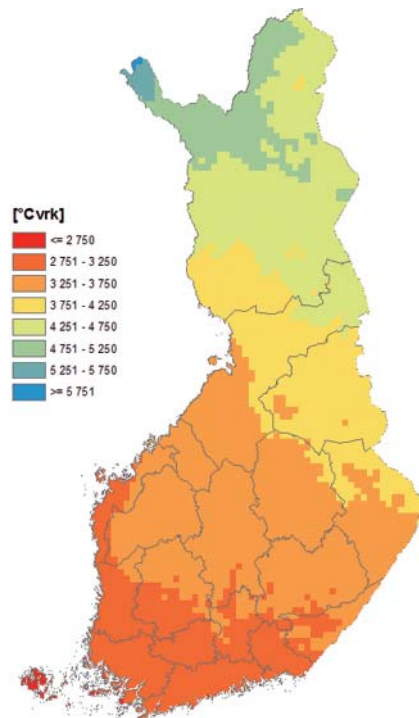


Jakson 2010-2039 lämmitystarveluvun muutos nykyilmastoon verrattuna

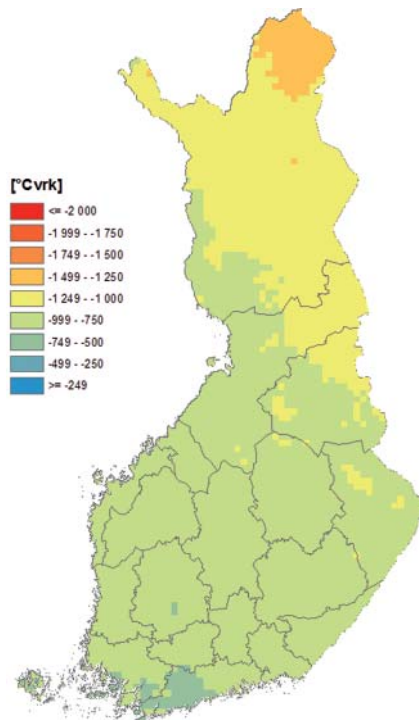
Lämmitystarveluvun muutos melko suurilla päästöillä (skenaario A1B)



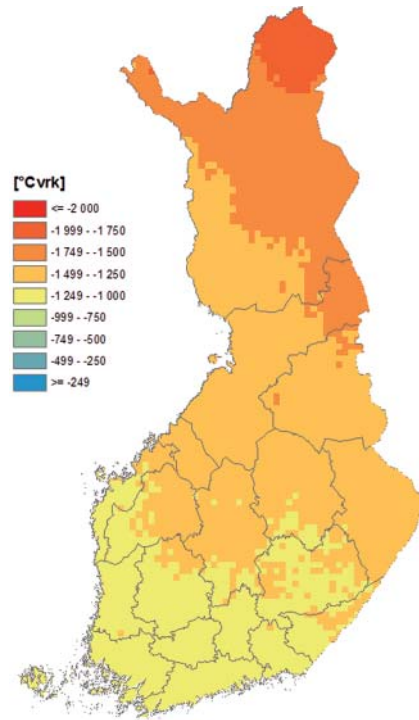
Lämmitystarveluku jaksolla 2040-2069



Lämmitystarveluku jaksolla 2070-2099

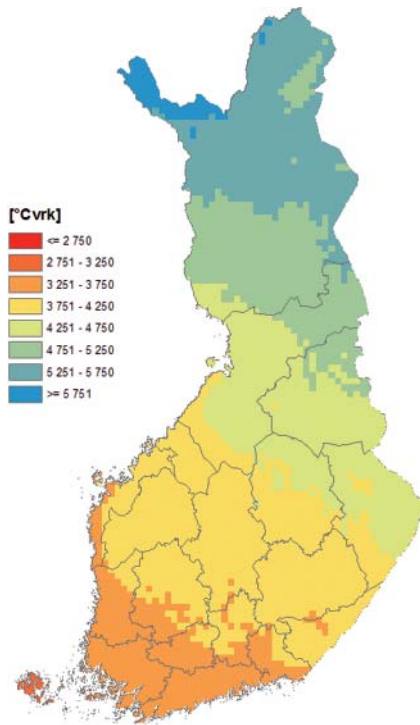


Jakson 2040-2069 lämmitystarveluvun muutos nykyilmastoon verrattuna

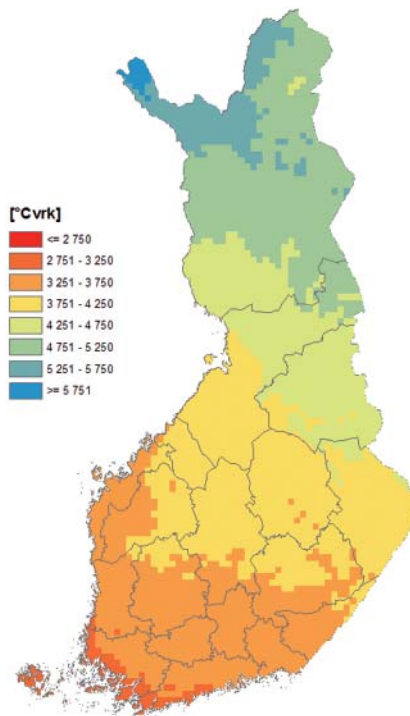


Jakson 2070-2099 lämmitystarveluvun muutos nykyilmastoon verrattuna

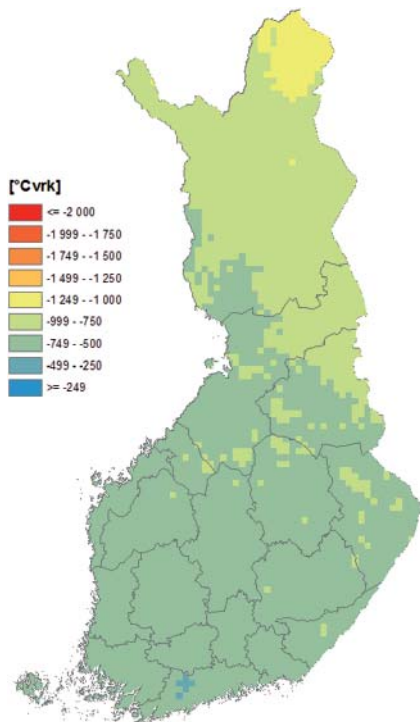
Lämmitystarveluvun muutos pienillä päästöillä (skenaario B1)



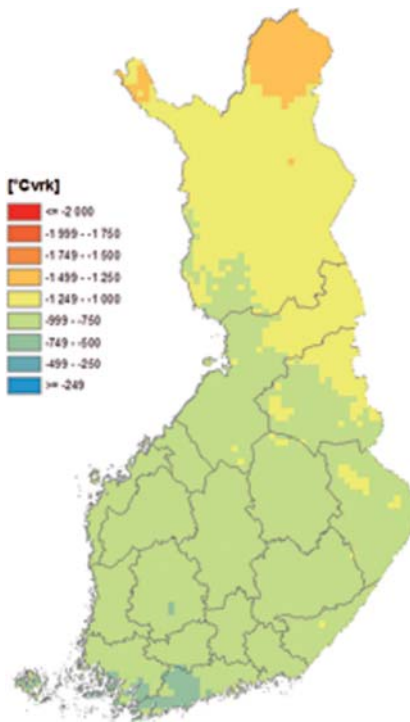
Lämmitystarveluku jaksolla 2040-2069



Lämmitystarveluku jaksolla 2070-2099

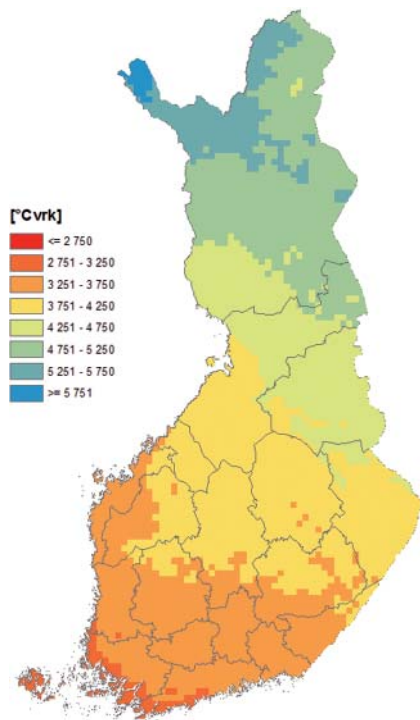


Jakson 2040-2069 lämmitystarveluvun muutos nykyilmastoon verrattuna

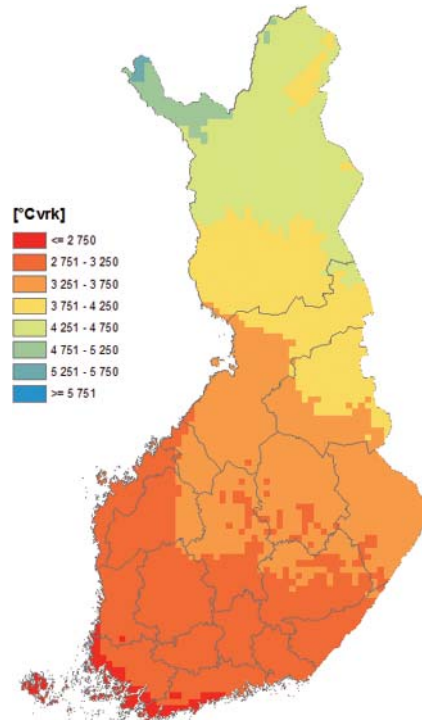


Jakson 2070-2099 lämmitystarveluvun muutos nykyilmastoon verrattuna

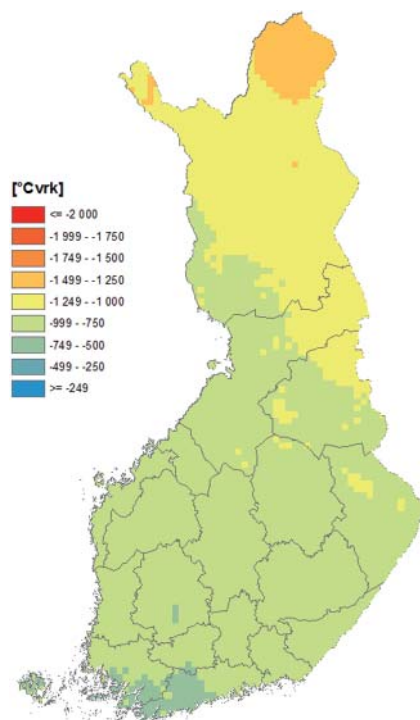
Lämmitystarveluvun muutos suurilla päästöillä (skenaario A2)



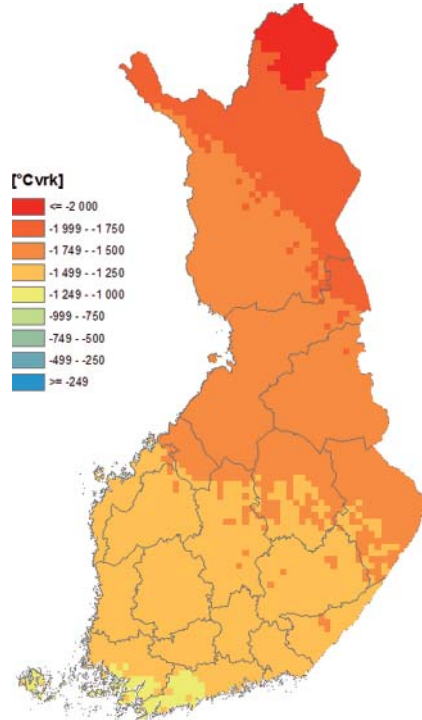
Lämmitystarveluku jaksolla 2040-2069



Lämmitystarveluku jaksolla 2070-2099

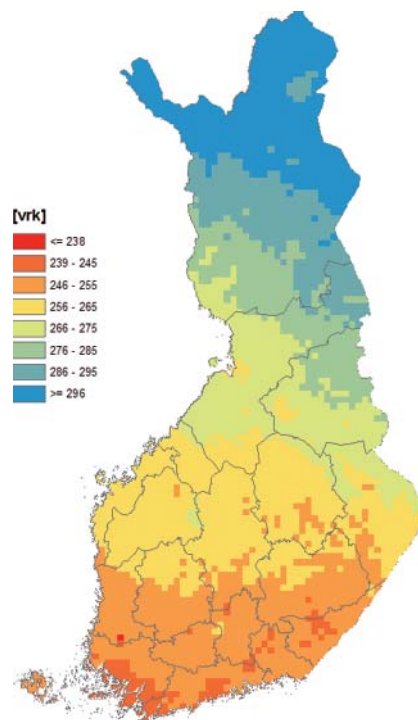
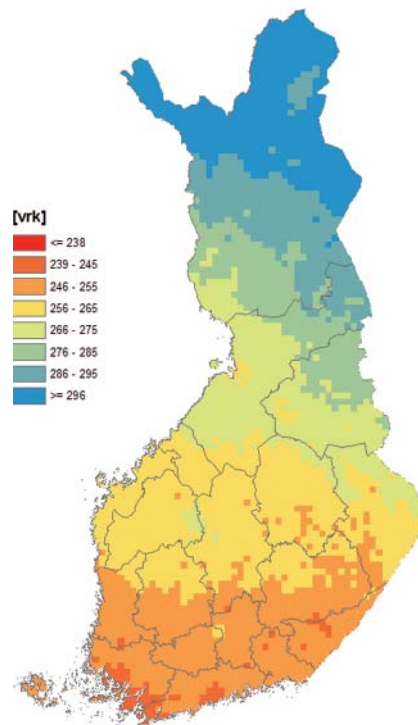
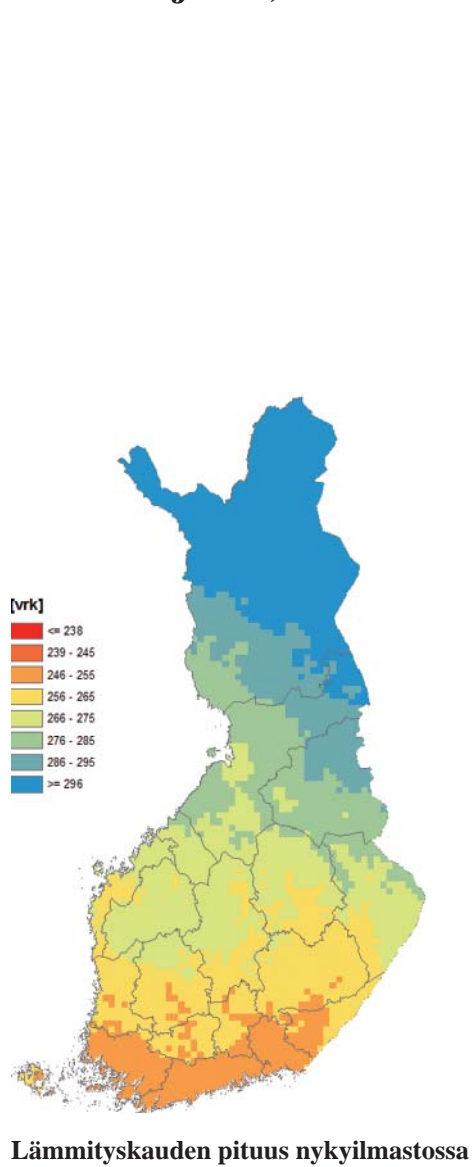


Jakson 2040-2069 lämmitystarveluvun muutos nykyilmastoon verrattuna

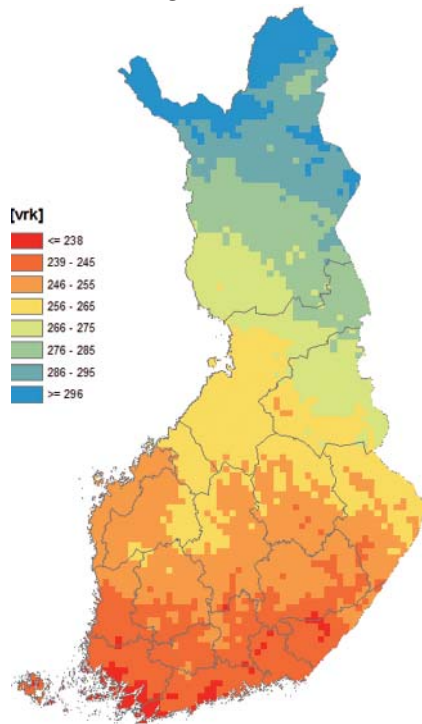


Jakson 2070-2099 lämmitystarveluvun muutos nykyilmastoon verrattuna

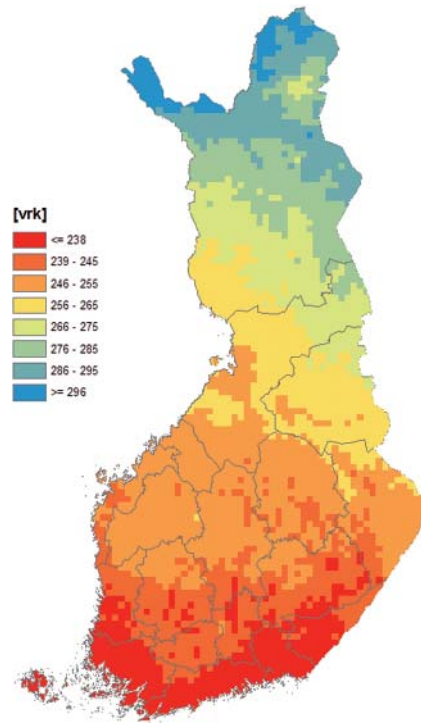
Lämmityskauden pituus pienillä ja suurilla päästöillä (skenaario B1 ja A2)



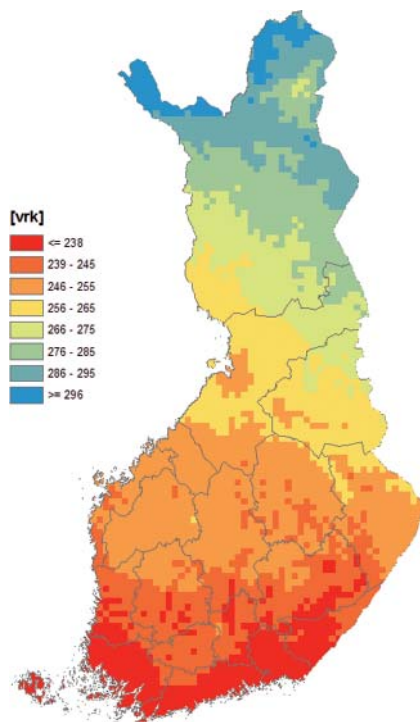
Lämmityskauden pituus pienillä ja suurilla päästöillä (skenaario B1 ja A2)



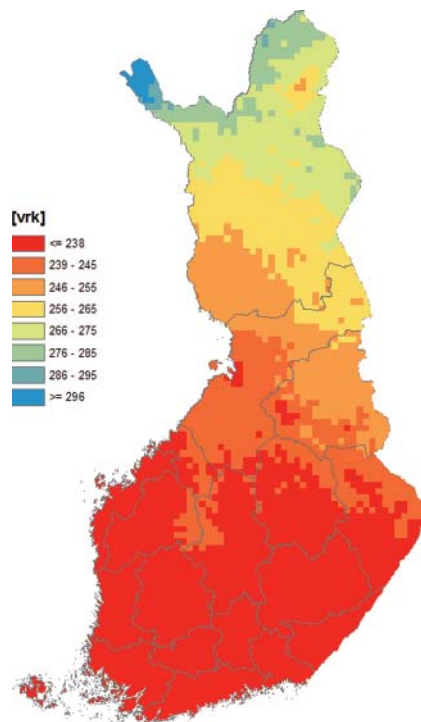
Lämmityskauden pituus jaksolla 2040-2069
skenaariossa B1



Lämmityskauden pituus jaksolla 2070-2099
skenaariossa B1

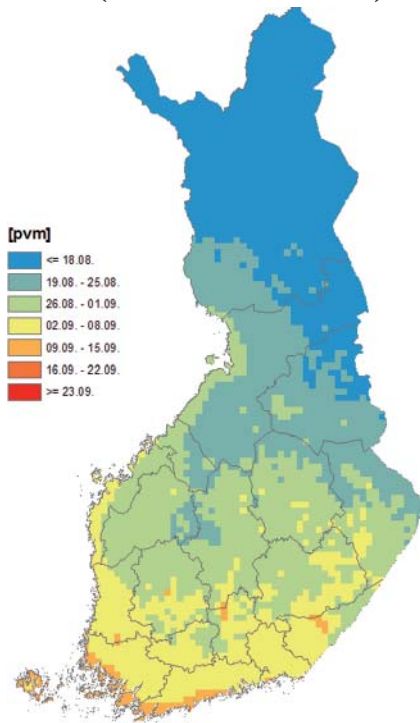


Lämmityskauden pituus jaksolla 2040-2069
skenaariossa A2

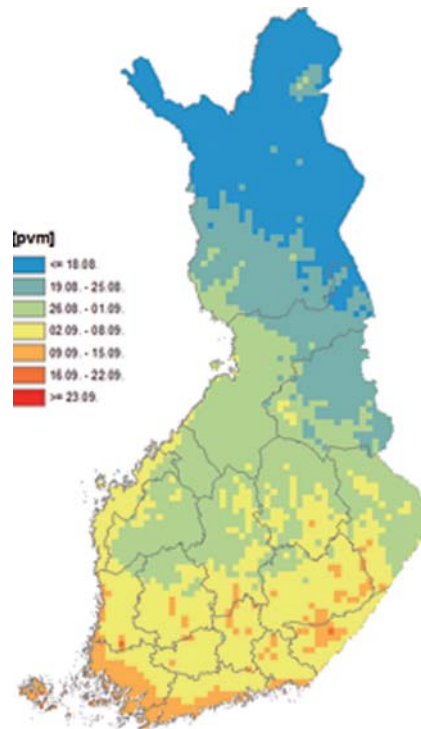


Lämmityskauden pituus jaksolla 2070-2099
skenaariossa A2

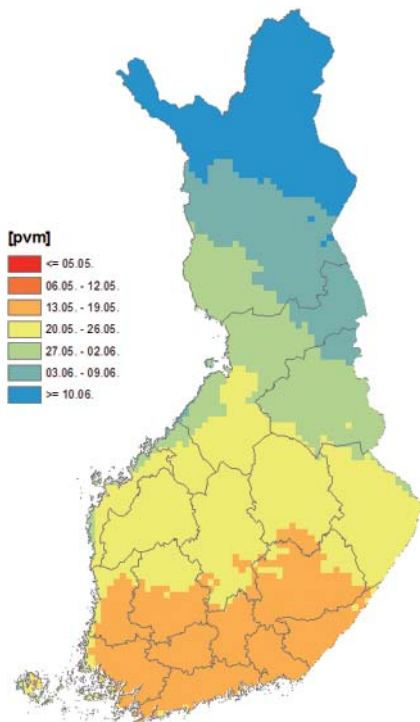
Lämmityskauden alun ja lopun ajankohdat melko suurilla päästöillä (skenaario A1B)



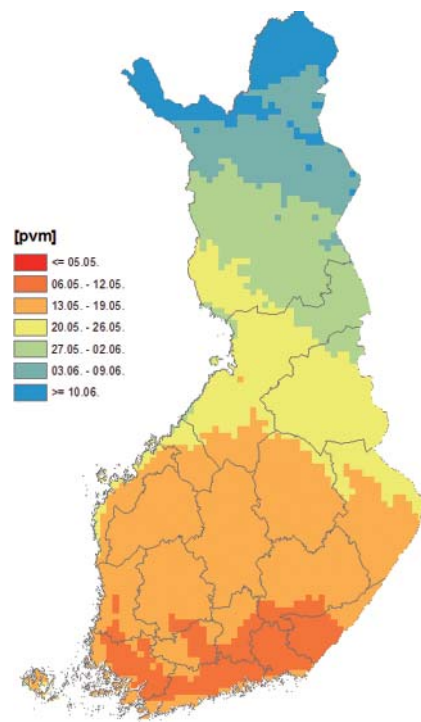
Lämmityskauden alku nykyilmastossa



Lämmityskauden alku jaksolla 2010-2039

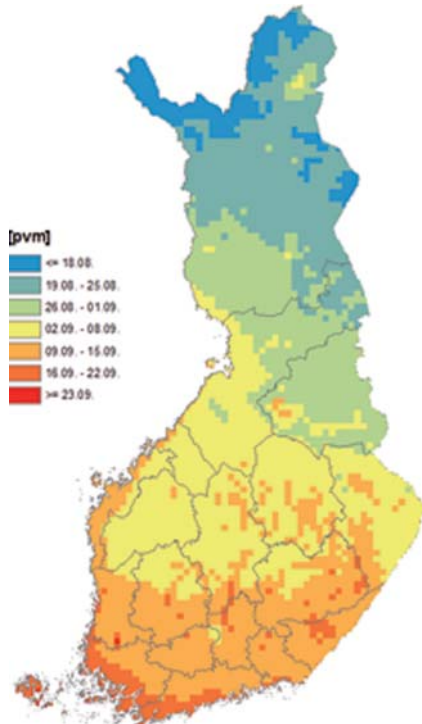


Lämmityskauden loppu nykyilmastossa

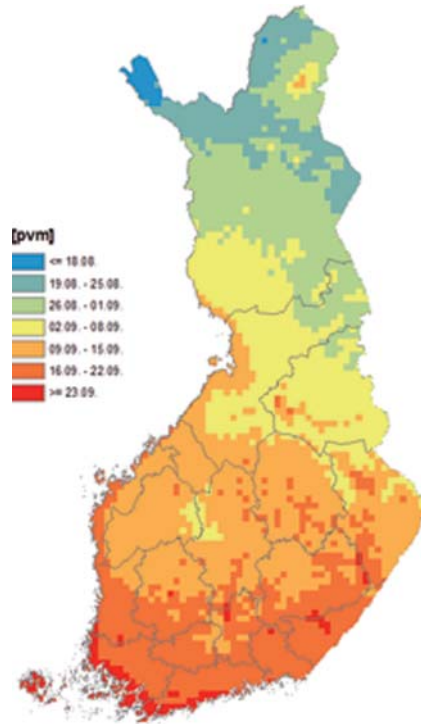


Lämmityskauden loppu jaksolla 2010-2039

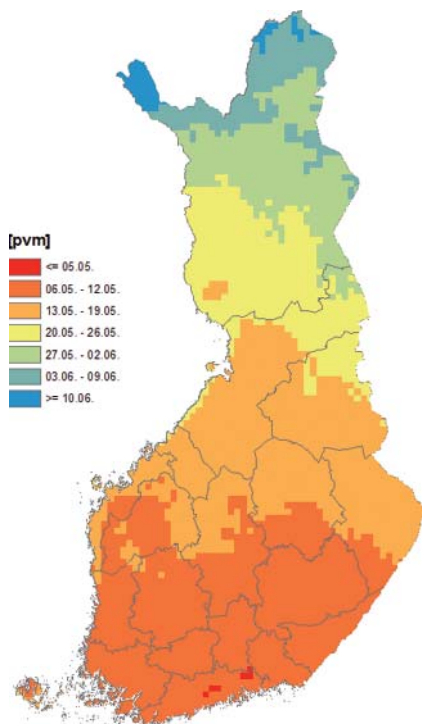
Lämmityskauden alun ja lopun ajankohdat melko suurilla päästöillä (skenaario A1B)



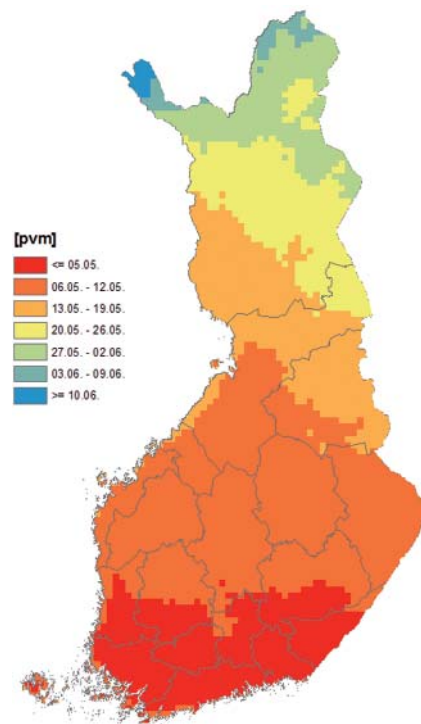
Lämmityskauden alku jaksolla 2040-2069



Lämmityskauden alku jaksolla 2070-2099

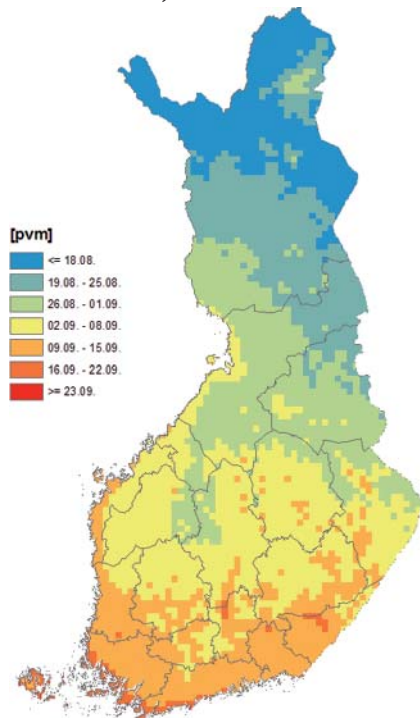


Lämmityskauden loppu jaksolla 2040-2069

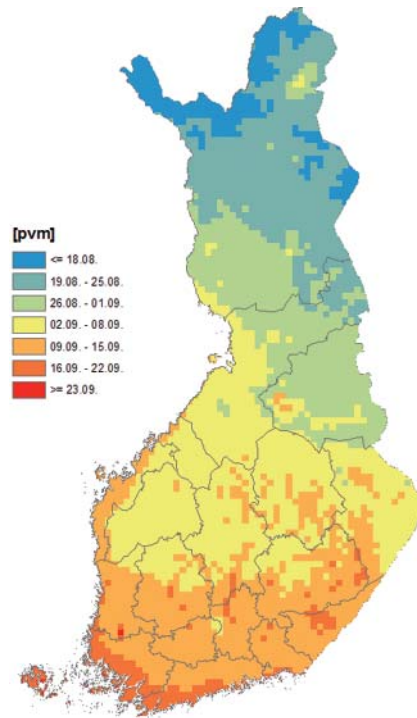


Lämmityskauden loppu jaksolla 2070-2099

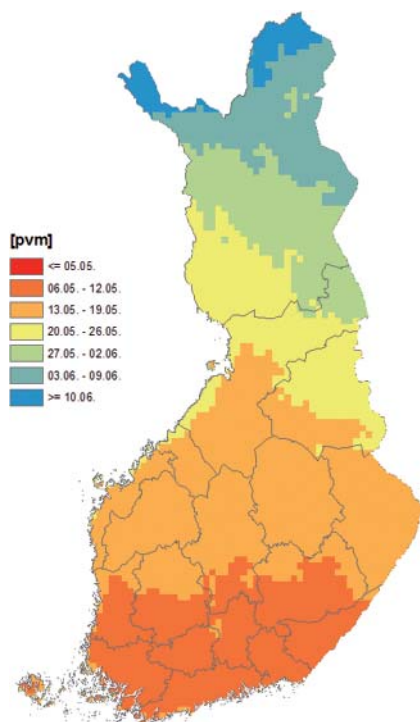
Lämmityskauden alun ja lopun ajankohdat pienillä päästöillä (skenaario B1)



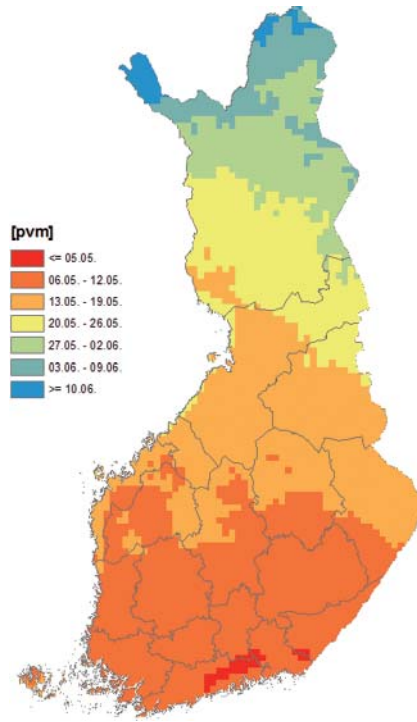
Lämmityskauden alku jaksolla 2040-2069



Lämmityskauden alku jaksolla 2070-2099

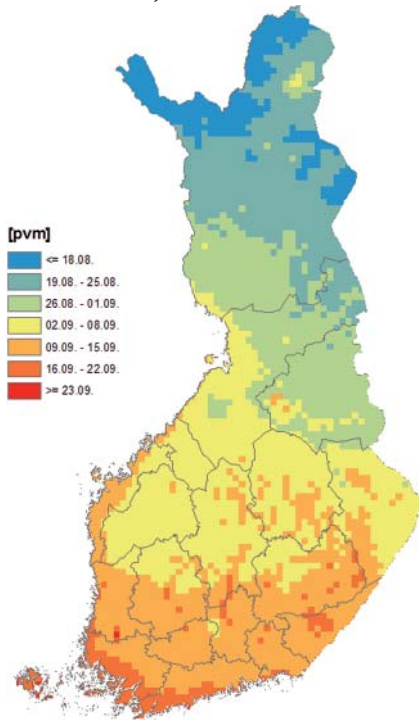


Lämmityskauden loppu jaksolla 2040-2069

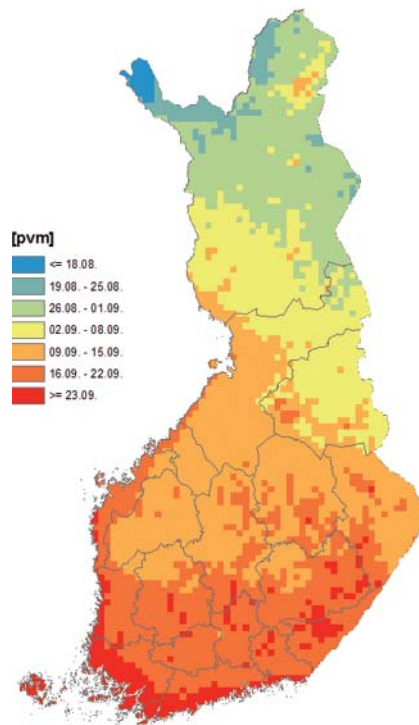


Lämmityskauden loppu jaksolla 2070-2099

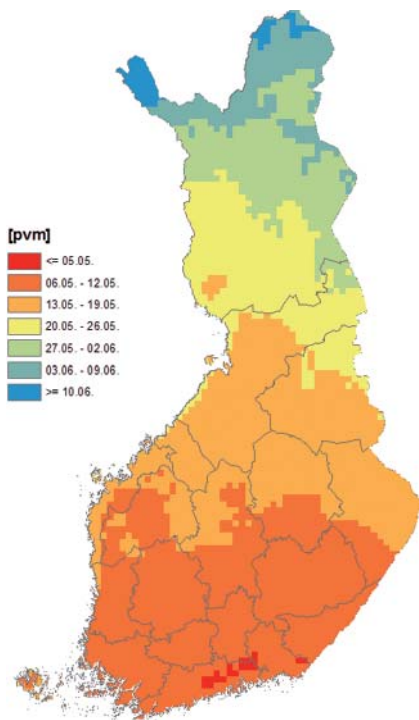
Lämmityskauden alun ja lopun ajankohdat suurilla päästöillä (skenaario A2)



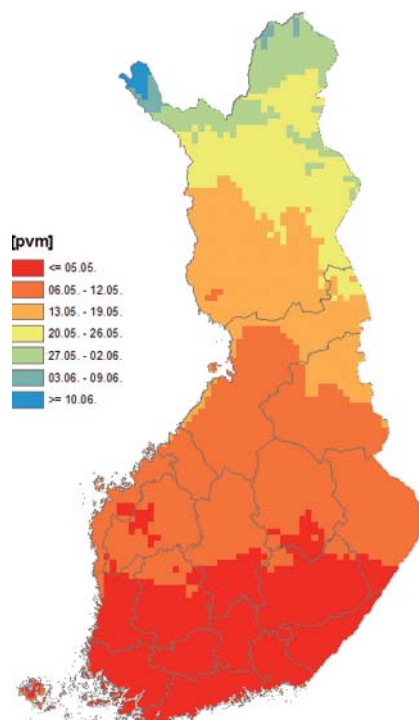
Lämmityskauden alku jaksolla 2040-2069



Lämmityskauden alku jaksolla 2070-2099

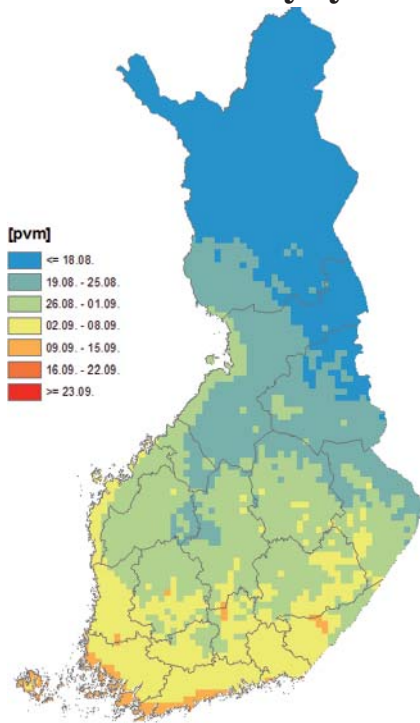


Lämmityskauden loppu jaksolla 2040-2069

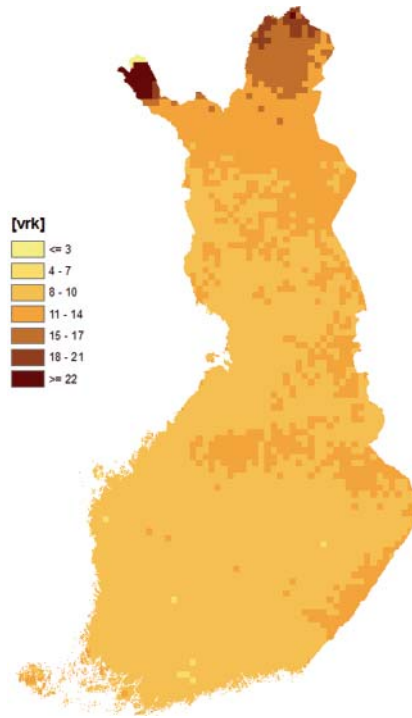


Lämmityskauden loppu jaksolla 2070-2099

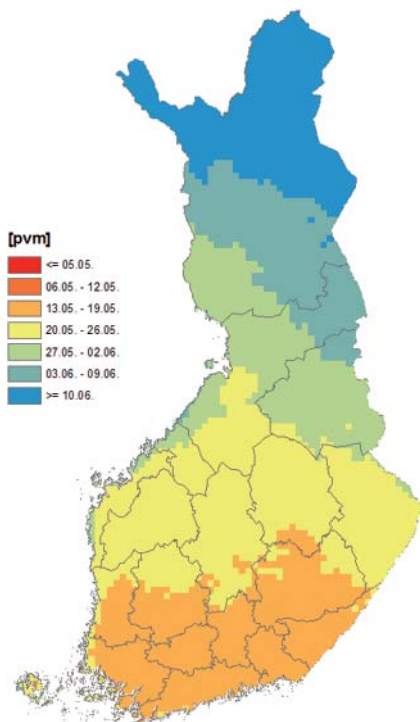
Jakson 2070-2099 lämmityskauden alun ja lopun ajankohdan muutos verrattuna nykyilmastoon



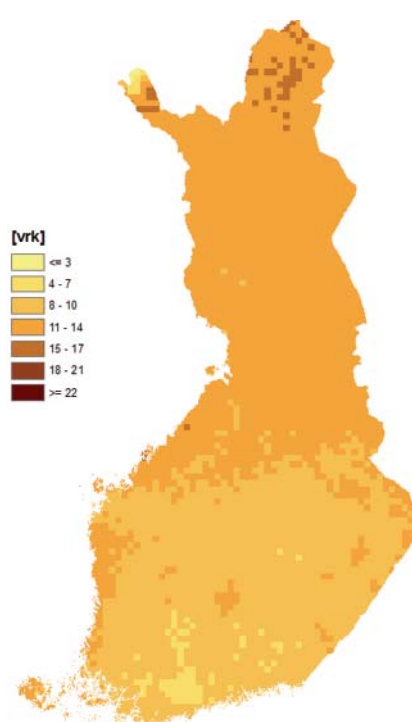
Lämmityskauden alku nykyilmastossa



Lämmityskauden alun siirtyminen myöhäisemmäksi skenaariossa B1

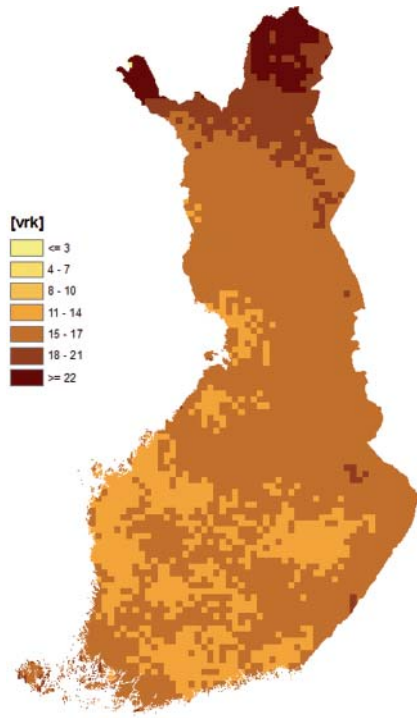


Lämmityskauden loppu nykyilmastossa

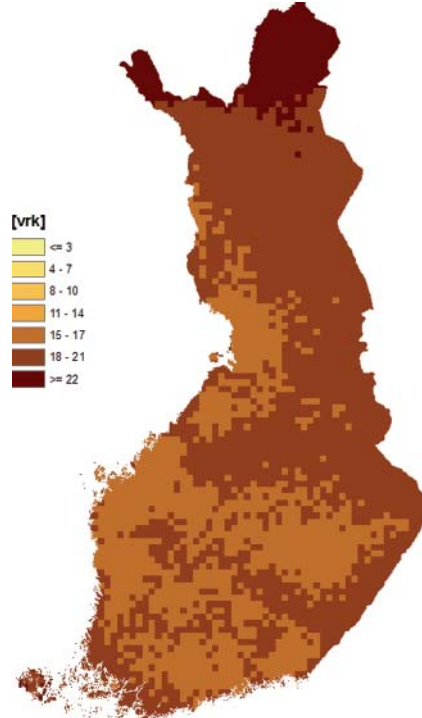


Lämmityskauden lopun aikaistuminen skenaariossa B1

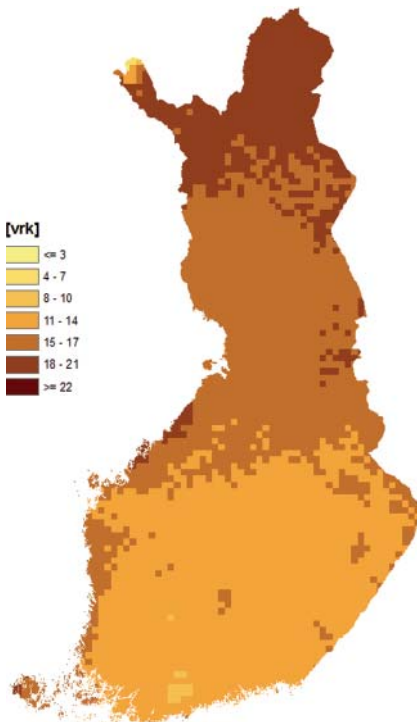
Jakson 2070-2099 lämmityskauden alun ja lopun ajankohdan muutos verrattuna nykyilmastoon



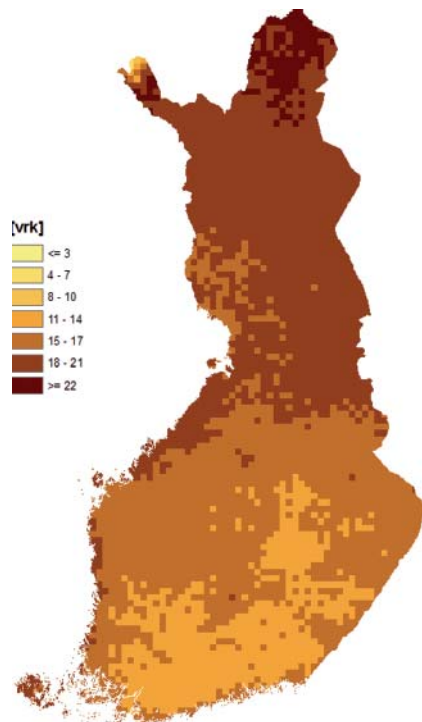
Lämmityskauden alun siirtyminen myöhäisemmäksi skenaariossa A1B



Lämmityskauden alun siirtyminen myöhäisemmäksi skenaariossa A2

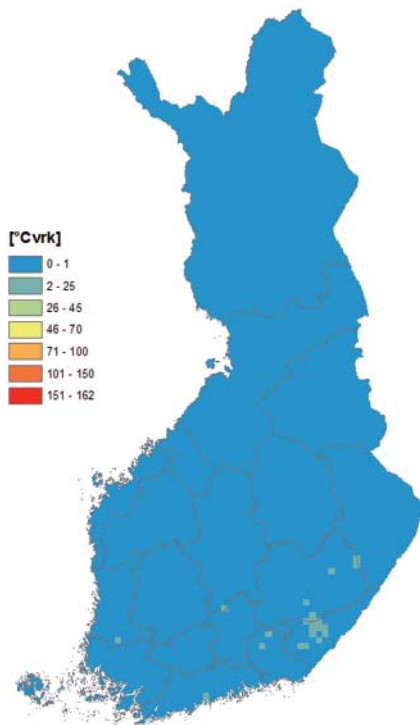


Lämmityskauden lopun aikaistuminen skenaariossa A1B

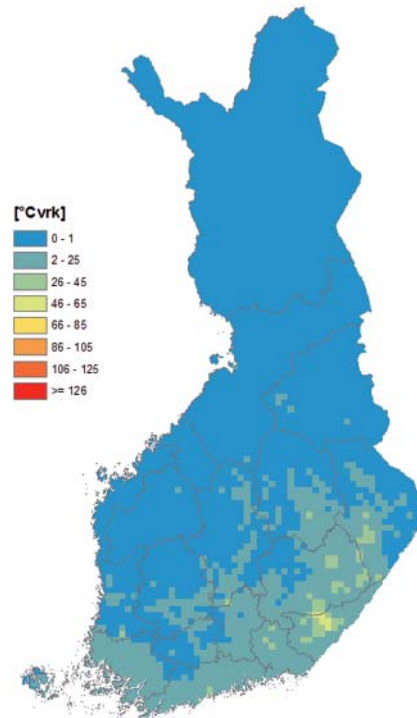


Lämmityskauden lopun aikaistuminen skenaariossa A2

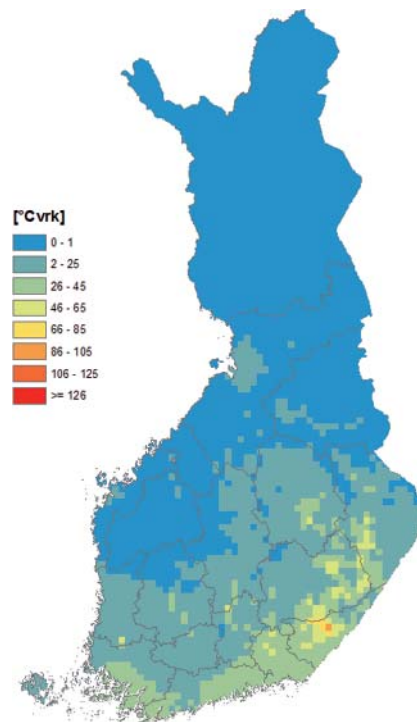
Jäähdytystarveluku



Jäähdytystarveluku nykyilmastossa

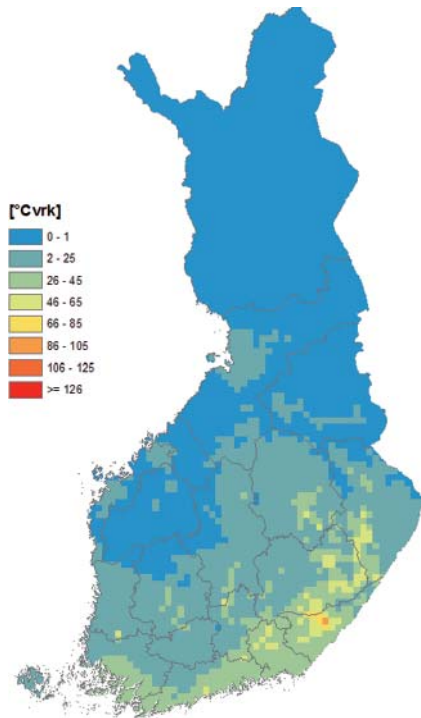


Jäähdytystarveluku jaksolla 2040-2069 skenaariossa B1

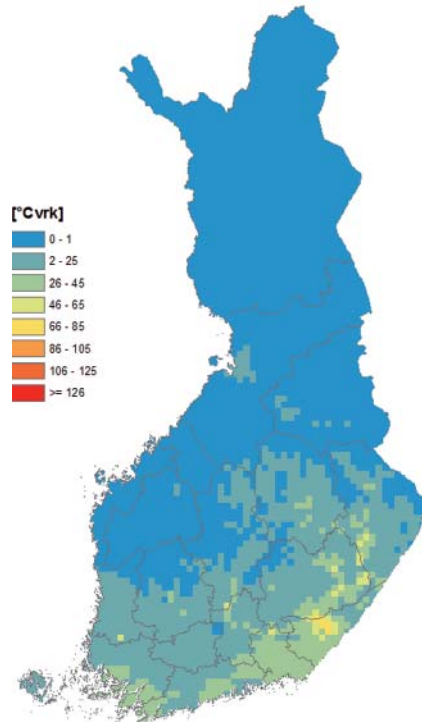


Jäähdytystarveluku jaksolla 2070-2099 skenaariossa B1

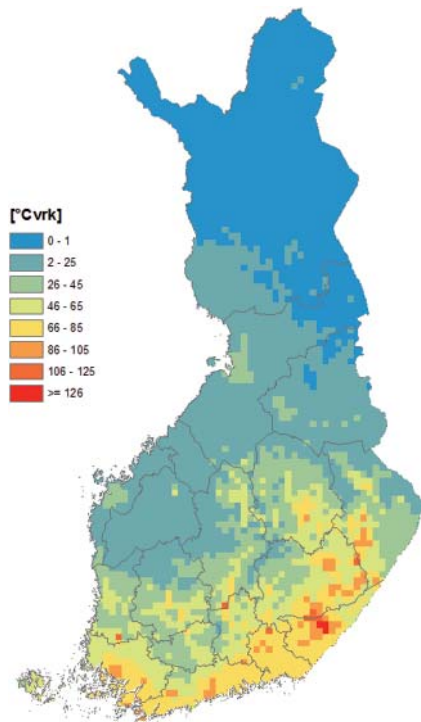
Jäähdytystarveluku



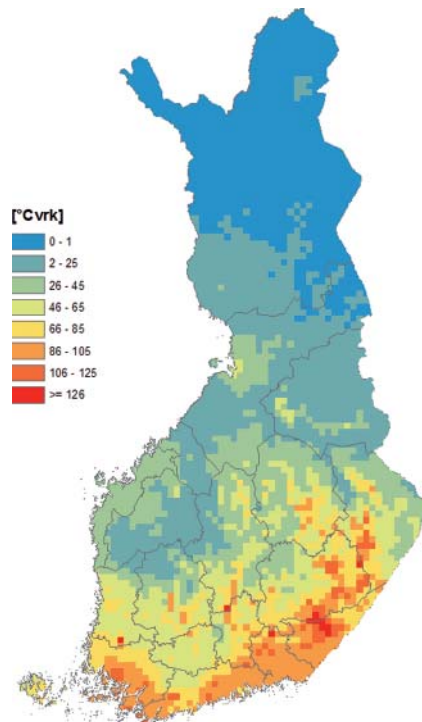
Jäähdytystarveluku jaksolla 2040-2069 skenaariossa A1B



Jäähdytystarveluku jaksolla 2040-2069 skenaariossa A2



Jäähdytystarveluku jaksolla 2070-2099 skenaariossa A1B



Jäähdytystarveluku jaksolla 2070-2099 skenaariossa A2