



Ilmastonmuutoksen vaikutus jäähdytykseen ja sisäilmastoon

Tuukka Turpeinen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2022

Talotekniikan tutkinto-ohjelma
LVI-talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
LVI-talotekniikka

TURPEINEN, TUUKKA:

Ilmastonmuutoksen vaikutus jäähdytykseen ja sisäilmaan

Opinnäytetyö 41 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Toukokuu 2022

Jos ihmiskunnan aiheuttama ilmastonmuutos jatkaa kasvamistaan nykytahtia, maapallon keskilämpötila tulee nousemaan 2100 mennessä kahdesta kuuteen astetta.

Opinnäytetyössä tutkittiin, kuinka ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan asuinrakennuksien olosuhteisiin. Siitä aiheutuvat seuraukset sekä niiden ehkäisykeinoja tutkittiin LVI-talotekniikan näkökulmasta. Työ koostuu teoriaosuudesta sekä simuloinneista, joissa tarkisteltiin ilmastonmuutoksen vaikutusta kerrostaloasunnon sisäolosuhteisiin ja energiankulutukseen.

Teoriaosuuden ensimmäisessä osuudessa käsitellään ennustettua ilmastonmuutosta, eri tulevaisuuden skenaarioita ja ilmastonmuutoksesta aiheutuvia terveyshaittoja. Toisessa osuudessa käsitellään, miten ilmastonmuutos saattaa vaikuttaa rakentamiseen, jäähdytystarpeen muutosta ja asuinrakennusten sisäolosuhteita. Kolmannessa osiossa käsitellään, kuinka rakennuksen ylälämpenemistä voidaan ehkäistä, kertomalla passiivisista ja koneellisista jäähdytysmenetelmistä ja niiden toimintaperiaatteista.

Simulointien tuloksena käy ilmi, että lämpötilat asunnoissa kasvavat huomattavasti ilman tarvittavaa aurinkosuojaukseen tai jäähdytystä. Jäähdytyksen energiankulutus kasvaa huomattavasti ja lämmityksen laskee. Suhteellinen kosteus kasvaa hieman. Lämpöpumpun ja kaukokylmän energiankulutuksessa ei huomata merkittäviä eroja.

Ilmastonlämpenemisen myötä, on tärkeää kehittää ympäristölle ystävällisempiä ja energiatehokkaampia ratkaisuja rakennuksen jäähdyttämiseksi. Panostus passiivisiin jäähdytysmenetelmiin, kuten aurinkosuojaukseen ja ikkunoihin tulee olemaan todella tärkeää tulevaisuudessa.

Asiasanat: ilmastonmuutos, jäähdytys

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
HVAC Systems

TURPEINEN, TUUKKA:
Impact of Climate Change on Cooling and Indoor Climate

Bachelor's thesis 41 pages, appendices 4 pages
May 2022

If the emissions caused by the mankind continue to rise at the present rate, the global average surface temperature will rise between two and six degrees by the 2100.

The purpose of this thesis was to collect information about how climate change affects residential buildings, the consequences of these effects, and how the inhabitants can prevent overheating in their apartments in the future.

The main theoretical parts of this thesis deal with the predicted climate change, the future conditions of apartment buildings, and different cooling methods. The sources used were pages, releases, and studies on the Internet. At the end of the thesis, simulations are performed to examine how climate change affects the indoor conditions and the energy consumption of an apartment building.

The simulations suggest that the temperatures in apartments increase considerably without solar shading or cooling. The energy consumption of cooling increases and heating decreases. The relative humidity in apartments increases slightly.

Key Words: climate change, cooling

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	ENNUSTETTU ILMASTONMUUTOS	7
	2.1 RCP-Skenaariot	10
	2.2 Ilmastonmuutoksen terveyshaitat	11
3	RAKENNUSTEN OLOSUHTEET TULEVAISUUDESSA	12
	3.1 Jäähdytystarve	13
	3.2 Asuntojen sisäolosuhteet	14
4	RAKENNUKSIEN JÄÄHDYTYS	16
	4.1 Passiivinen jäähdytys	16
	4.1.1 Ikkunat	17
	4.1.2 Aurinkosuojajärjestelmät	17
	4.2 Jäähdytyksen tuotanto	19
	4.2.1 Kaukojäähdytys	19
	4.2.2 Lämpöpumput	21
	4.2.3 Maalämpöpumppu ja maaviileä	21
	4.2.4 Ilmalämpöpumppu	22
	4.3 Jäähdytyksen jakaminen	23
	4.3.1 Puhallinkonvektori	23
	4.3.2 Lattiaviilennys	24
	4.3.3 Ilmanvaihdolla tapahtuva jäähdytys	24
5	SIMULOINNIT	25
	5.1 Simuloinnin suorittaminen	27
	5.1.1 Maksimi lämpötilojen muutos	28
	5.1.2 Jäähdytysrajan ylittävien tuntien muutos	29
	5.1.3 Jäähdytysrajan astetuntisumman muutos	30
	5.1.4 Energiankulutuksen muutos	31
	5.1.5 Suhteellisen kosteuden muutos	33
	5.1.6 Lämpöpumpun energiankulutuksen muutos	35
6	TUTKIMUSTULOKSET	36
7	POHDINTA	38
	LÄHTEET	39
	LIITTEET	42

ERITYISSANASTO

F-kaasut	Fluoratut kasvihuonekaasut
IEA	The international energy agency eli kansainvälinen energiajärjestö
RCP	Representative concentration pathways eli pitoisuuksien kehityskulun skenaariot
SRES	Special report on emission scenarios eli erityisraportti päästöskenaarioista
Terminen talvi	Vuorokauden keskilämpötila on pakkasen puolella

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia miten ilmastonmuutos vaikuttaa asumiin ja jäähdytykseen tulevaisuudessa. Selvitetään, paljonko sääolosuhteiden on ennustettu muuttuvan tulevaisuudessa eri skenaarioissa sekä millaisia terveyshaittoja esimerkiksi lämpenemisestä saattaa aiheutua. Tutkitaan myös, miten ilmastonmuutos vaikuttaa rakennuksen olosuhteisiin ja mitkä tekijät vaikuttavat hyvään sisäilmastoon. Tutkitaan eri tapoja, joilla ehkäistä asuinrakennuksen ylläampemistä kuten aurinkosuojaus. Käydään läpi eri jäähdytyksen tuotanto- ja jakotapoja, miten ne toimivat ja millaiseen rakennukseen ne soveltuvat parhaiten. Tutkitaan myös, miten ilmastonmuutos saattaa vaikuttaa kaukojäähdytykseen ja ilmalämpöpumppeihin tulevaisuudessa.

Tulevaisuuden säädataa hyödyntämällä voidaan tehdä suuntaa antavia simuloitteja. Tutkimuksessa hyödynnetään IDA-ICE simulointiohjelmistoa ja siitä saatuja tuloksia voidaan käsitellä Excel-ohjelmistolla. Simuloinneissa keskitytään tutkimaan ja vertailemaan kerrostalorakennuksen sisälämpötilojen sekä energiankulutuksen muutosta.

Lähteinä käytettiin pääasiassa internetistä löytyviä ilmastonmuutokseen liittyviä sivuja, julkaisuja ja tutkimuksia. Tulevaisuuden säädatat simuloitteja varten löytyvät ilmatieteen laitoksen sivuilta. Ilmastonmuutos on ajankohtainen aihe ja internetistä löytyvät julkaisut ja tutkimukset ovat todennäköisemmin ajan tasalla.

Tämä aihe valittiin opinnäytetyölle, koska ilmastonmuutos on ajankohtainen aihe ja siitä kuulee puhetta lähes päivittäin. On siis kiinnostavaa tietää millaisia vaikutuksia sillä voi olla talotekniikan näkökulmasta. Simuloinnit ja siitä saadun datan käsittely on kiinnostavaa. On myös kiinnostavaa tulevaisuudessa katsoa tätä opinnäytetyötä ja vertailla mitä ilmastonmuutoksesta oikeasti seurasi.

2 ENNUSTETTU ILMASTONMUUTOS

Ilmastonmuutoksen eteneminen riippuu kasvihuonekaasujen päästöjen määrästä. Kasvihuonekaasut ovat kasvihuoneilmiön aiheuttavia ilmakehän kaasuja eli hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi ja F-kaasut. Hiilidioksidilla on suurin merkitys ilmastonmuutoksessa. (Maa- ja metsätalousministeriö 2012, 17.) Vuonna 2020 maapallon ilmakehässä oli hiilidioksidia noin 417 ppm, tämä on noin 40 % enemmän kuin teollistumisen alussa. (UC San Diego. 2020.)

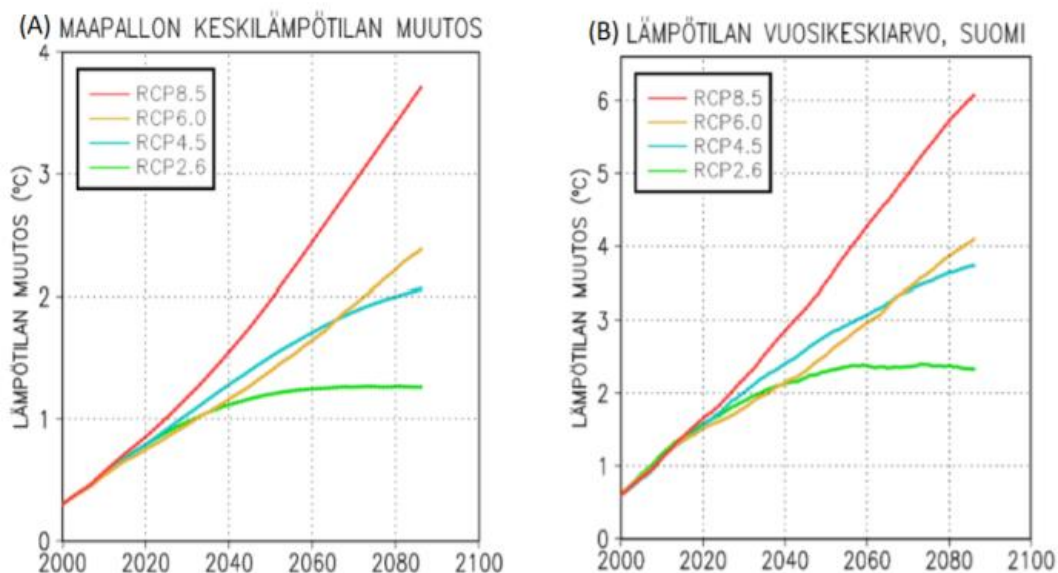
Syitä kasvavalle ilmastonmuutokselle on uusiutumattomien energianlähteiden käyttö, esimerkiksi hiilen, öljyn ja maakaasujen polttaminen. Metsien kaataminen aiheuttaa puiden varastoiman hiilen vapautuvan ilmakehään, joka edistää kasvihuoneilmiötä. Lihakarjan lisääntyminen, lannoitteet, jotka sisältävät typpeä ja fluoratut kaasut, esimerkiksi erilaiset kylmäaineet. (Euroopan Komissio. n.d.)

TAULUKKO 1. Kolmen eri SRES-skenaarion mukaiset ilmakehän hiilidioksidipitoisuudet kolmena 30-vuotisjaksona. (Maa- ja metsätalousministeriö. 2012, 17.)

	2010-2039			2040-2069			2070-2099		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
Pitoisuus (ppm)	421	434	431	491	542	547	532	655	721

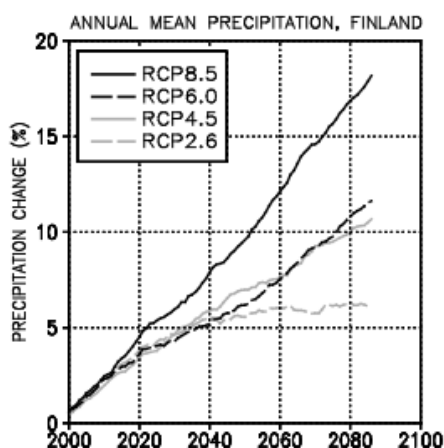
Suomessa vuoden keskilämpötilan ennustetaan nousevan keskimäärin 2–6 astetta tämän vuosisadan loppuun mennessä. Talvella lämpötila nousee 3–9 astetta, kun taas kesällä 1–5 astetta. Talvikuukausien alimmat minimilämpötilat muuttuvat eniten. Lähes kaikki mallit ennustavat talvilämpötilojen vaihtelevuuden vähenevän ilmaston lämmitessä. Talvisin lämpeneminen on nopeampaa maan pohjoisessa verrattuna etelään, kun kesäisin eroa ei ole juuri ollenkaan. Ilmaston lämmitessä myös termisen talvi lyhenee, kun taas muut vuodenaajat pitenevät. (Jylhä ym. 2009, 11, 46.)

Koska etelässä vuodenaikojen pituudet muuttuvat eniten, syksy korvaa termisen talven ja kestää noin kaksi kuukautta pidempään kuin ennen. Tämän seurauksena termisen talven alku siirtyy huomattavasti myöhemmäksi. Keski- ja Pohjois-Suomessa muutokset ovat vähäisempiä kuin mantereisemmän ilmaston alueella. (Jylhä ym. 2009, 47.)



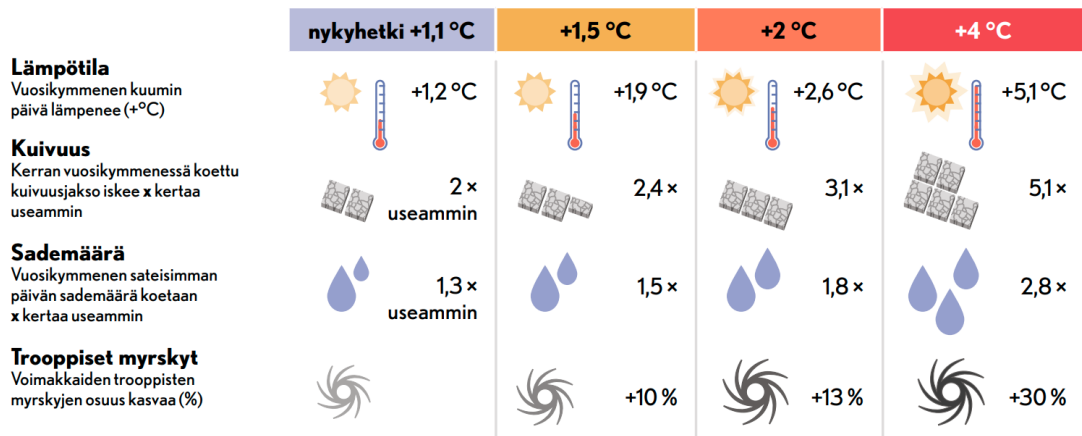
KUVIO 1. Suomen ja maapallon vuotuisen keskilämpötilan muutos (°C) vuosina 2000–2085 verrattuna jakson 1971–2000 keskilämpötilaan. (Ruosteenoja ym. 2016.)

Lämpötilojen noustessa myös sademäärät tulevat kasvamaan, muutos on huomattavampaa talvella kuin kesällä. Muutokset voivat hukkuu vielä lähivuosikymmenellä ilmaston luonnollisen vaihtelun sekaan. Vaikka sademäärät kasvavat suhteessa enemmän talvella kuin kesällä, kesäiset sateet ovat tulevaisuudessaakin runsaampia kuin talviaikaiset. (Jylhä ym. 2009, 11.)



KUVIO 2. Suomen sademäärän nousu vuosina 2000–2085 verrattuna jakson 1971–2000 keskisademäärään. (Ruosteenoja, K. Jylhä, K. Kämäräinen, M. 2016, 24.)

Lämpenemisen riskit ja vaikutukset ovat sitä suuremmat, mitä enemmän ilmasto lämpenee.
Vahinkoa aiheuttavien sääilmiöiden muutos esiteollisesta ajasta 1850–1900



Pohjautuu IPCC:n 6. arviointiraportin tuloksiin, 1. osaraportti. © Ilmatieteen laitos ja ympäristöministeriö, 2021. Ilmasto-opas.fi.



KUVA 1. Lämpenemisen riskit ja vaikutukset kasvavat ilmaston lämpetessä. (Ilmatieteenlaitos. 2021.)

Muuttuja	Alue	Talvi	Kevät	Kesä	Syysy	Vuosi	
Keskilämpötila	Pohjoinen	+	+	+	+	+	+
	Etelä	+	+	+	+	+	+
Keskimääräinen sademäärä	Pohjoinen	+	+	+	+	+	-
	Etelä	+	+	/	+	+	-
Termisen vuodenajan pituus	Pohjoinen	-	/	+	/		/
	Etelä	-	+	+	+		()
Vuorokauden ylinlämpötila	Pohjoinen	+	+	+	+	+	
	Etelä	+	+	+	+	+	
Vuorokauden alin lämpötila	Pohjoinen	+	+	+	+	+	
	Pohjoinen	+	+	+	+	+	
Pakkaspäivien lukumäärä	Etelä	-	-	-	-	-	
	Pohjoinen	-	-	-	-	-	
Nollapistepäivien lukumäärä	Etelä	+	-	-	-	/	
	Pohjoinen	/	-	-	-	-	
Lumen vesiarvo	Etelä	-	-		-	-	
	Pohjoinen	-	-		-	-	
Lumepeitepäivien lukumäärä	Etelä	-	-		-	-	
	Pohjoinen	-	-		-	-	
Sadepäivien määrä	Pohjoinen	+	+	()	+	+	
	Etelä	+	()	-	()	+	
Rankkasateiden voimakkuus	Pohjoinen	+	+	+	+	+	
	Etelä	+	+	+	+	+	

KUVA 2. Suuntaa antava esitys ilmastosuureiden odotettavissa olevista muutoksista Suomessa (Jylhä ym. 2009, 65.)

2.1 RCP-Skenaariot

Kasvihuonepäästöjen tulevaa kehitystä voidaan arvioida erilaisilla skenaarioilla. Päästöjen kehitys riippuu useasta eri tekijästä, joiden ennustaminen pitkälle ajalle on hankalaa. Tämän seurauksena on laadittu erilaisia päästöskenaarioita kuvaamaan tulevaisuutta. Uusimpia kasvihuoneskenaarioita kutsutaan RCP-skenaarioiksi, ne korvasivat vanhat SRES-skenaariot vuonna 2015. SRES-skenaarioissa A2-skenaariossa kasvihuonekaasujen päästöt jatkavat kasvamistaan nopeasti tämän vuosisadan loppuun saakka, B1-skenaariossa päästöt kääntyvät voimakkaaseen laskuun vuosisadan puolivälissä. A1B-skenaario on näiden kahden skenaarion välimuoto. (Ilmasto-opas. 2017.)

Uusia RCP skenaarioita on neljä erilaista, numeroarvo symbolien perässä viittaa säteilypakotteen suuruuteen. Kasvihuonekaasujen päästöjen odotetaan kehittyvän seuraavasti: RCP 8.5-skenaariossa kasvihuonekaasupäästöjen kasvu jatkuu nopeana tulevaisuudessakin. RCP 6.0-skenaariossa päästöt pysyvät aluksi samalla tasolla kuin nykyään, mutta kasvavat vuosisadan loppuun mennessä melko suuriksi. RCP 4.5-skenaariossa päästöt kasvavat aluksi hieman mutta kääntyvät laskuun vuoden 2040 tienoilla. RCP 2.6-skenaariossa päästöt laskevat jyrkästi jo vuoden 2020 jälkeen ja ovat vuosisadan lopussa lähes nollassa. (Ilmasto-opas. 2017.)

TAULUKKO 2. Päästöskenaarioiden mukainen keskilämpötilan nousu Suomessa vuosisadan loppuun mennessä (2070–2099) verrattuna vuosien 1981–2010 keskiarvoon. (WWF. 2019.)

Päästöskenaario	Lämpötilan nousu
RCP 2.6	1,9 °C
RCP 4.5	3,3 °C
RCP 6.0	3,6 °C
RCP 8.5	5,6 °C

2.2 Ilmastonmuutoksen terveyshaitat

Vaikka kesät ovat pohjoisessa maailmanlaajuisesti viileitä verrattuna etelään, korkeista lämpötiloista aiheutuu merkittävästi vakavia terveyshaittoja myös Suomessa. Helleaallot lämmittävät rakennusta ja sisälämpötilat pysyvät korkeina myös yöllä, tällöin elimistö altistuu pitkittyneelle kuumuusrasitukselle. Vuoden 2010 helleaalto aiheutti noin 300 ennenaikaista kuolemantapausta Suomessa. Vakavat terveysvaikutukset kohdistuvat erityisesti ikääntyneisiin ja pitkäaikaissairaisiin henkilöihin. Helteestä aiheutuvat terveyshaitat tulevat todennäköisesti kasvamaan tulevaisuudessa helleaaltojen yleistyessä, pidentyessä ja voimistuessa. Haittavaikutusten todennäköisyyttä lisää väestön voimakas ikääntyminen seuraavien vuosikymmenten aikana. (THL. 2021.)

Ilmastonmuutoksen seurauksena rakennusten kosteus- ja homevauriot saattavat lisääntyä. Vaurioihin vaikuttavat sademäärien kasvu ja talvien sateiden muuttuminen lumesta vedeksi, tuulen aiheuttamien viistosateiden yleistyminen, ilman suhteellisen kosteuden kasvu sekä lämpötilan kohoaminen. Rakennusten kosteusvaurioista aiheutuvat sisäilmaongelmat lisäävät hengitysoireilua ja astman syntymisen riskiä. Rakennusten kosteus- ja homevaurioista aiheutuu huomattavia terveyteen liittyviä kustannuksia, jotka johtuvat oireilusta, sairauksista, niiden tutkimisesta, työkyvyn menettämisestä ja laskusta. (THL. 2021.)

3 RAKENNUSTEN OLOSUHTEET TULEVAISUUDESSA

Energiatehokkuuden jatkuva korostuminen on yksi selkeästi voimistuva trendi sekä uudis- että korjausrakentamisessa. Varsinkin uudisrakentamisessa energiatehokkuus tulee paranemaan huomattavasti. Tilojen käyttäjien lämpöviihtyvyyden vuoksi tulevaisuuden energiatehokkaiden rakennusten lämmitys- ja jäähdytysratkaisujen suunnittelu- ja mitoitusperusteet on syytä varmistaa huolella. (Tuomaala. 2013, 116.)

Toinen selkeä kehitystrendi on sisäolosuhteiden vaatimustason kasvu. Kun sisäympäristöongelmat lisääntyvät, myös ihmisten tietoisuus sisäolosuhteista paranee. Lämpöolosuhteet tulisi huomioida nykyistä paremmin rakennus- ja kiinteistö sektorilla, sillä niillä on vaikutusta koko yhteiskunnan tasolla taloudellisesti, sekä eettisesti. (Tuomaala. 2013, 116.)

Rakennuttamisen ja talotekniikan suunnittelupalveluissa on kehittämisen varaa, varsinkin talotekniikalla on merkittävä rooli päästöjen vähentämisessä jatkuvasti parantuvan energiatehokkuuden myötä. Kaikkien ilmansuuntien rakenteet suunnitellaan yhtä kestäviksi, mutta sateiden muuttuvan suunnan takia myös idän ja pohjoisen suunnan julkisivujen korjaukset lisääntyvät. (Green building council Finland. 2021.)

Sateiden ja myrskyjen yleistymisen vaikuttaa rakenteiden sisääntuloaukkojen toimintaan. Myrskysade saattaa aiheuttaa vesivuotoja rakenteisiin sekä sisätiloihin. Vesivuotojen lisääntymisen takia aukkojen rakenteita tulee muuttaa. Erilaiset ulkoilmalaitteet ja katolle asennettavat iv-koneet tai hormit saattavat vaatia uusien tuotteiden kehittämistä ja nykyisten ratkaisujen korvaamista uusilla. (Ala-Outinen, T ym. 2004, 40.) Lisäksi rakennusten kosteusrasitus tulee olemaan suurempaa tulevaisuudessa vesisateiden lisääntyessä. Ulkoseinärakenteet eivät ehdi kuivua samaan tapaan kuin nykyään, tämän seurauksena homeen kasvulle otolliset olosuhteet lisääntyvät varsinkin rakenteiden ulko-osissa. (Salonen, H. 2019.)

3.1 Jäähdytystarve

IEA:N raportin (The Future of Cooling) mukaan Ilmastointilaitteiden määrä rakennuksissa tulee nousemaan 1,6 miljardista 5,6 miljardiin vuoteen 2050 mennessä. Ilmanvaihtolaitteet ja tuulettimet kuluttavat tällä hetkellä jo viidesosan rakennuksien sähkönkulutuksesta ja 10 % koko maailman sähkönkulutuksesta. Vuoteen 2050 mennessä jäähdytys kuluttaisi toiseksi eniten sähköä maailmassa, vain teollisuuteen kuluisi enemmän. Ilmanvaihtoon kuluisi myös suurin osa rakennuksien sähköntarpeesta. (IEA. 2018.)

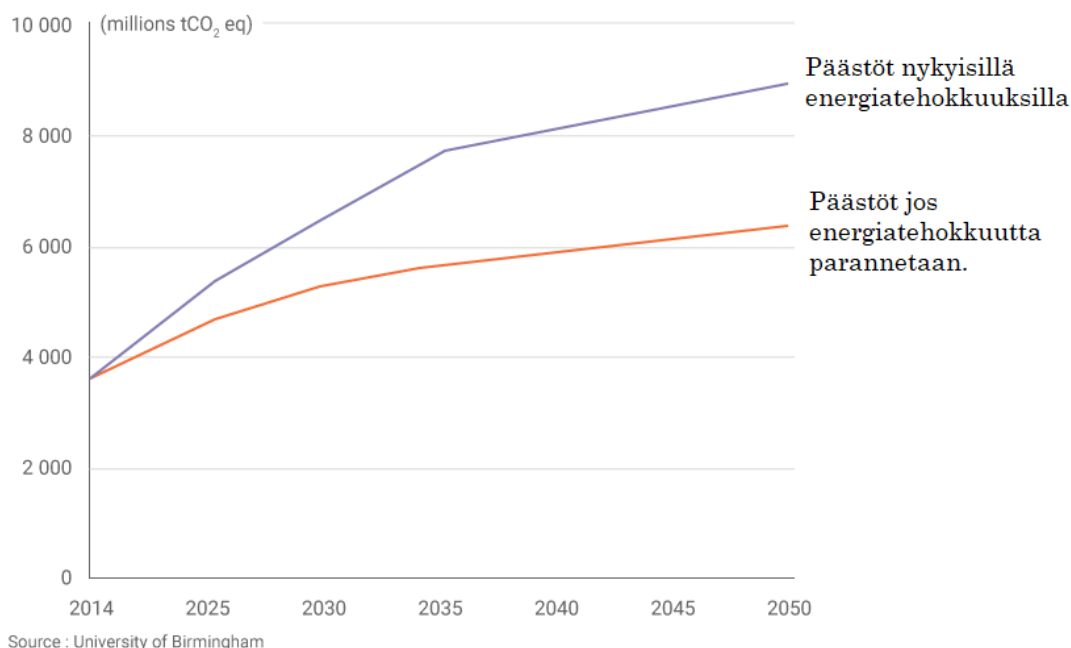
Ilmanvaihtolaitteiden energiatehokkuus vaihtelee paljon, esimerkiksi Euroopassa ja Japanissa myydyt ilmastointilaitteet ovat tyypillisesti 25 % energiatehokkaampia kuin Yhdysvalloissa ja Kiinassa. Ilmanvaihtolaitteiden energiatehokkuuden standardeja parantamalla voitaisiin vähentää uusien sähköinfrastruktuurien rakentamista ja säästää 2,9 biljoonaa dollaria investoinneissa, polttoaineissa ja käyttökuluissa. (IEA. 2018.)

Tilojen ja ilmanvaihtoilman lämmitykseen kuluva energia on vähentynyt kuusi prosenttia tyypillisessä eteläsuomalaisessa pientalossa, kun taas jäähdytysenergian tarve on kasvanut 10 % vuonna 1980 alkaneen tarkastelujakson aikana. Pientalon lämmittämiseen kuluva energiantarve on riippuvainen ilmastonmuutoksen lisäksi myös talon lämmitysjärjestelmästä ja energiatehokkuudesta. (Ilmatieteen laitos. 2015.)

Ilmatieteen laitoksen, Aalto-yliopiston insinööritieteiden korkeakoulun ja Tallinnan teknillisen yliopiston toteuttaman tutkimuksen mukaan ilmaston muuttumisen takia lämmitysenergian kulutus vähenee noin 10 % vuoteen 2030 mennessä, 15–18 % vuoteen 2050 mennessä ja 20–40 % vuoteen 2100 mennessä. Lämmitystekniikoiden kehityksen avulla lämmitysenergian kulutus voi myös laskea enemmänkin. (Ilmatieteen laitos. 2015.)

Jäähdytysenergian tarpeen arvioitiin kasvavan vuosisadan loppuun mennessä 40–80 %. Vaikka kasvu onkin huomattavaa, jäähdyttämisen tarve pysyy silti melko pienenä verrattuna lämmittämiseen. Kokonaisenergiankulutus lämmitykseen ja jäähdytykseen vähenee tulosten mukaan 20–35 % vuosisadan loppuun

mennessä. Jäähdytyksen käytettävää energian kasvua tulee silti pyrkiä vähentämään tulevaisuudessa, esimerkiksi energiatehokkaiden viilennysjärjestelmien kehittämisen sekä erilaisten passiivisten viilennyskeinojen avulla. (Ilmatieteen laitos. 2015.)



KUVIO 5. Ilmastoinnista johtuvat kasvihuonepäästöt nousevat, vaikka energiatehokkuutta parannettaisiin. (Connaissancedesenergies.org. 2018.)

3.2 Asuntojen sisäolosuhteet

Asunnoissa yleisimmät sisäilmaongelmat liittyvät lämpöoloihin, ilmanlaatuun, ilmanvaihtoon ja kosteusvaurioihin. Ilmastomuutoksesta johtuva lämpötilan nousu ja sateiden lisääntyminen tulee vaikuttamaan asuinrakennuksien sisäilmaan. Hyvä sisäilma vähentää sairauksia ja lisää viihtyvyyttä.

Sisäilmanlaatuun vaikuttaa huoneilman lämpötila, ilmankosteus, veto ja ilmanvaihto. Huoneilman lämpötilalla on suora vaikutus asuinviihtyvyyteen, mutta sen kokemisessa on yksilöllisiä eroja. Lämpötila vaikuttaa myös rakenteiden toimivuuteen, esimerkiksi konvektiona tai kosteuden tiivistymisenä. Ilmankosteus vaihtelee ulkoilman olosuhteiden, kuten lämpötilan ja ulkoilman ilmankosteuden mukaan. Vedon tunteeseen vaikuttaa ilmanvaihdosta johtuvan liikkeen lisäksi

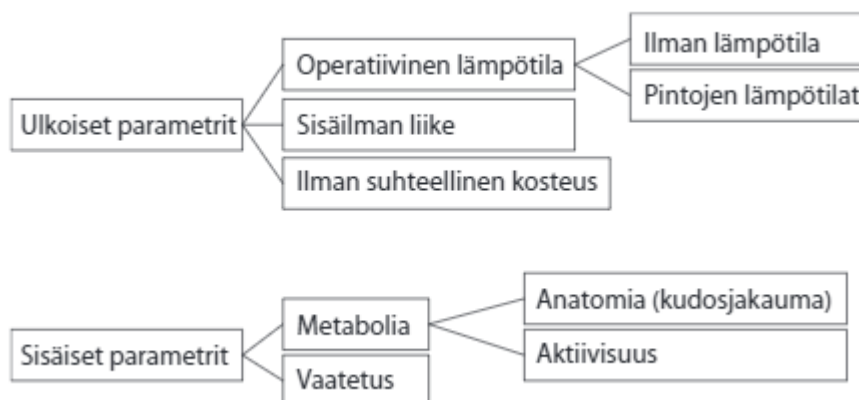
liian alhainen huonelämpötila. Myös heikkolaatuiset ikkunat tai puutteellinen eristys vaikuttavat vedon tunteeseen. (THL. 2021.)

Sisäilman kosteus on yksi merkittävimpiä tekijöitä sisäilman laadun ja rakenteiden keston kannalta. Sisäilman kosteus on lähes suoraan verrannollinen ilmanvaihdon toimivuuteen. Jos ilma ei vaihdu riittävän nopeasti, kosteus alkaa kerääntymään sisäilmaan ja rakenteisiin. Ihminen viettää 70–80 % elämästään sisätiloissa, joten suhteellisella kosteudella on suuri merkitys terveyden kannalta. Oikea sisäilman kosteus vaihtelee 20–70 % välillä. (Ilmakas. 2022.)

Uusien asuinrakennusten huonelämpötila ei saa ylittää 27 asteen raja-arvoa enempää kuin 150 astetunnin verran vuoden aikana nykyisten rakentamismääräysten mukaan. Esimerkiksi raja-arvo saa ylittyä yhdellä asteella 150 tunnin ajan, mutta kolmella asteella vain 50 tunnin ajan. Pitkittyneen helleaallon aikana 27 asteen ylitysten määrä astetunteina voi olla moninkertainen nykyilmastossakin ja ilmastonlämpenemisen seurauksena ylikämpenemisen riski kasvaa edelleen. (Finlex. 2017.)

4 RAKENNUKSIEN JÄÄHDYTYS

Ihmisen lämpöaistimukseen vaikuttavia tekijöitä ovat ympäröivän tilan suureet kuten ilman suhteellinen kosteus, sisäilman paikallinen liike ja operatiivinen lämpötila, joka määräytyy ilman ja pintojen lämpötilan mukaan. Lämpöviihtyvyyden keskeiset sisäiset parametrit ovat ihmisen vaatetus ja kehon oma metabolia eli lämmöntuotto. (Tuomaala. 2013, 106.)



KUVA 3. Ihmisen lämpöaistimukseen vaikuttavat sisäiset ja ulkoiset parametrit (Tuomaala. 2013, 106.)

4.1 Passiivinen jäähdytys

Aurinkosuojauksen yksi pääasiallisista hyödyistä on kesäaikaisen koneellisen jäähdytyksen tarpeen väheneminen, eli passiivinen jäähdytys. Aurinkosuojauksella tarkoitetaan kaikkia menetelmiä, joilla pyritään hallita auringonsäteilyn pääsyä rakennukseen. Aurinkosuojaus menetelmiä on varjostavista puista täysin automatisoituihin aurinkosuojiin. Aurinkosuojauksella on merkittävä rooli rakennuksen energiankulutuksessa. Aurinkosuojausjärjestelmää suunnitellessa tulee ottaa huomioon ulkoilmasto, välitön ympäristö, rakennuksen suunta, käyttäjäprofiili, rakennuksen korkeus ja monia muita. (Beck ym. 2011, 1, 39.) Myös rakennuksen rakennusmateriaaleilla ja geometrialla pystytään vaikuttamaan rakennuksen yllä lämpenemiseen. Mitä massiivisempi rakenne on, sitä vähemmän se elää lämpötilan mukaan.

4.1.1 Ikkunat

Ikkunat ja muut lasirakenteet estävät heikosti auringonsäteilyä. On kuitenkin tärkeää, että rakennukseen pääsee tarpeeksi päivänvaloa, jotta sisävalaistus olosuhteet olisivat miellyttävät ja valaistukseen kuluva energiankulutus on päiväsaikaan vähäisempää. Päivänvalolla on paljon myönteisiä vaikutuksia ihmisen terveydelle, hyvinvoinnille ja tuottavuudelle. (Beck ym. 2011, 11.)

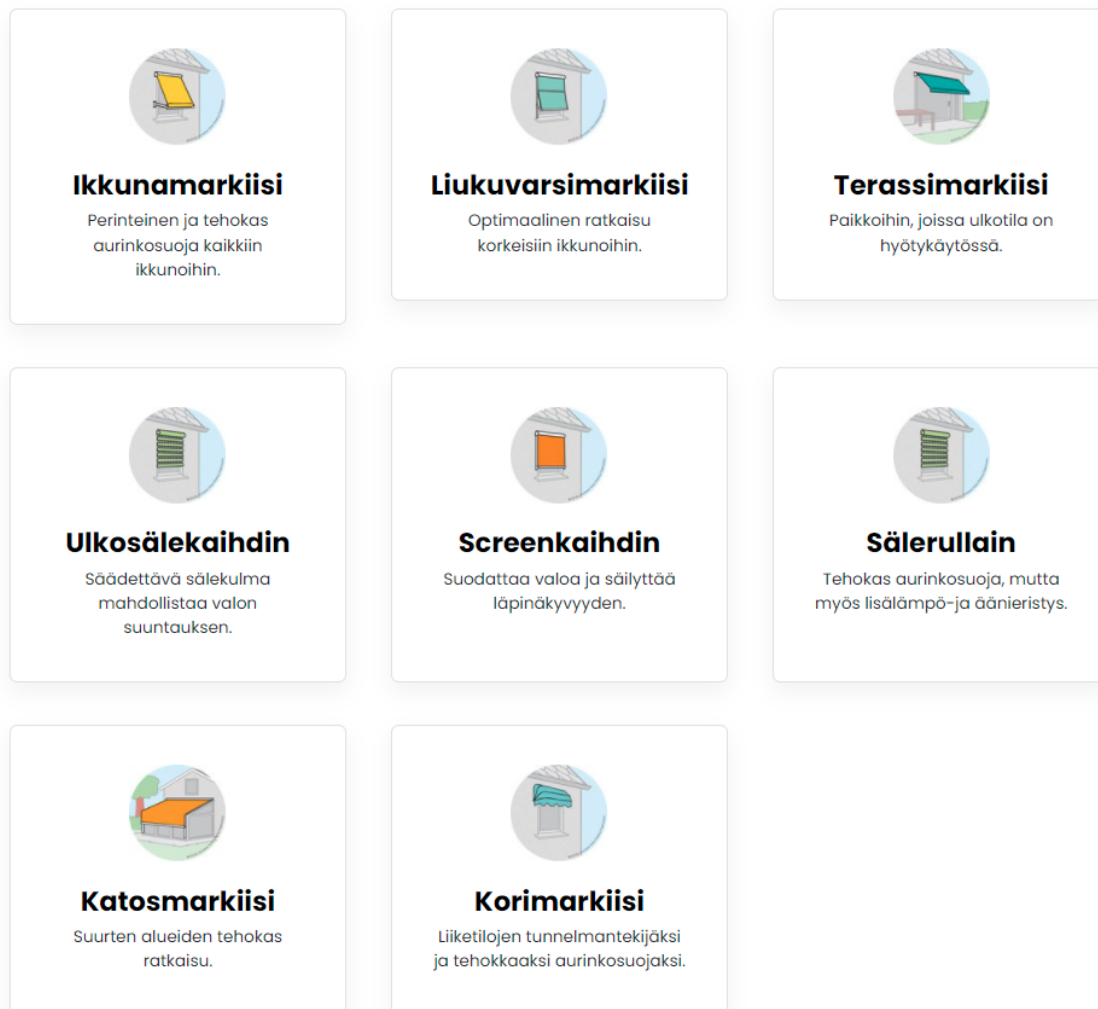
Tärkeitä ominaisuuksia ikkunoiden valinnassa lämpötilan kannalta ovat lämmönläpäisykerroin eli U-arvo, joka kertoo, kuinka paljon ikkuna läpäisee lämpöä. Toinen ominaisuus on auringon energiasäteilyn kokonaisläpäisykerroin g-arvo, joka ilmaisee kuinka paljon ikkunalasi päästää läpi auringon säteilyenergiaa, eli kuinka monta prosenttia auringonsäteilystä pääsee huoneeseen lämpönä. (Beck ym. 2011, 16.)

Aurinkokuormien varastoituminen ikkunoiden läheisyydessä oleville alueille tarkoittaa, että näiden alueiden sisäympäristön lämpötila voi olla huomattavasti korkeampi kuin muiden. Ikkunapintojen ja sisäympäristön korkea lämpötila saattaa johtaa tyytymättömyyteen huoneessa. Ikkunapintojen korkea lämpötila vaikuttaa myös ilmanjakoon huoneessa, lämpimän ikkunan konvektiovirtaus saattaa kääntää ilmasuihkun alas, joka voi johtaa voimakkaisiin paikallisiin ilmavirtauksiin ja vedon tunteeseen. (Beck ym. 2011, 9.)

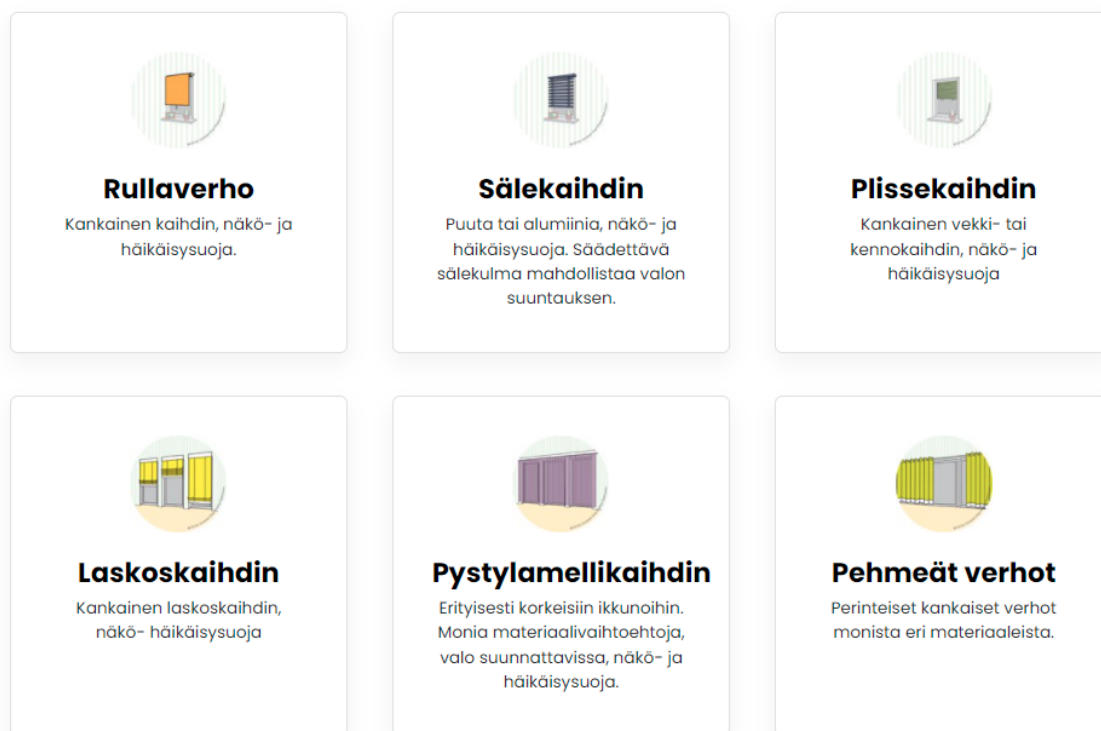
4.1.2 Aurinkosuojajärjestelmät

Aurinkosuojajärjestelmät jaetaan kahteen eri kategoriaan, ulkopuolisiin- ja sisäpuolisiin aurinkosuojaimiin. Ulkopuoliset aurinkosuojat ovat hyviä estämään lämmön pääsyä rakennukseen. Sisäpuoliset aurinkosuojat ovat hyviä, kun halutaan vaikuttaa sisävalaistuksen laatuun ja häikäisyn estoon säästä riippumatta.

Aurinkosuojauksella voi myös olla negatiivinen vaikutus sisäilmanlaatuun, jos se yhdistetään epäsovivalta tavalla painovoimaiseen ilmanvaihtoon. Esimerkiksi ulkoilma aukkoja peittävä ulkopuolinen aurinkosuojaus voi vähentää raittiin ilman pääsyä rakennukseen. Aurinkosuojaja itsessään voi olla päästölähde, joten on tärkeää ottaa huomioon käytetyt aurinkosuojamateriaalit. (Beck ym. 2011, 13.)



KUVA 4. Erilaisia ulkopuolisia aurinkosuojujaimia (Aurinkosuojaus.fi. n.d.)



KUVA 5. Erilaisia sisäpuolisia aurinkosuojujaimia (Aurinkosuojaus.fi. n.d.)

4.2 Jäähdytyksen tuotanto

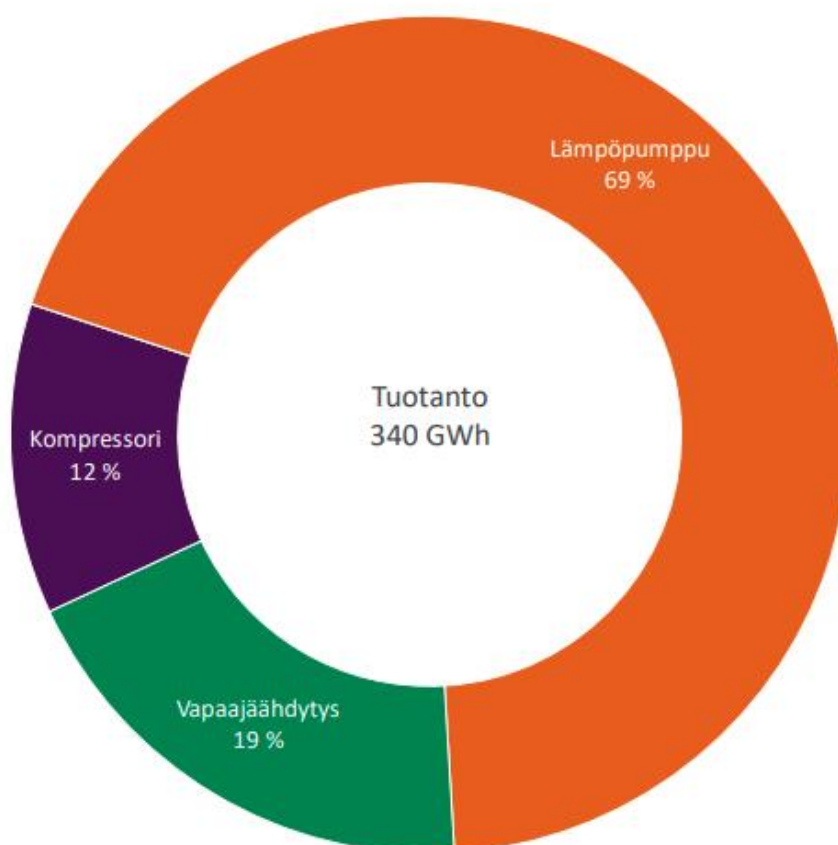
4.2.1 Kaukojäähdytys

Keskitettyssä kaukojäähdytyslaitoksessa tuotetaan kylmää, mistä se siirtyy kiinteistöön maanalaisissa putkissa virtaavan kylmän veden avulla. Jäähdytetty vesi sitoo itseensä hukkalämpöä kiertäessään tiloissa, jonka jälkeen lämmennyt vesi palaa takaisin jäähdytyslaitokseen. Vesi jäähdytetään ja johdetaan uudelleen viilennettävän kiinteistön läpi. Talteen otettu lämpö siirretään kaukolämpöverkkoon ja sitä voidaan hyödyntää rakennusten sekä käyttöveden lämmittämiseen. (Tuomenoja. 2020.)

Jäähdyttämisessä voidaan käyttää apuna järven tai merenpohjan syvänteiden kylmää vettä tai jäähdytyslaitteita. Vapaajäähdytykseksi kutsutaan, kun käytetään hyödyksi järveden tai meriveden syvänteiden kylmää vettä tai ilman alhaista lämpötilaa. Vapaajäähdytys on tehokkain tapa tuottaa kaukojäähdytystä, se ei kuitenkaan sovellu ympärivuotiseen käyttöön Suomessa. Kesäisin syvän-

teiden ja ulkoilman lämpötilat ovat liian korkeat vapaajähdytyksen hyödyntämiseksi. Ilmaston lämpenemisen seurauksena ajankohdat, jolloin vapaajähdytystä voidaan hyödyntää, vähenevät.

Kaukojäähdytyksestä suurin osuus tuotetaan lämpöpumpuilla. Samoilla lämpöpumpuilla tuotetaan usein sekä kaukolämpöä ja -jäähdytystä, jäähdytysvesi kylmenee ja kaukolämpövesi lämpenee samassa prosessissa. Lämpöpumpuissa kompressori suurentaa kylmäaineen paineen, jonka seurauksena kylmäaine lämpenee ja kaasuuntuu. Kylmäaine jäähtyy ja tiivistyy taas nesteeksi, kun se virtaa lämmönsiirtimen tai lauhduttimen läpi. Kylmäaine jäähtyy nesteen virratessa paisuntaventtiin läpi nopean paineen laskun takia. Neste höyrystyy, kun se virtaa toisen lämmönsiirtimen läpi. Lopuksi kylmäaineen kylmyys siirretään veteen tai ilmaan, joka siirtää kylmän tiloihin. (Swegon. n.d.)



KUVIO 6. 2021 osuudet kaukojäähdytyksen tuotannosta suomessa (Energiateollisuus.ry. 2022.)

Verrattuna kiinteistökohtaisiin ratkaisuihin, kaukojäähdytys on ympäristöystävällinen ja kustannustehokas tapa rakennuksen viilennykseen. Hukkalämmön muuttaminen jäähdytykseksi on jo merkittävä etu. Lisäksi viilentämiseen tarvittavien kiinteistökohtaisten kylmäaineiden tarve on pienempi, jotka EU tulee kieltämään tulevina vuosina. (Tuomenoja. 2020.)

4.2.2 Lämpöpumput

Ilmalämpöpumppujen ja maalämpöpumppujen suosio kasvaa. Niiden avulla säävutetaan merkittäviä ympäristöhyötyjä sekä säästöjä erilaisissa kiinteistöissä. Lämpöpumpun hankkiminen on merkittävä ympäristöteko, lämpöpumpuilla aikaansaatua energiansäästöä vaikuttaa kansallisella tasolla sähkötalouden hiilidioksidipäästöjen ja terveydelle haitallisten pienhiukkaspäästöjen vähenemiseen. Aurinko- tai tuulivoimalla tuotetun uusiutuvan sähköenergian tuotannon nousussa sähkömarkkinoiden tulee joustaa hetkinä, jolloin sääolosuhteista riippuvaista energiaa on vain vähän tarjolla. Tämän seurauksena lämpöpumppujen merkitys tulee kasvamaan kysynnänjoustotarpeen kasvaessa. (Motiva. 2020.)

4.2.3 Maalämpöpumppu ja maaviileä

Maalämpöpumppu hyödyntää rakennuksien jäähdytyksessä ja lämmityksessä maaperään varastoitunutta aurinkoenergiaa. Maalämpöjärjestelmän lämmönkeruuneste kiertää noin 100–350 metriä syvässä lämpökaivoissa. Lämmönkeruunesteestä 70 % on vettä ja loput 30 % bioetanolia. Bioetanoli estää veden jäätyksen lämmönkeruuputkistossa. Maaperään varastoitunutta aurinkoenergiaa on tarjolla loputtomasti, kunhan lämpökaivojen etäisyydet ovat tarpeeksi suuret. (Thermia n.d.)



KUVA 7. Niben maalämpöpumppu.

Kesäisin maalämpöjärjestelmää voidaan hyödyntää myös rakennuksen jäähdyttämiseen maaviileän avulla, sillä kesäisin maa- ja kallioperä ovat viileämmät kuin ulkoilma. Lämmönkeruuneste ohjataan kiertovesipumpun avulla rakennuksen viilennysputkistoapitkin maaviileän puhallinkonvektoriin. Maaviileällä on huomattava etu verrattuna kaukojäähdytykseen, sillä sitä pystytään käyttämään asemakaava- että haja-asutusalueilla. Maaviileää voidaan hyödyntää sekä omakotitaloissa että suurissa kiinteistöissä. (Tomallensenera. n.d.)

4.2.4 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumppu sopii parhaiten pientaloon, jossa on suora sähkölämmitys. Lämmityksessä kylmäaine höyrystyy ulkoyksikössä, kun kompressori sitoo itseensä energiaa. Sisäyksikkö lämmittää energialla asuntoa, ja höyrystä nesteeksi lauhtunut kylmäaine palaa takaisin ulkoyksikköön höyrystettäväksi. Jäähdytyksessä toiminta on päinvastainen, lämpöenergia siirtyy huoneilmasta ulkoilmaan. Höyrystyminen tapahtuu sisäyksikössä ja kenno viilenee. Ulkoyksikössä kylmäaine nesteytyy ja vapauttaa sitomansa lämpöenergian. (Scanoffice. n.d.).



KUVA 6. Mitsubishin Ilmalämpöpumppu, vasemmalla sisäyksikkö ja oikealla ulkoyksikkö.

4.3 Jäähdytyksen jakaminen

4.3.1 Puhallinkonvektori

Puhallinkonvektoreita voidaan käyttää sekä tilojen lämmitykseen että viilennykseen. Konvektorissa kiertää vesi tai maalämmön keruuneste. Puhallinkonvektori voidaan liittää vanhaan vesikiertojärjestelmään tai sille voidaan tehdä omat vesiputket. Maalämpötaloissa jäähdytys puhallinkonvektorilla on varsinkin kannattavaa. Maalämpöpumpulle tehdyn lämpökaivon tai maapiirin lämmönsiirtonestettä kierrätetään suoraan puhallinkonvektorissa. Siirtoneste on aina kylmää, joten siitä saadaan aina ilmaiseksi energiaa rakennuksen jäähdyttämiseen. Sähköä kuluu vain kiertovesipumpun ja tuulettimen pyörytykseen. Puhallinkonvektori ei tarvitse jäähdytystä varten erillistä ulkoyksikköä, kuten ilmalämpöpumpuissa. (Biottori. 2021.)



KUVA 8. Cooper and Hunterin seinämalli puhallinkonvektori.

4.3.2 Lattiaviilennys

Lattiaviilennys on viilennysmuoto asuntoihin, joissa on vesikiertoinen lattialämmitys. Lattiaviilennys hyödyntää vesikiertoisen lattialämmityksen putkistoja, eli samoja putkistoja käytetään asunnon lämmittämiseen kesäisin ja viilennykseen talvisin. Sen toiminta perustuu suureen lattiapinta-alaan ja pieneen lämpötilaeroon huonelämpöön verrattuna. Lattiaviilennys on myös mahdollista lisätä järjestelmään jälkeempään, kunhan lämmönlähteenä on jokin viileää tarjoava lämmönlähde kuten maalämpö tai kaukojäähdytys. (Uponor. 2021.)

4.3.3 Ilmanvaihdolla tapahtuva jäähdytys

Kesäisin poistoilman lämmöntalteenotto ei ole toivottavaa, joissakin ilmanvaihtokoneissa on automaattinen lämmöntalteenoton ohitus, tällöin viileä ulkoilma tuodaan suodatettuna sisälle viilentämään rakennusta. Ilmanvaihdon viilennysteho ei ole riittävä jollei asunnossa ole tarpeeksi hyvää aurinkosuojausta. Ilma ei myöskään saa lämmetä ilmanvaihtokanavissa tiloissa, joissa on korkea lämpötila. Kovilla helteillä on kannattavaa, että rakennuksesta löytyy erillinen jäähdytyslaite. (Vallox. n.d.)

5 SIMULOINNIT

Simulointiohjelmana käytetään Equan IDA Indoor Climate and Energy simulointiohjelmaa. Kohteena on seitsemän kerroksinen kerrostalo, joka sijaitsee Vanhaalla. Kerrostalon kerrokset 2–7 ovat identtisiä. Simulointien nopeuttamiseksi simuloidaan rakennuksen ensimmäinen ja kuudennen kerroksen asuinrakennukset.

Simuloinnin tavoitteena tutkia ja vertailla kuinka paljon ilmastonmuutos vaikuttaa asuntojen olosuhteisiin. Vertaillaan lämpötilan- sekä suhteellisen kosteuden muutosta asuinrakennuksessa ja kuinka paljon lämmittämisen ja jäähdyttämisen energian kulutus muuttuu tulevaisuudessa. Tulevaisuuden ilmastoa vastaavat säädatat löytyvät ilmatieteenlaitoksen sivuilta, simuloinnit tehdään kahdella eri skenaariolla, RCP 4.5 ja RCP 8.5. Tarkasteltavana olevat vuodet ovat 2030, 2050 ja 2080.

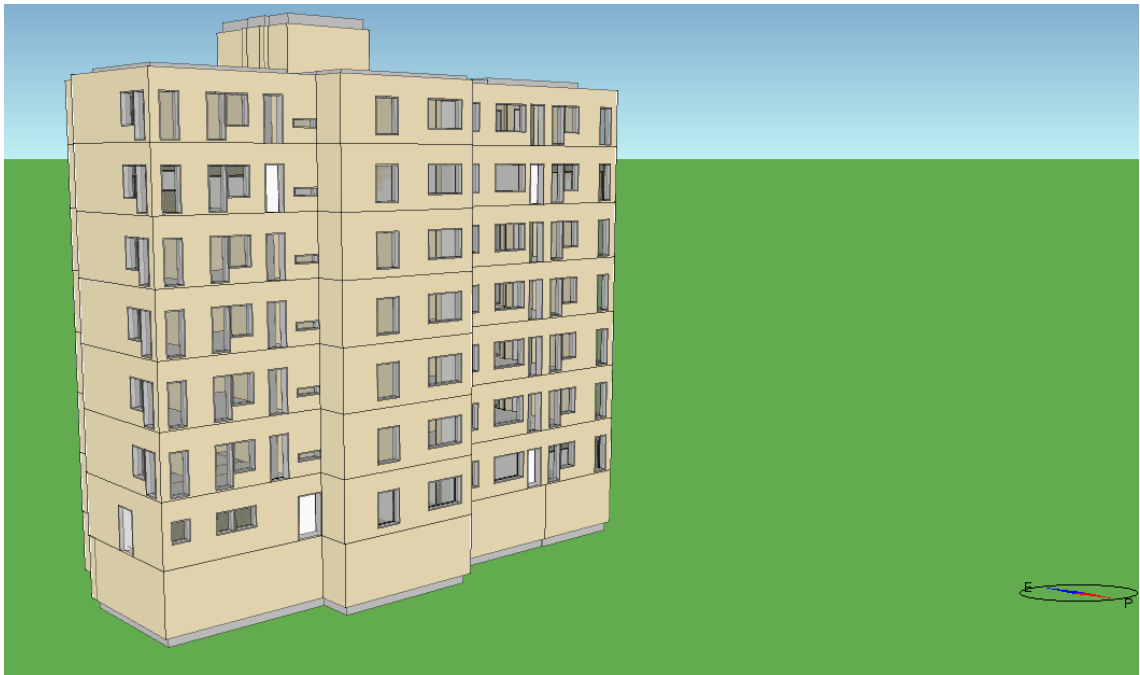
Simuloinneista saadut tulokset ovat vain suuntaa antavia. Esimerkiksi dataa siitä miten aurinko säteilee tulevaisuudessa ei löydy, joten joudutaan käyttämään vuoden 2021 dataa. Tulevaisuuden sääaineistot ovat myös epävarmoja, sää muuttujien arvot on annettu näennäisesti usean desimaalin tarkkuudella, vaikka todellisuudessa niihin sisältyy paljon epävarmuutta.

Kaikissa simuloinneissa rakenteina käytetään IDA-ICE:n D3 2017 asuinkerrostalon oletusarvoja.

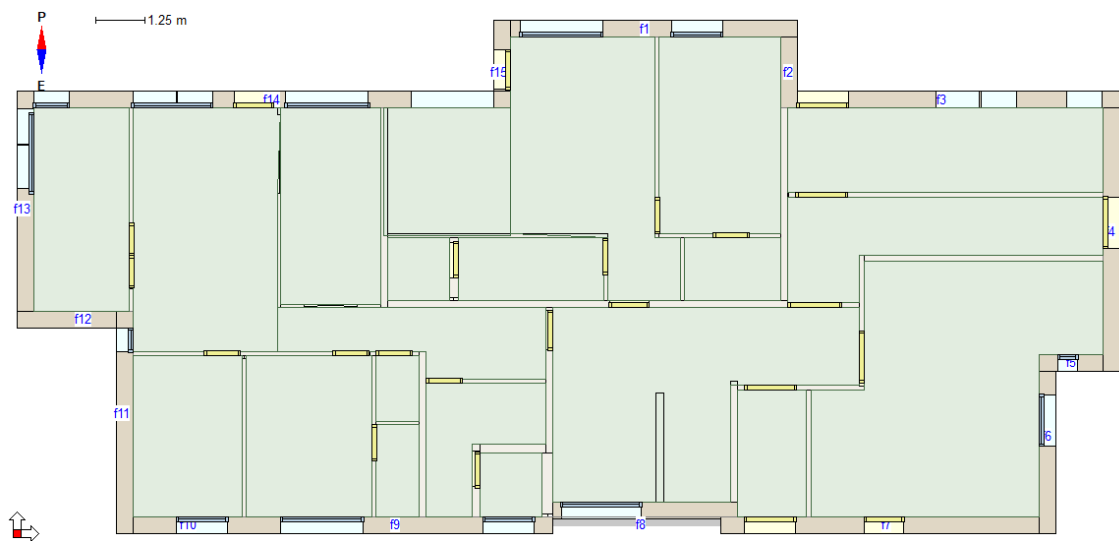
TAULUKKO 3. Oletusarvoja, jotka vaikuttavat sisälämpötiloihin.

Oletusarvoja	määrä	yksikkö
Ikkunoiden u-arvo	1,0	W/m ² K
Ovien u-arvo	1,1	W/m ² K
Ulkoseinien u-arvo	0,17	W/m ² K
Sisäseinien u-arvo	2,1	W/m ² K

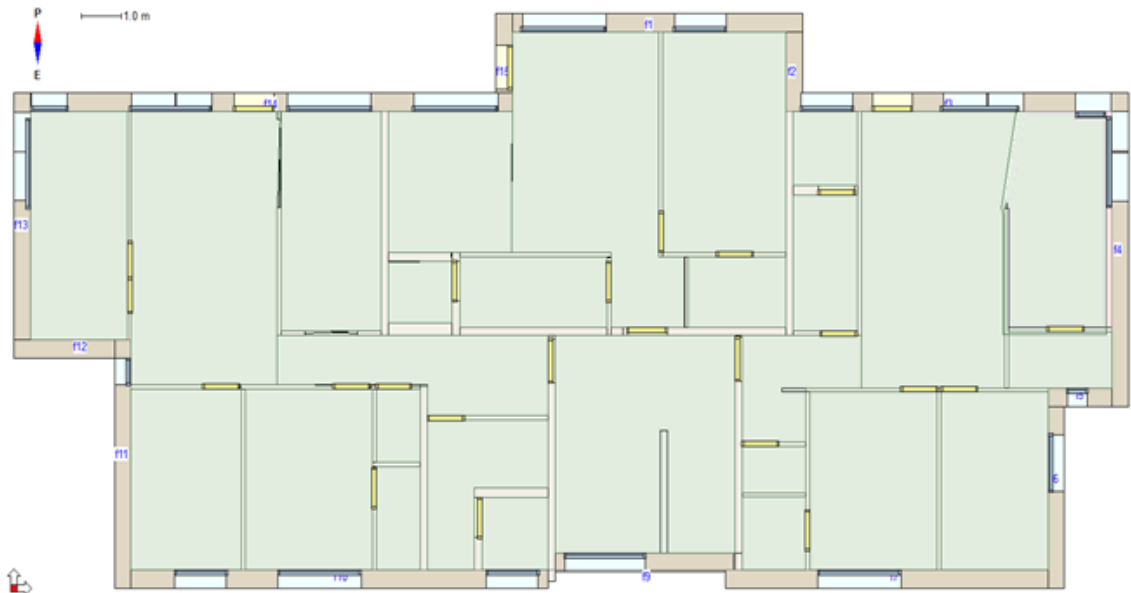
Simulointien sisäiset laitekutomat simuloitiin rakentamismääräyskokoelman (1010/2017) asetuksilla.



KUVA 9. Kerrostalon 3D malli



KUVA 10. Ensimmäisen kerroksen pohjakuva.

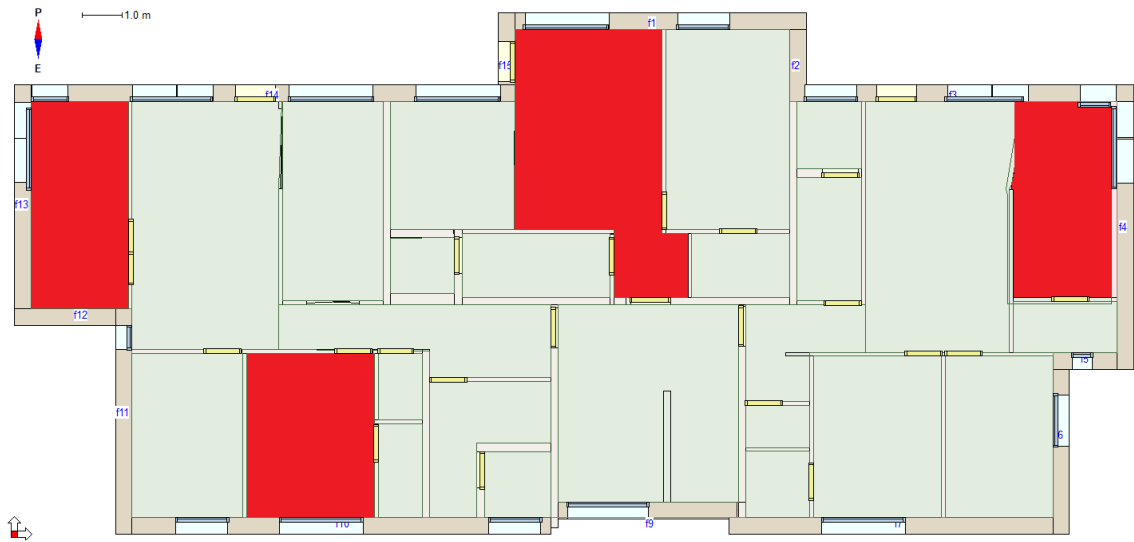


KUVA 11. 2–7 kerroksien pohjakuva.

5.1 Simuloinnin suorittaminen

Rakennuksen lämmitysmuotona käytetään kaukolämpöä. Ilmanvaihtokoneessa on lämmöntalteenotto mutta ei jäähdytyksentalteenottoa. Lämpötilojen seuraamiseen valitaan yksi huone jokaisesta päällmansuunnasta. Pohjoisessa oleva huone on olohuone, idässä keittiö ja lännessä sekä etelässä makuuhuone. Kuvasta 12 voidaan huomata, etteivät huoneet ole samanlaisia ja ikkunakootkin vaihtelevat. Nämä seikat vaikuttavat paljon huoneen lämpötiloihin ja lämpörajan ylittymiseen.

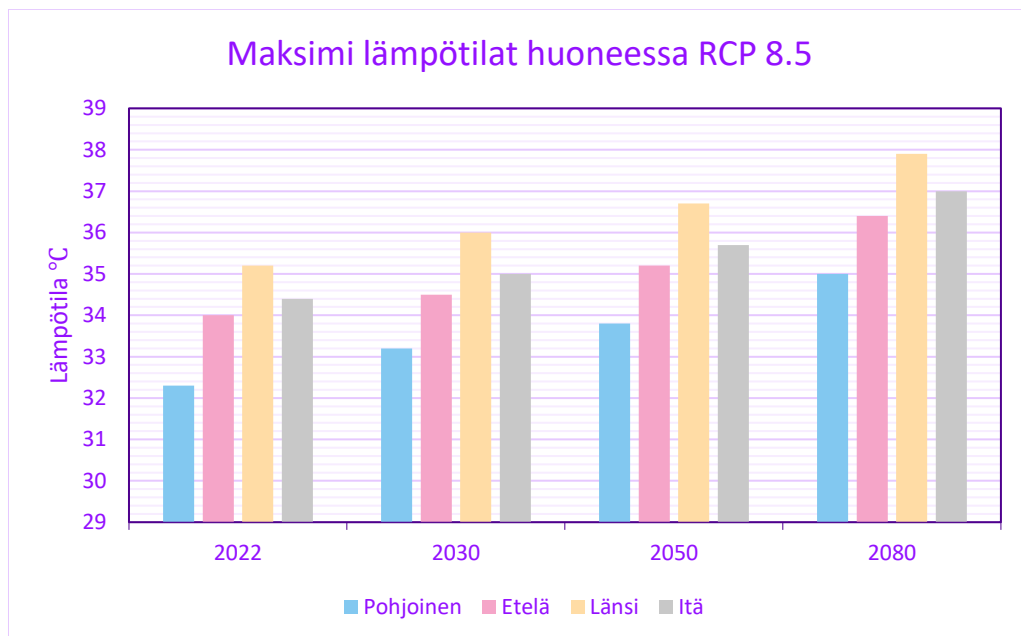
Ensimmäisissä tutkimuksissa käytetyissä huoneissa ei ole minkäänlaista jäähdytystä, pelkästään sälekaihtimet ikkunoissa. Tämän seurauksena lämpötilat ovat korkeat ja asetuntisummat tulevat ylittymään huomattavasti sallitun rajan. Lämpötila ei saisi ylittää 27 asteen jäähdytysrajan arvoa enempää kuin 150 tuntia kesä-elokuun välisenä aikana. Lisäämällä ideaalisen jäähdytyslaitteen simuloiteihin pysyisivät lämpötilat alle 27 °C koko kesän. Simulointien tarkemmat tulokset kerrotaan tutkimustuloksissa.



KUVA 12. Lämpötilojen muutoksessa seurattavat huoneet

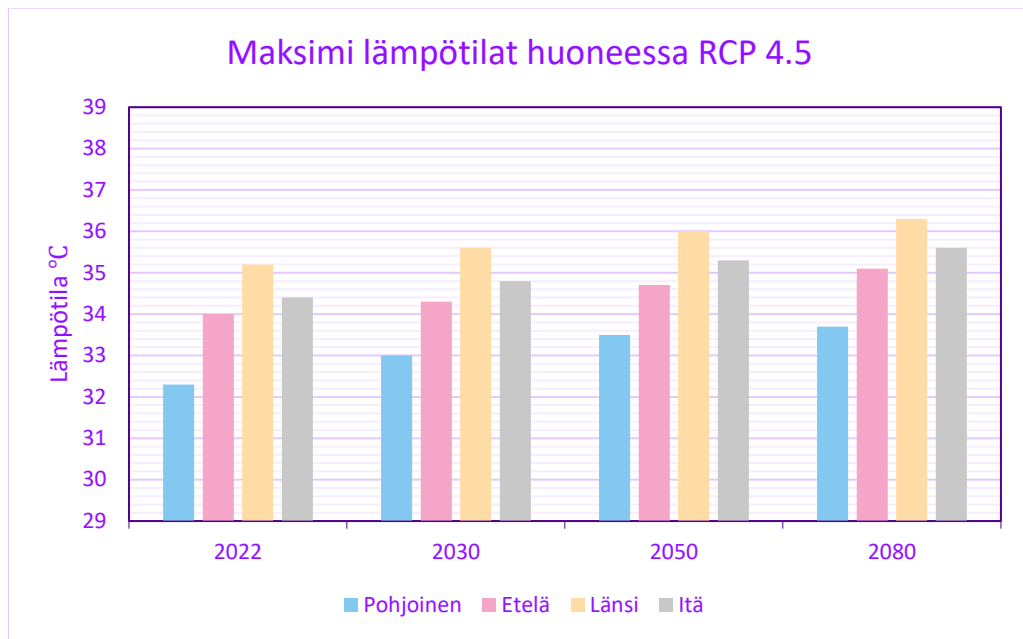
5.1.1 Maksimi lämpötilojen muutos

Seuraavissa kaavioissa esitetään, kuinka paljon huoneiden maksimi lämpötilat muuttuvat ilmastonlämpenemisen seurauksena. Lämpötilan muutosta RCP 8.5 skenaariossa voidaan seurata alapuolella olevasta kuviosta 7.



KUVIO 7. Lämpötilojen muutos RCP 8.5 skenaariolla

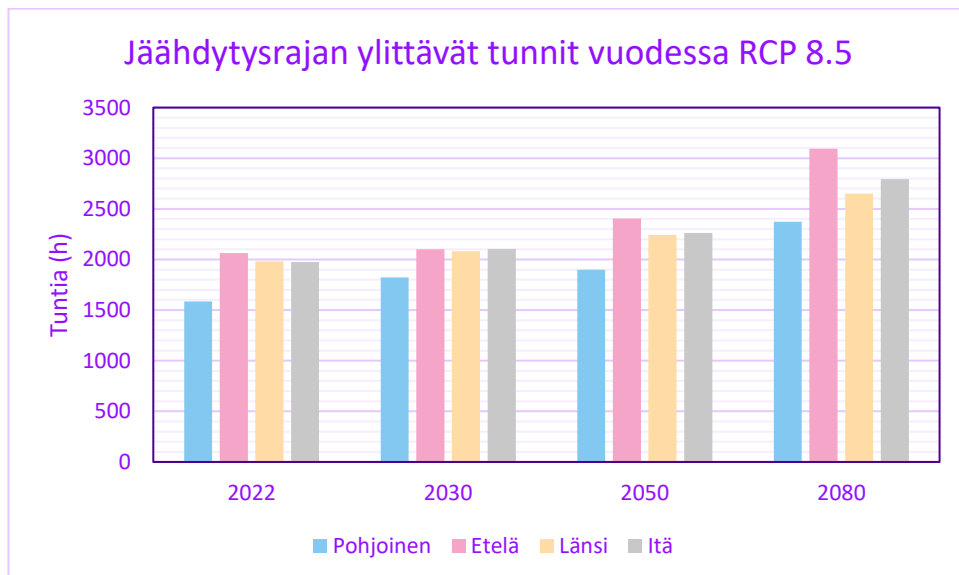
Kaavio lämpötilojen muutoksesta RCP 4.5 skenaariossa alapuolella olevassa kuviossa 8.



KUVIO 8. Lämpötilojen muutos RCP 4.5 Skenaariolla

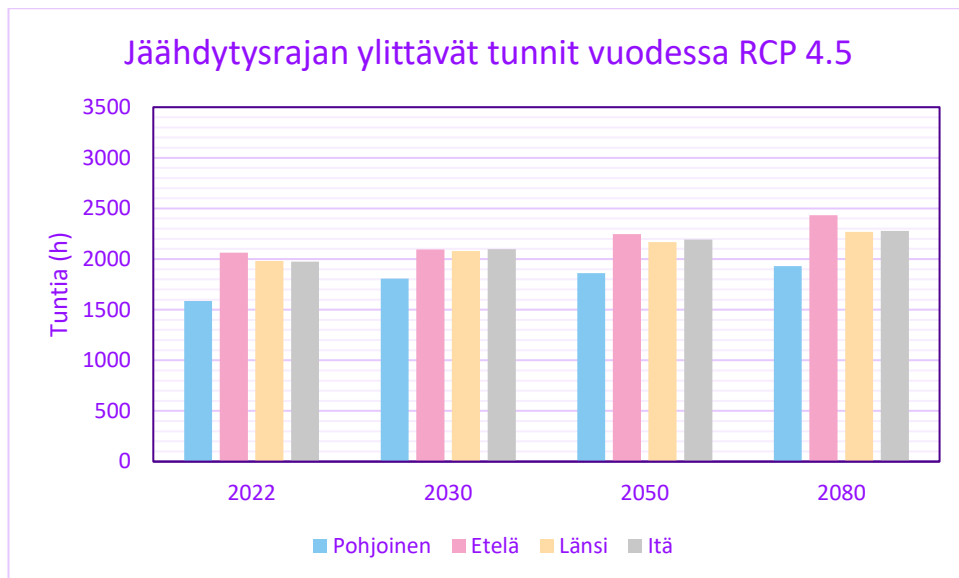
5.1.2 Jäähdytysrajan ylittävien tuntien muutos

Seuraavissa kaavioissa esitetään kuinka monta tuntia jäähdytysraja eli 27 °C ylittyy huoneissa vuoden aikana. Jäähdytysrajan ylittymistä RCP 8.5 skenaariossa voidaan seurata alla puolella olevasta kuviosta 9.



KUVIO 9. Jäähdytysrajan ylittävät tunnit vuodessa RCP 8.5 skenaariolla

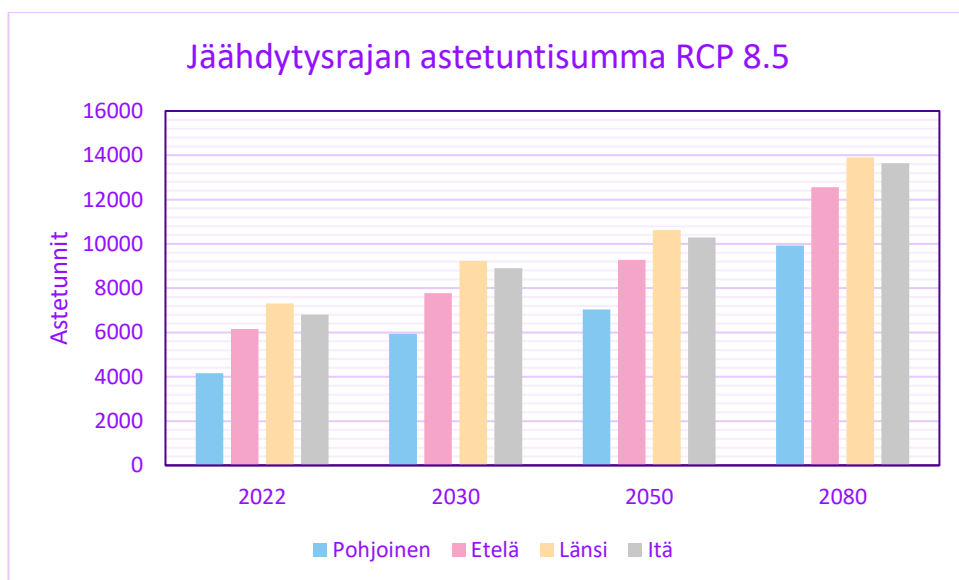
Kaavio jäähdytysrajan ylittävien tuntien määrän noususta RCP 4.5 skenaariossa alapuolella olevassa kuviosta 10.



KUVIO 10. Jäähdytysrajan ylittävät tunnit vuodessa RCP 4.5 skenaariolla

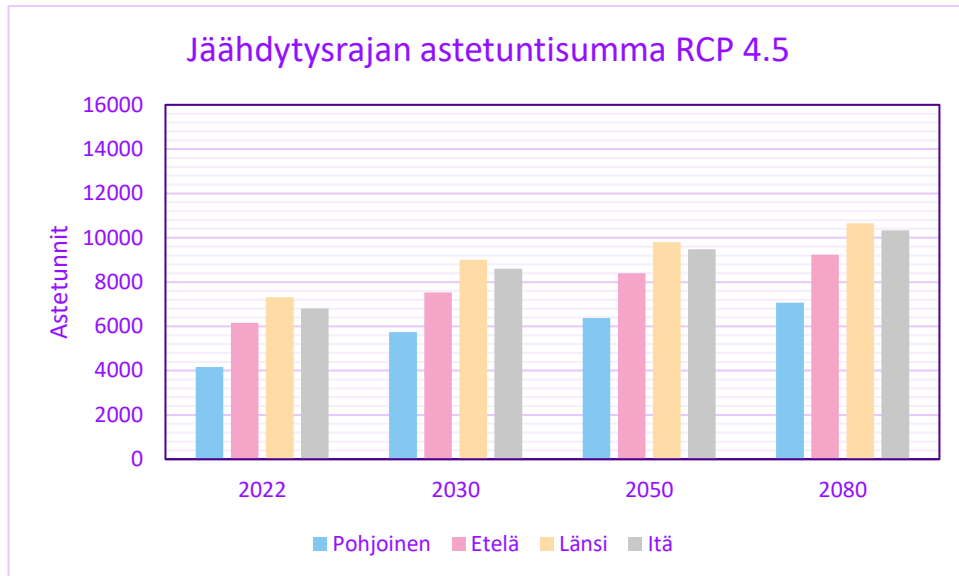
5.1.3 Jäähdytysrajan astetuntisumman muutos

Seuraavissa kaavioissa esitetään huoneiden 27 °C ylittävää astetuntisummaa vuoden aikana, astetunti on tietyn lämpötilan ja ajan tulo. Esimerkiksi kolmeen asteen ylitys kahden tunnin ajan on yhtä kuin 6 astetuntia. Jäähdytysrajan astetuntisumman nousua RCP 8.5 skenaariossa voidaan seurata alla olevasta kuvioista 11.



KUVIO 11. Jäähdytysrajan astetuntisumma RCP 8.5 skenaariolla.

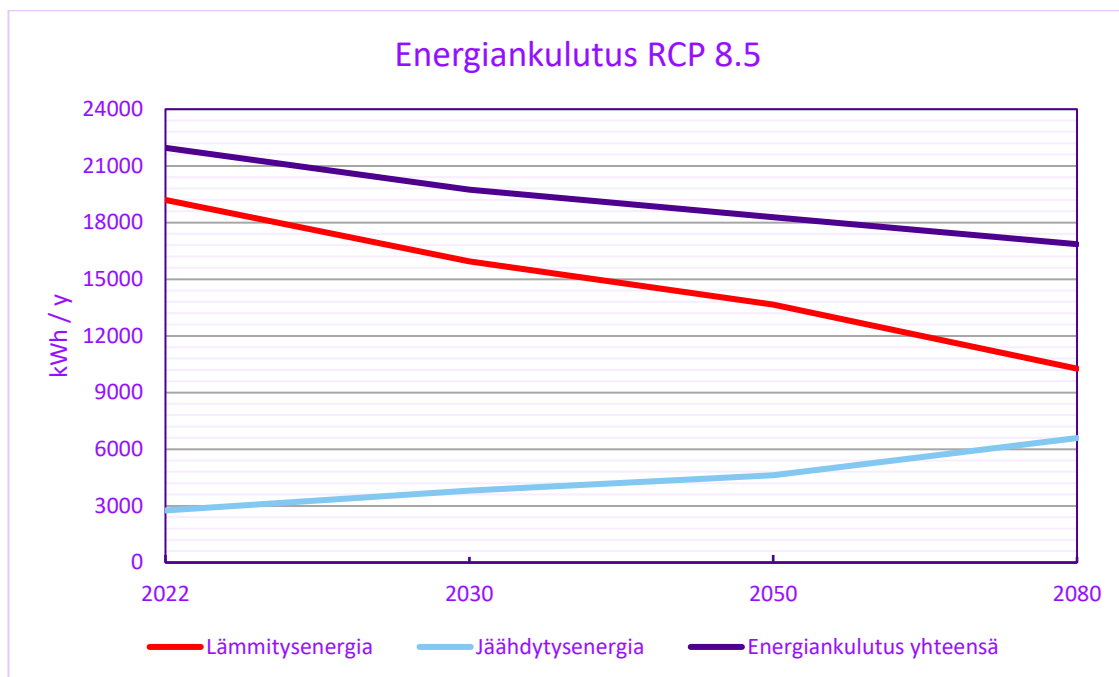
Kaavio jäädytysrajan astetuntisumman noususta RCP 4.5 skenaariossa alapuolella olevassa kuviossa 12.



KUVIO 12. Jäädytysrajan astetuntisumma RCP 4.5 skenaariolla.

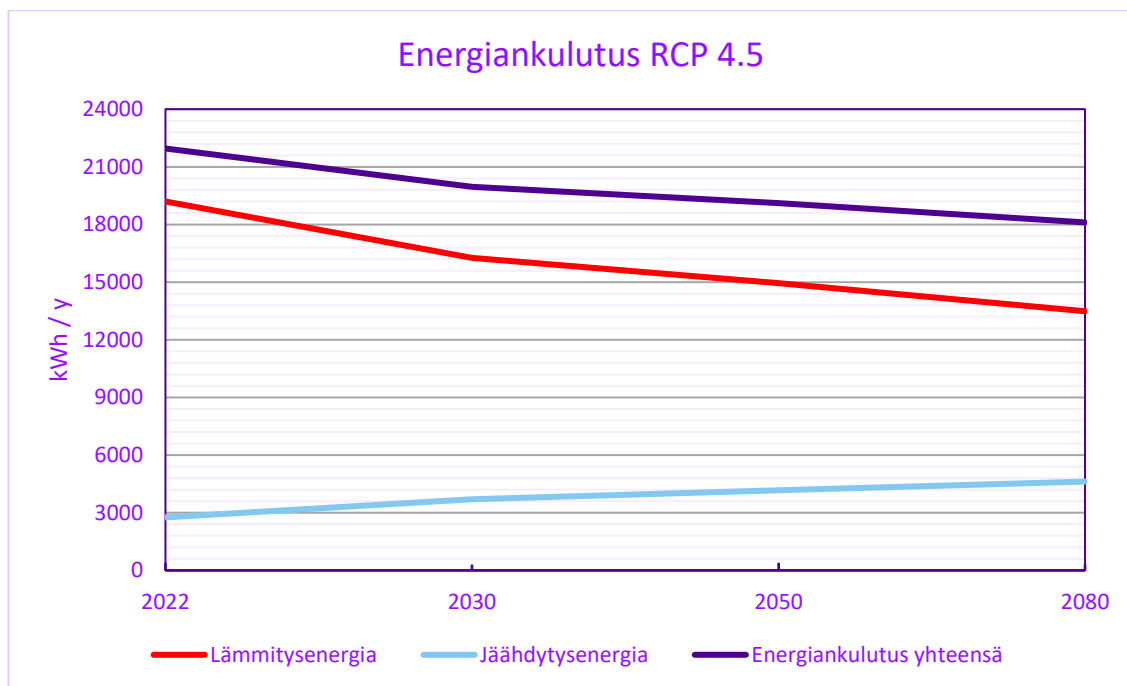
5.1.4 Energiankulutuksen muutos

Energiankulutuksen tutkimiseen lisätään asuntoihin kaukojäähdytys ja jäähdytyslaitteet. Kaukojäähdytys on vain oleskelutiloissa, esimerkiksi ensimmäisen kerroksen aulassa tai vaatekaapeissa ei ole jäähdytystä. Seuraavissa kaavioissa esitetään paljonko lämmityksen ja jäähdytyksen energiankulutus muuttuu vuoteen 2080 mennessä. Energiankulutuksen muutosta RCP 8.5 skenaariossa voidaan seurata alla olevasta kuvioista 13.



KUVIO 13. Energiankulutuksen muutos kahdessa kerroksessa vuoteen 2080 saakka RCP 8.5 skenaariolla.

Kaavio energiankulutuksen muutoksesta RCP 4.5 skenaariossa alapuolella olevassa kuviossa 14.

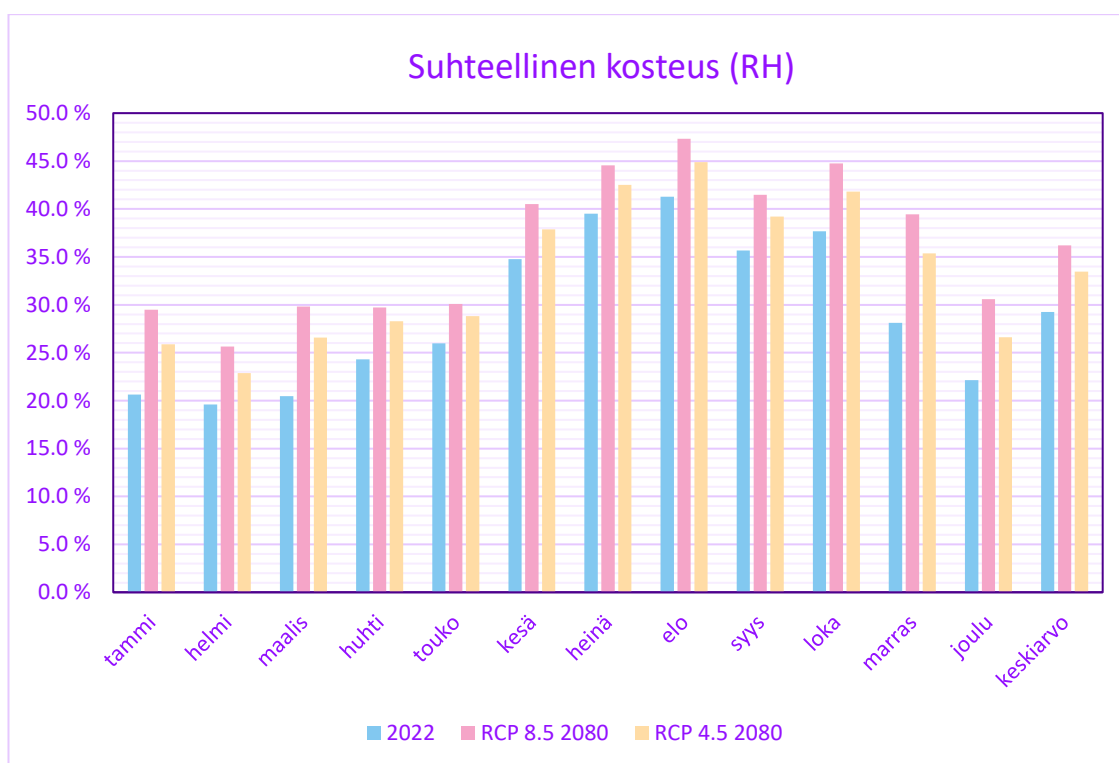


KUVIO 14. Energiankulutuksen muutos kahdessa kerroksessa vuoteen 2080 saakka RCP 4.5 skenaariolla.

5.1.5 Suhteellisen kosteuden muutos

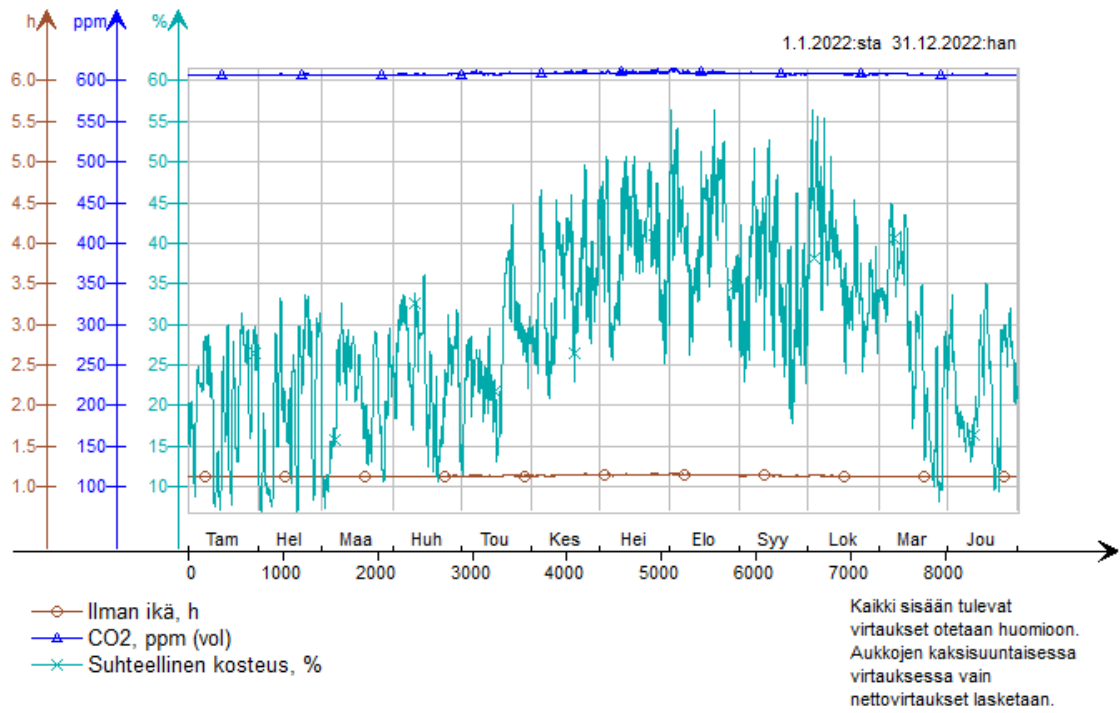
Lämpenemisen seurauksena suhteellinen kosteus nousee huoneissa tulevaisuudessa. Huoneeksi valittiin lännessä sijaitseva makuuhuone, jossa on jäähdytys. Huoneilman ikä on noin tunti ja huoneilman CO₂ pitoisuus on noin 600 ppm.

Seuraavassa kaaviossa esitetään, paljonko suhteellinen kosteus muuttuu huoneessa 2080 molemmissa skenaarioissa. Suhteellisen kosteuden muutosta voidaan seurata alla olevasta kuviosta 15.

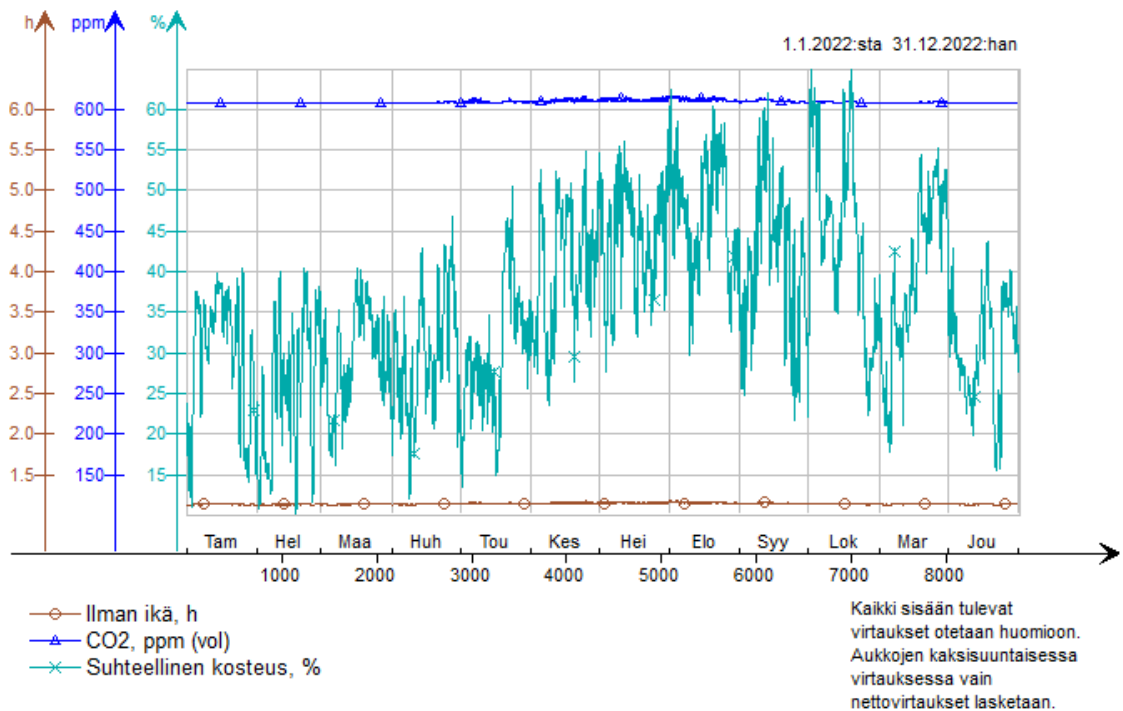


KUVIO 15. Suhteellisen kosteuden muutos 2022, RCP 8.5 2080 ja RCP 4.5 2080 skenaarioissa.

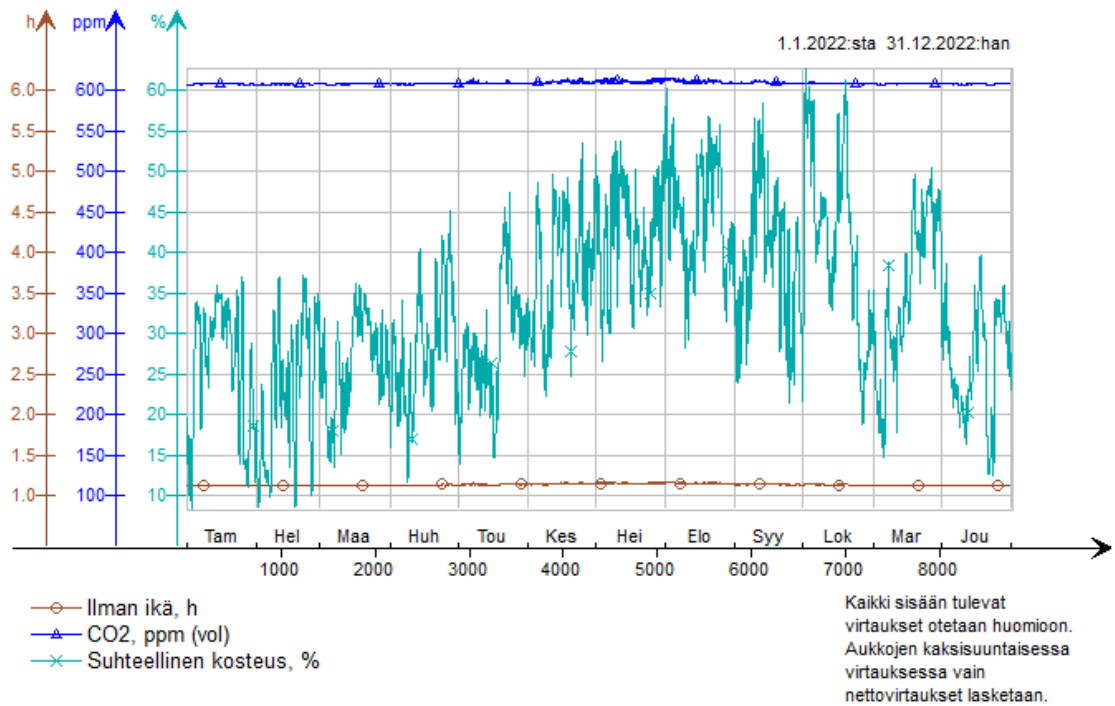
Alapuolella kolme eri kuviota, joista pystytään seuraamaan tarkemmin suhteellisen kosteuden muutosta huoneessa vuoden aikana eri skenaarioilla.



KUVIO 16. Lännessä sijaitsevan makuuhuoneen sisäilman laatu 2022.



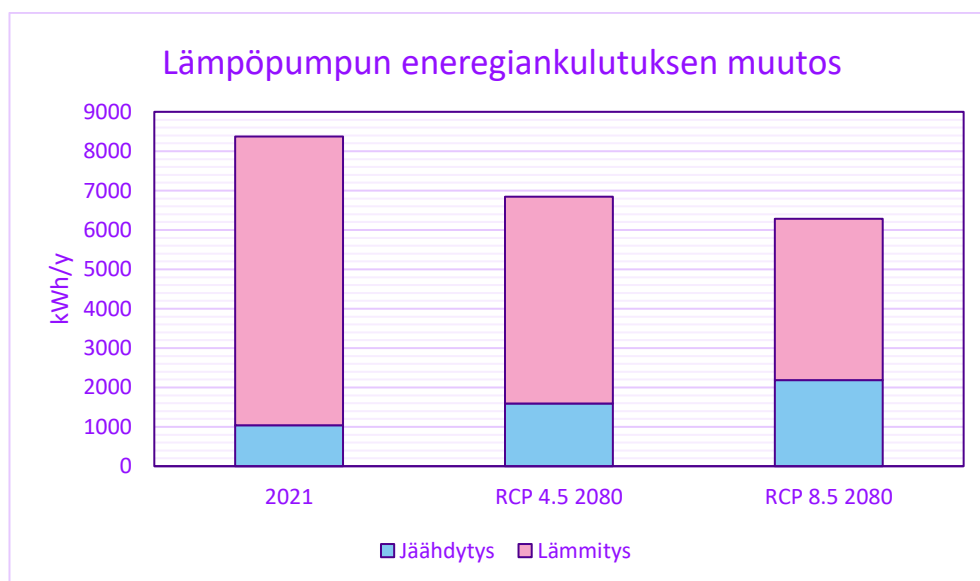
KUVIO 17. Lännessä sijaitsevan makuuhuoneen sisäilman laatu vuonna 2080 RCP 8.5 skenaariossa.



KUVIO 18. Lännessä sijaitsevan makuuhuoneen sisäilman laatu vuonna 2080 RCP 4.5 skenaariossa.

5.1.6 Lämpöpumpun energiankulutuksen muutos

Alapuolella olevasta kuviosta 19. voidaan seurata lämpöpumpun energiankulutuksen muutosta tulevaisuudessa. Vaikka jäähdytystarve kaksinkertaistuu, kokonaisenergiankulutus laskee.



KUVIO 19. Kaukojäähdytyksen ja ilmalämpöpumpun energiankulutuksen vertailu vuonna 2080.

6 TUTKIMUSTULOKSET

Tutkimustuloksista voidaan huomata, että ilmastonmuutos vaikuttaa huomattavasti rakennuksen sisäolosuhteisiin. Skenaariosta riippuen lämpötilat nousevat eri määrän, mutta nousu on silti huomattavaa.

Skenaariossa RCP 8.5 Lämpötilat nousevat tasaisesti vuoteen 2080 mennessä noin 2,5 °C ja skenaariossa RCP 4.5 Lämpötilat nousevat tasaisesti vuoteen 2080 mennessä noin 1,2 °C.

RCP 8.5 skenaariossa lämpöraja ylittyminen nousee 2080 vuoteen mennessä noin 700–1000 tunnilla riippuen ilmansuunnasta ja huoneesta, etelässä eniten. RCP 4.5 skenaariossa jäädytysrajan ylittyminen nousee noin 300 tunnilla jokaisessa ilmansuunnasta vuoteen 2080 mennessä.

RCP 8.5 skenaariossa jäädytysrajan ylittävät astetunnit kaksinkertaistuvat jokaisessa huoneessa vuoteen 2080 mennessä ja RCP 4.5 skenaariolla jäädytysrajan ylittävät astetunnit kasvavat noin puolella jokaisessa huoneessa vuoteen 2080 mennessä.

Jäädytyksen energiankulutus tulee nousemaan ja lämmityksen laskemaan. Lämmittämiseen kuluva energia kuitenkin laskee huomattavasti enemmän kuin jäädytyksen nousee. Tämän seurauksena tulevaisuudessa kokonaisenergiankulutus tulee laskemaan tulevaisuudessa.

RCP 8.5 skenaariossa vuosittainen lämmitysenergiantarve laskee huomattavasti ja jäädytystarve kaksinkertaistuu. Kokonaisenergiankulutus laskee noin 5000 kWh vuodessa ilmaston lämpenemisen seurauksena ja RCP 4.5 skenaariossa vuosittainen lämmitysenergiantarve laskee ja jäädytystarve kasvaa puolella. Kokonaisenergiankulutus laskee noin 3000 kWh.

RCP 8.5 skenaariossa huoneen suhteellinen kosteus tulee keskimäärin nousemaan 2080 mennessä noin 7 % ja skenaariossa RCP 4.5 noin 4 %.

Simulointien perusteella kaukojäähdytyksen ja ilmalämpöpumpun energiankulutuksella ei ole merkittävää eroa. Ilmalämpöpumppu säilyttää hieman enemmän energiaa lämmityksessä, kun taas kaukojäähdytys on energiatehokkaampi jäähdytykseen.

7 POHDINTA

Ilmastonmuutoksen seurauksena maapallon ja Suomen lämpötilat tulevat kasvamaan. Hellejaksot yleistyvät ja pitenevät, sademäärät kasvavat ja lumipeiteaika vähenee. Talvella muutokset ovat suurempia kuin kesällä. Pidentyvien hellejaksojen takia on tärkeää, että jäähdytyskin toimii.

Lämpöpumppujen suosio tulee todennäköisesti kasvamaan tulevaisuudessakin, niiden hyvän energiatehokkuuden ja sähkön hinnan nousun myötä. Kuitenkin lämpöpumput käyttävät ympäristölle haitallisia kylmäaineita, joiden käytön EU tulee kieltämään tai rajoittamaan tulevina vuosina. Tämän seurauksena joudutaan kehittämään uudenlaisia, vähemmän ympäristölle haitallisia kylmäaineita ja lämpöpumppuja.

Kaukojäähdytys jatkaa kasvamistaan, kaukokylmän myynti on kaksinkertaistunut viimeisen viiden vuoden aikana. Kaukokylmäverkon alueelle rakennettavat uudisrakennukset ja vanhat rakennukset, joihin tehdään putkiremontti olisi kannattavaa liittää kaukokylmäverkkoon. Kaukojäähdytyksen hyödyt ovat merkittävät tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen kannalta sillä se hyödyntää uusiutuvaa sähköä sekä lämpöä. Suurimmat haitat kaukojäähdytyksessä tulee olemaan sen käyttöönoton hinta ja se että sitä tarjotaan tällä hetkellä vain suurimmissa kaupungeissa Suomessa. Alueilla, joilla kaukojäähdytysverkkoon liittyminen ei ole mahdollista, voisi olla kannattavaa hyödyntää maaviileää.

Paras tapa estää rakennuksen ylikämpenemistä on kuitenkin aurinkosuojaus. Tulevaisuudessa tulisi panostaa entistäkin enemmän aurinkosuojaukseen jo suunnitteluvaiheessa. Aurinkosuojauksella ja energiatehokkailla ikkunoilla voidaan säästää energiankulutuksessa huomattavasti, ne eivät tarvitse huoltoa, eikä niillä ole päästöjä valmistuksen jälkeen.

Jos jotain positiivista halutaan ilmastonmuutoksesta löytää, niin lämmitykseen kuluvan energian väheneminen. On kuitenkin tärkeää pyrkiä vähentämään jäähdytykseen energiankulutusta. Jäähdytyksen miettiminen jo suunnitteluvaiheessa ja uudet energiatehokkaammat ratkaisut ovat tärkeitä nyt ja tulevaisuudessa.

LÄHTEET

- Ala-Outinen, T. Harmaajärvi, I. Kivikoski, H. Kouhia, I. Makkonen, L. Saarelainen, S. Tuhola, M. Törnqvist, J. VTT. 2004. Ilmastomuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön. Viitattu 12.1.2022. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2004/T2227.pdf>
- Aurinkosuojaus Ry. n.d. Aurinkosuojat. Viitattu 26.1.2022. <https://aurinkosuojaus.fi/aurinkosuojat/>
- Beck, Wouter. Dolmas, Dick. Dutoo, Gonzague. Hall, Andreas. Seppänen, Olli. 2011. REHVA. Aurinkosuojaus. Aurinkosuojauksen suunnittelu kestävän kehityksen mukaisiin rakennuksiin.
- Biottori. 2021. Puhallinkonvektorit. Viitattu 8.3.2022 <https://www.biottori.fi/tuote-ryhma/puhallinkonvektorit-919028>
- Connaissancedesenergies. 2018. "Cooling" needs in the face of the challenge of global warming. Viitattu 5.1.2022. <https://www.connaissancedesenergies.org/les-besoins-de-refroidissement-face-au-defi-du-rechauffement-climatique-180420>
- Energiavuosi 2021. Kaukolämpö. Energiateollisuus Ry. Viitattu 6.3.2022. https://energia.fi/files/5650/Kaukolampovuosi_2021_v1.4_FINAL.pdf
- Euroopan Komissio. n.d. Ilmastomuutoksen syyt. Viitattu 11.1.2022. https://ec.europa.eu/clima/climate-change/causes-climate-change_fi
- Finlex. 2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Viitattu 6.1.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>
- Green building council finland. 2021. Miten rakennuksemme sopeutuu ilmastomuutokseen. Viitattu 5.1.2022. <https://figbc.fi/miten-rakennuskantamme-sopeutuu-ilmastonmuutokseen/>
- IEA. 2018. Air conditioning use emerges as one of the key drivers of global electricity-demand growth. Viitattu 5.1.2022. <https://www.iea.org/news/air-conditioning-use-emerges-as-one-of-the-key-drivers-of-global-electricity-demand-growth>
- Ilmakas. n.d. Sisäilman kosteus omakotitalossa. Viitattu 7.4.2022. <https://ilmakas.fi/sisailman-kosteus-omakotitalossa/>
- Ilmasto-opas. 2017. Ennustettu ilmastonmuutos Suomessa. Viitattu 21.11.2021. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/dfe79a73-08ea-4686-8463-811b87f53e44/lampotilat-kohoavat.html>
- Ilmatieteen laitos. n.d. Havaintojen lataus. Viitattu 17.2.2022. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>
- Ilmatieteen laitos. 2020. Energialaskennan testivuodet 2020. Viitattu 17.2.2022. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/energialaskenta-try2020>

Ilmatieteen laitos. 2021a. Kuudes arviointiraportti. Viitattu 4.1.2022.

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuudes-arviointiraportti>

Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokola, L., Saku, S., Seitola, T. 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. Viitattu 26.12.2021. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/15711/2009nro4.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Maa- ja metsätalousministeriö. 2012. Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua? Viitattu 11.1.2022. https://mmm.fi/documents/1410837/1721026/MMM_julkaisu_2012_6.pdf/c01a813c-8538-4efab29e-4844d723c0af

Motiva. 2020. Lämpöpumput. Viitattu 14.3.2022. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput

Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy ja Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL Ry. 2013. Rakennuttaja kalenteri 2013. Viitattu 19.1.2022. <https://docplayer.fi/14844222-lhmisen-lampoastimuksen-uusi-arviointimene-telma.html>

Ruosteenoja, K., Jylhä, K & Kämäräinen, M. 2016. Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. Geophysica, Volume 51, Issue 1: 17–50. Viitattu 25.12.2021 http://www.geophysica.fi/pdf/geophysica_2016_51_1-2_017_ruosteenoja.pdf

Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Kämäräinen, M. & Pirinen, P. 2016. Terminen kasvukausi lämpenevässä ilmastossa. Viitattu 21.11.2021. <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/documents/31422/83635880/Ruosteenoja+Terminen+kasvukausi+%C3%A4mpenev%C3%A4ss%C3%A4%20ilmastossa+2016/5cd98a30-cab8-421d-970b-432ceb67fed>

Salonen, H. 2019. Ilmastonmuutos ja sen vaikutukset sisäympäristöön. Viitattu 25.12.2021. <https://www.sisailmauutiset.fi/blogit/ilmastonmuutos-ja-sen-vaikutukset-sisaymparistoon-lisaa-tutkimustietoa-ja-tutkimusrahoitusta-tarvitaan/>

Scanoffice. n.d. Miten ilmalämpöpumppu toimii? Viitattu 20.1.2022.

<https://www.scanoffice.fi/tuoteryhma/ilmalampopumput/opas/mika-on-ilmalampopumppu/miten-ilmalampopumppu-toimii/>

Swegon. n.d. Vapaa vai kompressorijäähdytys. Viitattu 6.3.2022.

<https://www.swegon.com/fi/oppaat/tekniikat/vapaaajaahdytys-vai-kompressorikylma/>

Terveiden ja hyvinvoinnin laitos. 2021a. Ilmastonmuutos. Viitattu 7.1.2022.

<https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ilmasto-ja-saa/ilmastonmuutos>

Terveiden ja hyvinvoinnin laitos. 2021b. Ympäristöterveys. Viitattu 16.2.2022.

<https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/sisailma/mitka-tekijat-vaikuttavat-sisailmanlaatuun->

- Thermia. Maalämpö. Viitattu 14.3.2022. <https://www.thermia.fi/maalampo/maalampo1/miten-maalampo-toimii/>
- Tuomaala, Pekka. 2013. Ihmisen lämpöaistimuksen uusi arviointimenetelmä. Viitattu 15.3.2022. <https://docplayer.fi/14844222-Ihmisen-lampoaimuksen-uusi-arviointimenetelma.html>
- Tuomenoja, Markku. 2020. Hukkalämmöstä jäähdytystä – mitä on kaukokylmä? Luettu 20.1.2022. <https://afry.com/fi-fi/artikkeli/hukkalammosta-jaahdytysta-mita-kaukokylma>
- Uc San Diego. 2020. Rise of carbon dioxide unabated. Viitattu 25.4.2022. <https://scripps.ucsd.edu/news/rise-carbon-dioxide-unabated>
- Uponor. n.d. Lattialämmitys ja -viilennys. Viitattu 8.3.2022. <https://www.uponor.com/fi-fi/tuotejarjestelmat/lattialammitys-viilennys>
- Vallox. n.d. Kesäviileyttä ilmanvaihdolla. Viitattu 15.3.2022. https://www.vallox.com/tietoa_ilmanvaihdosta/kesaviileytta_ilmanvaihdolla.html
- WWF. 2019. Ilmastonmuutoksen vaikutus Suomen luontoon esimerkkiympäristöissä. Viitattu 21.11.2021. https://wwf.fi/app/uploads/e/e/8/nemcd2ojf64v9qtqt7rrii/ilmastonmuutos_ja_suomen_luonto.pdf

LIITTEET

TAULUKKO 3. Huoneiden jäähdytysrajan asetuntisummat, ylittävät tunnit ja maksimi lämpötilat RCP 8.5 skenaariossa.

RCP 8.5					
Jäähdytysrajan asetuntisumma					
		2022	2030	2050	2080
OH-15	Pohjoinen	4164	5939	7040	9922
MH-35	Etelä	6156	7776	9274	12563
MH-37	Länsi	7317	9228	10620	13900
K-18	Itä	6811	8900	10284	13639
Jäähdytysrajan ylittävät tunnit vuodessa					
		2022	2030	2050	2080
OH-15	Pohjoinen	1585	1824	1900	2372
MH-35	Etelä	2063	2100	2404	3093
MH-37	Länsi	1982	2083	2242	2651
K-18	Itä	1975	2105	2263	2792
Maksimi lämpötilat					
		2022	2030	2050	2080
OH-15	Pohjoinen	32.3	33.2	33.8	35
MH-35	Etelä	34	34.5	35.2	36.4
MH-37	Länsi	35.2	36	36.7	37.9
K-18	Itä	34.4	35	35.7	37

TAULUKKO 4. Huoneiden jäähdytysrajan astetuntisummat, ylittävät tunnit ja maksimi lämpötilat RCP 4.5 skenaariossa.

RCP 4.5					
Jäähdytysrajan astetuntisumma					
		2022	2030	2050	2080
OH-15	Pohjoinen	4164	5732	6380	7063
MH-35	Etelä	6156	7535	8400	9240
MH-37	Länsi	7317	9000	9806	10648
K-18	Itä	6811	8605	9477	10338
Jäähdytysrajan ylittävät tunnit vuodessa					
		2022	2030	2050	2080
OH-15	Pohjoinen	1585	1806	1862	1931
MH-35	Etelä	2063	2095	2248	2432
MH-37	Länsi	1982	2080	2167	2270
K-18	Itä	1975	2097	2192	2278
Maksimi lämpötilat					
		2022	2030	2050	2080
OH-15	Pohjoinen	32.3	33	33.5	33.7
MH-35	Etelä	34	34.3	34.7	35.1
MH-37	Länsi	35.2	35.6	36	36.3
K-18	Itä	34.4	34.8	35.3	35.6

Nykyhetki	2030	2050	2080	
Tilalämmitys kWh	9882.4	7988.3	6759.5	4958.6
Tilajäähdytys kWh	2758.0	3807.4	4621.7	6589.2
Lämmitys IV-koneella kWh	9314.1	7950.6	6902.6	5307.0

KUVA 13. Lämmityksen ja jäähdytykseen kuluva energia RCP 8.5 skenaariossa

Nykyhetki	2030	2050	2080	
Tilalämmitys kWh	9882.4	8166.2	7459.8	6674.6
Tilajäähdytys kWh	2758.0	3702.3	4165.2	4621.4
Lämmitys IV-koneella kWh	9314.1	8095.5	7479.8	6812.4

KUVA 14. Lämmityksen ja jäähdytykseen kuluva energia RCP 4.5 skenaariossa

	kWh
Tilalämmitys	4505.0
Tilajäähdytys	6981.9
Lämmitys IV-koneella	5315.4

KUVA 15. Ilmalämpöpumpun energiankulutus vuonna 2080 RCP 8.5 skenaariossa.

TAULUKKO 5. Sisäilman laatu 2022.

	Muuttujat		
	Ilman ikä, h	CO ₂ , ppm (vol)	Suhteellinen kosteus, %
Tammikuu	1.132	607.3	20.65
Helmikuu	1.131	607.3	19.6
Maaliskuu	1.132	607.3	20.46
Huhtikuu	1.134	607.6	24.3
Toukokuu	1.139	608.3	25.97
Kesäkuu	1.143	609.2	34.77
Heinäkuu	1.148	610.1	39.52
Elokuu	1.148	610.0	41.27
Syyskuu	1.14	608.6	35.66
Lokakuu	1.137	608.2	37.67
Marraskuu	1.134	607.7	28.12
Joulukuu	1.132	607.4	22.14
keskiarvo	1.137	608.3	29.24
keskiarvo*8760.0 h	9964.4	5328407.4	256160.0
min	1.131	607.3	19.6
maks	1.148	610.1	41.27

TAULUKKO 6. Sisäilman laatu RCP 4.5 2080.

	Muuttujat		
	Ilman ikä, h	CO ₂ , ppm (vol)	Suhteellinen kosteus, %
Tammikuu	1.133	607.6	25.88
Helmikuu	1.132	607.4	22.87
Maaliskuu	1.133	607.6	26.58
Huhtikuu	1.135	607.9	28.29
Toukokuu	1.141	608.7	28.82
Kesäkuu	1.147	609.8	37.88
Heinäkuu	1.154	611.2	42.53
Elokuu	1.152	610.9	44.88
Syyskuu	1.143	609.1	39.2
Lokakuu	1.138	608.4	41.82
Marraskuu	1.135	608.0	35.37
Joulukuu	1.133	607.6	26.63
keskiarvo	1.14	608.7	33.46
keskiarvo*8760.0 h	9985.0	5332237.4	293145.8
min	1.132	607.4	22.87
maks	1.154	611.2	44.88

TAULUKKO 7. Sisäilman laatu RCP 8.5 2080.

	Muuttujat		
	Ilman ikä, h	CO ₂ , ppm (vol)	Suhteellinen kosteus, %
Tammikuu	1.134	607.7	29.49
Helmikuu	1.133	607.6	25.66
Maaliskuu	1.134	607.8	29.81
Huhtikuu	1.136	608.0	29.73
Toukokuu	1.142	609.0	30.08
Kesäkuu	1.15	610.5	40.51
Heinäkuu	1.157	611.9	44.56
Elokuu	1.157	611.8	47.33
Syyskuu	1.146	609.8	41.47
Lokakuu	1.14	608.6	44.76
Marraskuu	1.136	608.2	39.45
Joulukuu	1.134	607.8	30.58
keskiarvo	1.142	609.1	36.19
keskiarvo*8760.0 h	10002.4	5335502.9	317001.5
min	1.133	607.6	25.66
maks	1.157	611.9	47.33