

Mikko Karttunen

Tulevaisuuden testisään vaikutus asuinkerrostalojen yllämpenemisessä

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Talotekniikka (LVI)

2022



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Mikko Karttunen
Työn nimi	Tulevaisuuden testisään vaikutus asuinkerrostalojen yllämpenemisessä
Toimeksiantaja	Granlund Kuopio Oy
Vuosi	2022
Sivut	39 sivua
Työn ohjaaja(t) Oy)	Johanna Arola (Xamk), DI Tuomas Valkonen (Granlund Kuopio Oy)

TIIVISTELMÄ

Ilmastonmuutos on käynnissä, kesän hellejaksot ovat pidentyneet ja tulevat pidentymään entisestään. Tulevaisuuden rakentamisessa tulee entistä tarkemmin kiinnittää huomiota rakennuksien yllämpenemiseen ja sen ennalta ehkäisyyn.

Tässä työssä tutkittiin asuinkerrostalon yllämpenemistä käyttämällä tulevaisuuden testivuoden 2030 säätiedostoa ja verrattiin, kuinka laskelmat poikkeavat testivuoden 2012 säätiedoston tuloksista. Samalla verrattiin Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (YMa 1010 /2017) asetuksen vakioidun käytön ja vyöhykekohtaisen käytön eroavaisuuksia sisäilmaolosuhteissa. Tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon tulokset poikkeavat testivuoden 2012 ja 2030 välillä, ja saada tietoa, kuinka paljon enemmän yllämpenemistä tapahtuu tulevaisuudessa.

Tutkimus suoritettiin dynaamisen laskennan IDA ICE -ohjelmistolla ja IFC-malli rakennettiin Autodesk MagiRoom -ohjelmistolla. Tuloksien vertailussa hyödynnettiin Microsoftin Excel-ohjelmistoa.

Tuloksena syntyi simulaatiomallit yllämpötarkasteluun, joista toinen käyttää säätiedostona vuoden 2012 testivuotta ja toinen 2030. Työssä selvitettiin myös vakioidun ja vyöhykekohtaisen kuormituksen vaikutuksia sisäilmaolosuhteisiin. Tulokset vyöhykekohtaisella tarkastelulla antoivat paremman kuvan huoneiston todellisista sisäisistä lämpökuormituksista, jotka johtuivat käyttäjien aiheuttamasta käyttöpiikistä. Verrattaessa testivuosia 2012 ja 2030 keskenään havaittiin merkittävä kasvu yllämpöastetuntisummassa, joka tarkoittaa tämän hetken tarkastelun riittämättömyydestä tulevien kesien hellejaksoja ajatellen. Mallin asetuksia on mahdollisuus käyttää tulevilla projekteilla.

Tuloksista käy ilmi kuinka paljon testivuodet eroavat toisistaan ja kuinka merkittävä vaikutus tulevaisuuden testisäällä on asuinkerrostalojen yllämpö tarkasteluun. Tarkasteluajanjaksolla 1.6–31.8 huomattiin, että ero jäähdytysrajan astetuntisummassa ei johdu niinkään korkeimmista kesän lämpötiloista vaan pidempikestoisemmista hellejaksoista. Työstä saatuja tietoja voidaan käyttää asuinkerrostalojen sisäilmastosuunnitteluohjeen luomisessa.

Asiasanat: Sisäilmasto, asuinkerrostalo, yllämpeneminen, simulaatio, IDA ICE

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Mikko Karttunen
Thesis title	Future test weather effect in overheating of residential buildings
Commissioned by	Granlund Kuopio Oy
Time	2022
Pages	39 pages
Supervisor	Johanna Arola (Xamk), DI Tuomas Valkonen (Granlund Kuopio Oy)

ABSTRACT

Climate change is under way, summer heat periods have become longer and will become more prolonged. In future construction, attention should be paid to the overheating of buildings and its prevention.

This work examined the overheating of a residential apartment building using the weather file for the upcoming year 2030 and compared how the calculations differ from the results of the weather file for the 2012 test year. At the same time, Decree of the Ministry of the Environment on the energy efficiency of a new building (YMA 1010 /2017) was compared with the difference between standardized use and zone-specific use in indoor air conditions. The goal was to find out how much the results differ between the test year 2012 and 2030, and to gain insight into how much more overheating will occur in the future.

The study was conducted using IDA ICE software for dynamic computing and the IFC model was built using Autodesk MagiRoom software. To compare results, Microsoft's Excel software was utilized.

As a result simulation models were made for overheat scrutiny, one using the 2012 test year as a weather file and the other using 2030 as a weather file. The work also explored the effects of standardized and zonal load on indoor atmospheric ratios. The results with a zone-by-zone review gave a better picture of the actual internal heat loads of the apartment and their usage spikes. When comparing the test years 2012 and 2030 with each other, a significant increase was observed in the cooling rate hourly sum, which is due to the inadequacy of the current review of the heat periods in future summers. There is an option to use template settings for future projects.

The results show how much the test years differ from each other and how significant the impact of future test weather is on the examination of the overheating of residential apartment buildings. During the observation period 1.6–31.8, it was noticed that the difference in the sum of degree hours of the cooling limit is not so much due to the highest summer temperatures, but to longer periods of heat. The information obtained from the work can be used in the creation of indoor climate design guidelines for apartment buildings.

Keywords: Indoor climate, residential apartment building, overheating, simulation, IDA ICE

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TUTKIMUKSEN TAUSTAT.....	7
3	RAKENNUSTEN SISÄILMASTO.....	8
3.1	Sisäilma ja sisäilmasto.....	8
3.2	Sisäilmaston lämpöolosuhteiden suunnittelu- ja tavoitearvot asuinkerrostaloissa ..	8
3.3	Lämpöolot ja vaikutukset	10
4	UUDISRAKENTAMISEN ENERGIAATEHOKKUUSASETUKSIEN MUKAINEN SISÄLÄMPÖTILA	11
4.1	Yliämpenemistä ohjaavat asetukset, määräykset ja ohjeet.....	12
4.2	Ristiriidat.....	12
5	ASUINKERROSTALOJEN SISÄILMASTON NYKYTILANNE JA TULEVAISUUS	13
6	SIMULOINNISSA KÄYTETTÄVÄ SÄÄDATA NYKYTILANTEESSA JA TULEVAISUUDESSA	14
6.1	Kaupungistumisen riskit.....	15
6.2	Kuumenemisen haitat terveydelle.....	16
6.3	Yliämpötilan hallinta suunnittelussa	18
7	VAKIOITU- JA VYÖHYKEKOHTAINEN KÄYTTÖ	19
8	RAKENNUKSEN MALLINNUS JA OLOSUHDESIMULOINTI	21
9	BETONISTEN JA PUURAKENTEISEN KERROSTALOJEN EROT.....	22
9.1	Puisen ja betonisen rakennuksen erot rakenteellisesti	22
9.2	Puu- ja betonirakenteen erot lämpöselviytymisestä.....	23
10	SIMULOINTIMALLIN RAKENTAMINEN IDA ICE -OHJELMAAN.....	24
10.1	Rakennuksen tietomalli ja käyttö	24
10.2	Yliämpösimulaatio.....	26
11	TUTKIMUSMENETELMÄT	27
12	OLOSUHDESIMULOINTIEN TULOKSET	30
12.1	Yliämpö astetuntisumma.....	30

12.2 Vakioitu ja vyöhykekohtainen käyttö	33
12.3 Säätidoston ja vyöhykekohtaisen käytön yhdistäminen	36
13 LOPPUTULOSTEN ARVIOINTI.....	38
14 JOHTOPÄÄTÖKSET	39
LÄHTEET.....	40

KUVALUETTELO

LIITTEET

Liite 1. Betonisen asuinkerrostalon yllämpenemissimuloinnin vertailu asetun-
nit testivuosien säätidostoilla TRY2012 ja TRY2030

Liite 2. Betonisen ja puisen asuinkerrostalon yllämpenemissimuloinnin aste-
tunti vertailu testivuoden säätidostolla TRY2030

Liite 3. Operatiivisen lämpötilan erot säädatojen välillä

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena oli kartoittaa asuinkerrostalojen sisäilmaston suunnitteluun vaikuttavan ylikämpenemisriskin kasvua tulevaisuudessa ja kuinka ihmiset vaikuttavat osaltaan sisäilmastoon. Aihe nousi esiin kiinnostuksesta simulaatioita ja niiden luomista kohtaan, mikä voitiin yhdistää työelämässä olevaan korkeiden asuinkerrostalojen sisäilmastonsuunnittelun päivittämisen tarpeeseen.

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda toimivia simulaatiomalleja dynaamisen laskennan IDA ICE -ohjelmistolla, jolla voitiin tarkastella sisäilmaolosuhteita nyt ja tulevaisuuden sääoloissa. Asuntojen ylikämpeneminen on suuri ongelma jo nyt meillä ja maailmalla, ja siihen tulee puuttua jo suunnitteluvaiheessa. Ilmastomme on suuren muutoksen alla, ja kesän hellejaksot ovat pidentyneet ja tulevat pidentymään entisestään [1]. Tämä tulee vaatimaan rakennustamme kykyä selvittää näistä hellejaksoista ja luoda hyvät ja terveelliset sisäilmasto-olosuhteet käyttäjilleen. Aihe on myös valtakunnallisesti merkittävä terveyden, hyvinvoinnin ja energian kannalta. Asunnot, joissa on hyvä sisäilmasto lisäävät asumismukavuutta mutta voivat olla myös terveyden kannalta merkittävä asia, joka tarkoittaa terveysalan palveluiden käytön tarpeen vähenemistä. [2.] Oikein suunnitellut asuinrakennukset ovat myös energiatehokkaita ja ovat avainasemassa kohti energiatasempää Suomea [3].

Työ tullaan suorittamaan kahdeksankerroksiseen asuinkerrostaloon, jonka pohjaratkaisu on hyvin tyypillinen suomalaisille asuinkerrostaloille, mikä mahdollistaa tuloksien käytön sisäilmastosuunnittelu- tai sisäilmastosuunnitteluohjeen luonnissa. Tämä työ suoritetaan tutkimuksena, jossa tutkitaan tulevaisuuden sään vaikutusta sisäilmasto-olosuhteisiin ja samalla luodaan toimivat simulaatiomallit, joita voidaan hyödyntää tulevissa projekteissa. Työ antaa kokonaisuudessaan arvokasta tietoa tulevista olosuhteista ja siitä, kuinka sisäilmastosuunnitteluun kannattaa kiinnittää huomioita.

2 TUTKIMUKSEN TAUSTAT

Tutkimuksella pyritään pureutumaan tämän hetken asuinkerrostalosuunnittelumallin päivittämiseen. Uudisrakentamisessa on ollut pakollista suorittaa ns. ylälämpötarkastelu vuodesta 2012 lähtien käyttäen simulaatioissa testivuoden 2012 säätiedostoa eli lyhennettynä TRY2012.

Laskennalla tulee osoittaa, etteivät jäähdytysrajan ylittävät astetunnit ylity tarkasteluajalla. Tutkimuksen kohteena olevissa asuinkerrostaloissa jäähdytysrajan arvo on 27 astetta ja raja-arvo astetunneille 150. Tarkastelujakso on 1.6.–30.8. Muutamina viime vuosina on havaittu, että helteitä on kuitenkin tavattu jo toukokuussa kuin myös vielä syyskuullakin [4]. Tästä johtuen nykyisin laskennassa käytössä oleva TRY2012 ei vastaa nykyistä ja rajusti muuttunutta ilmastoamme ja näin ollen uusimmatkin kerrostalot on suunniteltu siten, ettei yllilämpenemistä ja siitä mahdollisesti aiheutuvia haittoja ole huomioitu tarpeeksi. Tämä on johtanut siihen, että nykyisellään uusienkin kerrostalojen sisäilmastosuunnittelu on huonoa, joka johtaa pahimmillaan paitsi ihmisten epä-mukavuuteen myös terveyshaittoihin.

Kuten on huomattu, kesät eivät ole ainakaan viilenemään päin [5]. Kaikista kohteista pääsääntöisesti luodaan simulaatiomallit, jonka avulla kesäajan ylälämpötarkastelut tehdään. Tarkasteluissa olisi hyvä käyttää tulevaisuuden säätiedostoja TRY2020 tai 2030 vertailuna, jotta nähtäisiin, kuinka suuria erot ovat huoneiston lämpenemisessä. ”Energiatehokkain talotekniikkajärjestelmä hän on se, joka voidaan jättää toteuttamatta” Mika Vuolteen TkL sanoin [6]. Nykyisin käytettävissä olevat simulaatiot mahdollistavat meille sen, että pystymme testaamaan erilaisia rakenteellisia ratkaisuja, joilla voimme rajoittaa auringon säteilyä asunnossa ja rajoittaa yllilämpenemistä.

Tällä työllä on tarkoitus kasvattaa toimeksiantajan palvelutarjontaa ja tuoda arvokasta tietoa paitsi toimeksiantajalle myös asiakkaille.

3 RAKENNUSTEN SISÄILMASTO

3.1 Sisäilma ja sisäilmasto

Sisäilmalla tarkoitetaan rakennuksen sisätiloissa hengitettävää ilmaa, jossa ilman perusosien lisäksi saattaa olla muita eri lähteistä peräisin olevia ilman kaasumaisia ja hiukkasmaisia epäpuhtauksia. Sisäilma tarkoitetaan rakenteilla rajattua tilaa, jossa ei yleisesti huomioida tuotannollisista tai muista poikkeavista toiminnoista johtuvia päästöjä. [7.]

Sisäilmasto koostuu sisäilmasta ja siihen vaikuttavista tekijöistä, kuten:

- Sisäilman laatu = pölyt, bakteerit, itiöt, kaasut jne.
- Sisäilman lämpötila
- Sisäilman kosteus
- Ilman liike
- Säteily.

Sisäilmaan, joka on asunnossa, vaikuttavat monet eri tekijät, ja niiden yhteisvaikutusta tilaan ja tilan käyttäjiin kutsutaan sisäilmastoksi. Kun puhutaan hyvästä sisäilmastosta, se yhdistetään usein tilan lämpötilaan, ja sisäilmaa saatetaan pitää huonona, jos huonetilan lämpötila nousee, vaikka ilma olisikin laadullisesti hyvää. Rakennusten hyvä sisäilmasto auttaa ja edistää rakennusten ja sen käyttäjien hyvinvointia, työntehoa ja ihmisten viihtyisyyttä. Hyvän sisäilmaston luomisen tulisi alkaa jo suunnittelusta, jossa määritellään tavoitteet sisäilmastolle ja sen vaatimuksille. [8.]

3.2 Sisäilmaston lämpöolosuhteiden suunnittelu- ja tavoitearvot asuin-kerrostaloissa

Suunnittelussa käytettäväksi tarkoitettussa sisäilmastoluokitus 2018, RT 07-11299:ssa on esitetty rakennus- ja taloteknisen suunnittelun urakoinnin tavoite- ja suunnitteluarvot. Sisäilmastoluokitus 2018 käytetään silloin, kun tarkoituksena on rakentaa sisäilmastoltaan terveellisiä ja viihtyisiä rakennuksia. [9, s. 3.]

Sisäilmastoluokitus 2018 jakaa sisäilmaston kolmeen eri sisäilmastoluokkaan: S1, S2 ja S3. S1-luokka tarkoittaa laadultaan erittäin hyvää sisäilmastoa,

jossa tilan käyttäjä pystyy hallitsemaan lämpöoloja. S2-luokka on sisäilmallisesti hyvä, mutta yllämpöä voi kesäpäivinä esiintyä. S3-luokassa sisäilma on tyydyttävä ja täyttää lainsäädännön määräykset eli suunnittelu on säädösten ja lakien mukaan toteutettu. [9, s. 5.]

Lämpötiloista puhuttaessa sekoitetaan termit ilman lämpötila ja operatiivinen lämpötila. Operatiivinen lämpötila on huoneen ilman lämpötilan ja ihmisen ympärillä olevien kaikkien pintojen lämpötilojen keskiarvo. Tämä kuvaa huoneilman lämpötilasta eroavien pintalämpötilojen vaikutusta ihmisen lämpökokemukseen. Operatiivinen lämpötila voi poiketa merkittävästi huoneilman lämpötilasta huoneissa, joissa on isoja ikkunoita tai tiloja, joiden alla on lämmittämättömiä ilmatiloja. Kuvassa 1 on nähtävissä sisäilmastoluokat ja niitä määrittelevät operatiiviset lämpötilat. [10, s. 10.]

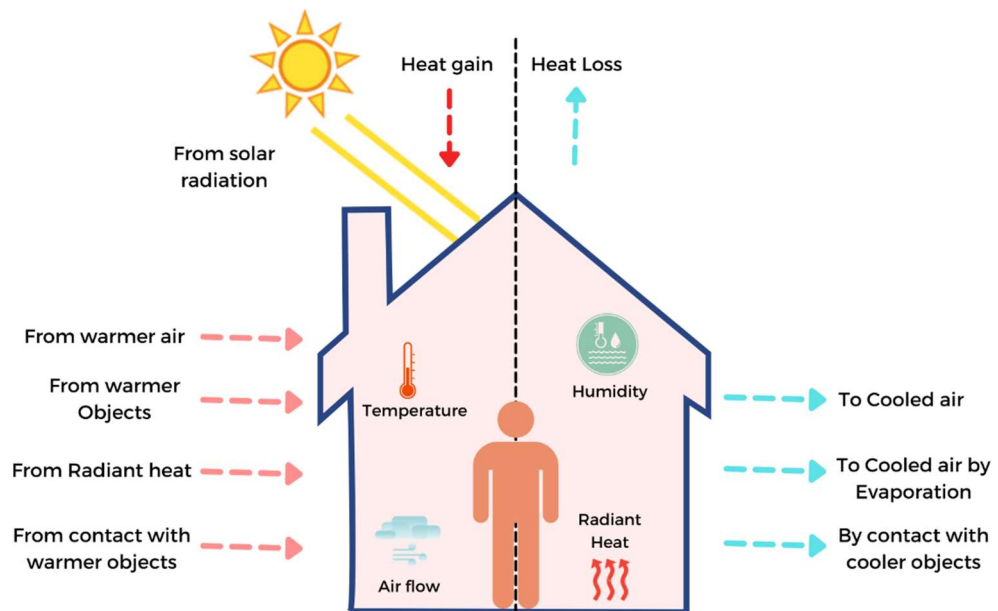
	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila t_{sp} [°C]			21
$t_u \leq 0$ °C	21,5 ¹⁾	21,5	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,15 \times t_u$ ¹⁾	$21,5 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	24,5 ¹⁾	25,5	
Lämpötilan sallittu vaihteluväli [°C] poikkeama ylöspäin			
$t_u \leq 0$ °C	< 22,5	< 23	
$0 < t_u \leq 15$ °C	$< 22,5 + 0,166 \times t_u$	$< 23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 25	< 26	
Lämpötilan sallittu vaihteluväli [°C] poikkeama alaspäin			
$t_u \leq 0$ °C	> 20,5	> 20,5	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$> 20,5 + 0,075 \times t_u$	$> 20,5 + 0,025 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	> 22	> 21	
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]			
$t_u \leq 0$ °C	< 23	< 23	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$< 23 + 0,2 \times t_u$	$< 23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 27	< 27	
$t_u \leq 10$ °C			< 25 (26) ²⁾
$t_u > 10$ °C			< 27 (32) ²⁾
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	> 20	> 20	> 20 (18) ²⁾
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjasta]			
toimi- ja opetustilat	90 %	90 %	
asunnot	90 %	80 %	

Kuva 1. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot eri sisäilmastoluokissa

3.3 Lämpöolot ja vaikutukset

Lämpöviihtyvyys ilmaisee käyttäjän tyytyväisyyttä sisäilmasto-olosuhteisiin. Lämpöviihtyvyyteen vaikuttavat käyttäjän aktiivisuus, vaatetuksen määrä, sisäilman lämpötila, ympäröivien pintojen lämpötila, ilman nopeus sekä sisäilman kosteuspitoisuus. Rakennuksen tarkkaa lämpöviihtyvyyttä on vaikea määrittää ihmisten erilaisten fyysisten ja psyykkisten ominaisuuksien vuoksi, sillä käyttäjät kokevat hyvän sisäilmaston erilaisiksi. [11.]

Rakennusten taloteknisten järjestelmien tavoitteena on tuottaa terveellinen ja viihtyisä sisäilmasto, joka lisää käyttäjien tehokkuutta ja lämpöviihtyvyyttä mahdollisimman pienellä energiankäytöllä [12, s. 22]. Lämpöolosuhteiden hallinta on tärkeimpiä rakennuksen sisäilmaston suunnittelun tavoitteista. Lämpöolot koostuvat ilman lämpötilasta, liikenopeudesta, kosteudesta sekä lämmönsiirrosta joko konvektiona tai säteilynä ihmisen, rakenteiden ja sisäilman välillä (kuva 2) [13, s. 2].



Kuva 2. Lämpöoloihin vaikuttavat tekijät

Lämpöolosuhteisiin pystytään vaikuttamaan jo suunnitteluvaiheessa valitsemalla rakennukseen tarpeen mukaiset talotekniset ratkaisut. Vähentämällä sisäisiä lämpökuormia, kuten laitteet ja valaistukset, seinien ulkoseinärakenteiden oikealla lämmöneristyksellä (laatu ja määrä) ja ikkunoiden suuntauksella

sekä aurinkosuojauksilla on mahdollisuus hallita ja ylläpitää rakennuksen lämpöoloja siten, että rakennuksessa lämpöviihtyvyys olisi riittävän hyvä. Elimistö voi kuormittua korkeista lämpöoloista ne voivat aiheuttaa terveydelle haittaa. Huonelämpötila voi vaikuttaa työssä tehokkuuteen, ja se saattaa kuormittaa elimistöä samalla tavoin kuin raskas fyysinen työnteko. Korkean huonelämpötilan tiedetään aiheuttavan rakennuksissa kuivuutta ja tunkkaisuutta, lisäävän pölyisyyttä ja seinä/ tasopintojen sähköisyyttä sekä aiheuttavan väsymystä. Kuvassa 3 on nähtävillä eri sisäilmastoluokkien lämpöolojen tavoitearvot ja niiden tilapäisesti sallitut poikkeamat. Näiden ohjearvojen avulla tähdätään siihen, että rakennuksessa oleskeluvyöhykkeellä saavutettaisiin viihtyisiä, terveellinen ja turvallinen sisäilmasto. [12, s. 4.]

		Yksikkö	Sisäilmastoluokka		
			Enimmäisarvot		
			S1	S2	S3
Huonelämpötila	Talvi	°C	(21...22)	20...22	20...23
	Kesä	°C	(23...24)	23...26	22...27 (35)
Huonelämpötilan tilapäinen poikkeama asetusarvosta		°C	±0,5	±1	±2
Lämpötilaero pystysuunnassa		°C	2	3	4
Lattian pintalämpötila		°C	19...29	19...29	17...31
Ilman nopeus	Talvi (20 °C)	m/s	0,13	0,16	0,19
	Talvi (21 °C)	m/s	0,14	0,17	0,20
Ilman suhteellinen kosteus	Talvi	%	25...45	–	–

Kuva 3. Ote lämpöolojen tavoitearvoista Sisäilmastoluokitus 2000:n mukaan

4 UUDISRAKENTAMISEN ENERGIATEHOKKUUSASETUKSIEN MUKAINEN SISÄLÄMPÖTILA

Vuodesta 2012 lähtien ympäristöministeriön laatimiin energiamääräyksiin on kuulunut vaatimus kesäajan huonelämpötilatarkastelusta, joka on ollut edellytys energiaselvityksessä rakennusluvan saamiselle [9].

Asuinkerrostaloissa huonelämpötilan tavoitetaso saavuttaminen osoitetaan huonelämpötilatarkasteluilla vähintään yhdelle olohuoneelle ja yhdelle makuuhuoneelle. Lämpökuormalaskelma suoritetaan kuumimmille tiloille. Nämä tilat ovat yleensä etelä- tai länsisivuilla tai ovat pieniä huoneistoja, jotka on varustettu isoilla ikkunoilla. [13, s. 17.]

Kesäajan huonelämpötilatarkastelu suoritetaan 1.6–31.8 väliselle ajalle dynaamista laskentatyökalua käyttäen. Tällä laskennalla on tarkoitus osoittaa 1010/2017 29 §:n mukaan, ”ettei jäähdytysraja ylittyisi enempää kuin 150 astetuntia kohteen käyttötarkoituksluokasta ja jäähdytysrajasta riippuen, joka on joko 25 astetta tai 27 astetta” [4, s. 9.] Astetunnilla tarkoitetaan tietyn lämpötilan ja ajan tuloa. Esimerkiksi kahden asteen ylitys viiden tunnin ajan tarkoittaa 10 astetuntia (°Ch). Esimerkiksi, jos kesä-elokuun väliselle ajalle osuu 16 hellepäivää, jolloin sisälämpötila on 29 astetta viisi tuntia päivässä, tällöin raja-arvo ylittyy ja on enemmän kuin 150 astetuntia [14].

4.1 Ylilämpenemistä ohjaavat asetukset, määräykset ja ohjeet

Asuntojen ylilämpenemistä ohjaa ensimmäisenä ja eniten käytettynä aiemmin mainittu Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 29 §, jonka mukaan suoritetaan kesäajan huonelämpötila tarkastelu uudisrakennuksiin [15].

Ympäristöministeriöllä on myös toinen asetus, joka koskee olemassa olevien rakennusten olosuhteita. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017, jonka 4 §:n mukaan ”*huonelämpötilahallinnan suunnittelussa huonelämpötila voi vaihdella välillä 20–27 astetta lämmityskauden ulkopuolella*” [9].

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015 6 §:ssä todetaan: ”*Huoneilman lämpötilojen lämmityskauden ulkopuolella tulee pysyä liitteen 1. toimenpiderajoissa +18-32 astetta (erityisryhmät +30 astetta)*” [16]. Vastaavasti WHO (World Health Organization) on ohjeistanut omilla sivuillaan seuraavasti: ”*Sisälämpötilat asunnoissa ei tulisi ylittää päivällä 32 astetta ja yöllä 24 astetta*” [17].

4.2 Ristiriidat

Uudisrakentamisessa käytetty asetus (1010/2017) sallii +27 asteen ylityksen astetuntitarkastelussa 150 astetunnin verran. Mutta asetuksessa ei mainita erikseen toimenpiderajoja eli ylilämpeneminen voi tarkoittaa todella suuriakin lämpötilojen ylityksiä.

Asetus (1009/2017) sallii lämpötilavaihtelun välillä +20–+27 astetta, mutta asetuksessa ei erikseen mainita lämpötiloja +27 asteen ylittävältä osalta. Taas asetus (545/2015) sallii lämpötilavaihtelun hiukan korkeammilla lämpötiloilla +18–+32 astetta, mutta asetuksessa käytetään vahvaa ilmaisuja, että huoneilman tulee täyttää edellä mainitut toimenpiderajat.

WHO ja kansainväliset toimijat ovat määrittäneet sisälämpötiloja koskevia ohjearvoja, joiden yläraja on asetettu tasolle 25–28 astetta. Ohjearvot perustuvat kuitenkin ihmisten lämpöviihtyvyyteen eivätkä vakavien terveyshaittojen riskiin [18, s. 83]. Suomessa ei ole erikseen mainittu yöajan toimenpiderajoja, kuten WHO on linjannut omilla sivuillaan, jossa kerrotaan, että ideaalista olisi pitää yölämpötilan rajana +24 astetta [17]. Tämä lämpötila ylittyy usein varsinkin betonisissa kerrostalossa niiden varastoidessa päivän lämmön rakenteisiinsa ja luovuttaen sen sisälle rakennukseen patterin omaisesti juuri yöaikaan.

5 ASUINKERROSTALOJEN SISÄILMASTON NYKYTILANNE JA TULEVAISUUS

Ilmatieteenlaitos on tutkinut, että Suomen ja muiden pohjoismaiden alueiden ilmaston lämpenemistahti on kaksinkertainen verrattuna koko maapallon keskimäärään, ja tulevana vuosikymmeninä tämä muutos käy entistä selkeämmäksi. Ilmaston jatkuvan lämpenemisen takia voidaan ennakoida sen lisäävän huomattavasti sään ja ilmaston ääri-ilmiöiden esiintymistä ja niiden voimakkuuksia tulevaisuudessa. [19.]

Ilmaston lämpeneminen tulisi huomioida suunnittelussa ja ennen kaikkea asuinkerrostalosuunnittelussa. Useat kerrostalot on suunniteltu siten, että asukkaalla ei ole mahdollista säätää huoneistonsa ilmamääriä jäähdytysmielissä, kuten vaikka omakotitalossa. Uudet toimistorakennukset ja liikekiinteistöt varustetaan siten, että tiloja voidaan jäähdyttää ilmanvaihdolla- ja/tai tilakohtaisilla jäähdytyksillä. Monesti yllämpeneminen ja sen riskit jäävät asuinkerrostaloissa huomioimatta, vaikka tämä tulisi huomioida jo suunnittelu-/ rakennusvaiheessa siten, ettei haitallista lämmön nousua tapahtuisi. [20.]

”Esimerkiksi THL arvioi, että asuntojen yllämpö aiheutti vuoden 2018 kesällä jopa 380 ennenaikaista kuolemaa” [20]. On siis totta, että liian korkealle nousseet lämpötilat vaikuttavat paitsi haitallisesti ihmisten terveyteen, mutta myös viihtyvyyteen ja työskentelykykyyn sekä rakennuksen toimivuuteen. Tämän myötä terveysriskit kasvavat, sisäilmanlaatu heikkenee, työsuorituskyky laskee ja eri materiaaleista peräisin olevat epäpuhtauspäästöt sisäilmassa kasvavat. [21.]

6 SIMULOINNISSA KÄYTETTÄVÄ SÄÄDATA NYKYTILANTEESSA JA TULEVAISUUDESSA

Kesäajan huonelämpötilatarkastelu toteutetaan Ympäristöministeriön asetuksen uuden rakennuksen energiatehokkuudesta määräyksen mukaisesti.

Näissä laskelmissa käytetään edelleen energialaskennan testivuotta TRY 2012. Asiaa kommentoi Aalto-yliopiston LVI-tekniikan professori Risto Kosonen 6.4.2022 pitämässään luennossa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululla seuraavasti:

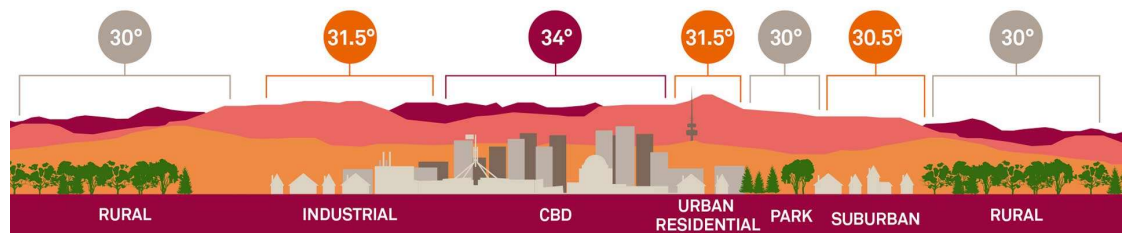
”Suunnittelussa käytetään keskiarvokesän lämpötiloja 30 vuoden ajalta, ei hellekesän lämpötiloja. Siksi jo nykyisinä hellekesinä sisälämpötilat nousevat uusissa rakennuksissa epämukavan ja jopa vaarallisen korkeiksi.”

Ilmatieteen laitos on kirjoittanut raportissaan, että testivuoden TRY2012 sää-tiedostoa laadittaessa on ilmennyt epäjatkuvuuksien olleen suuria etenkin suhteellisten kosteuksien ja lämpötilojen osalta. Suomen ilmastolle on tyypillistä vaihdella voimakkaasti kaikilla aikaskaaloilla, tunneista vuosikymmeniin. Ilmatieteen laitos on luonut TRY2012:n pohjalta uudet testivuodet vuosille 2030, 2050 ja 2100. Testivuosien suurin ja merkittävin ero ovat kohonneet lämpötilat. Pelkästään TRY2012 -ja TRY2030 -testivuosien vertailulla on voitu laskea jäähdytysenergian tarpeen kasvavan 13–19 %. Raportin tärkeimpänä huomiona korostuu kuitenkin, etteivät testivuosiaineistot sovellu lämmitys- eikä jäähdytystehontarvelaskentaan, vaikka niitä siihen käytetäänkin. [22, s. 59–60.]

Olisikin äärimmäisen tärkeää, että jo suunnitteluvaiheen aikana tehtäisiin erillistarkastelu, jossa järjestelmä laskettaisiin hellekesän lämpötilojen mukaisesti, eikä pelkästään asetuksissa vaaditun keskimääräisen kesän mukaan [23].

6.1 Kaupungistumisen riskit

Brasilialaisessa tutkimuksessa selvitettiin uusien 2000-luvulla ja jälkeen rakennettujen asuinkerrostalojen lämmönkestävyyttä ja sisäilmastoviihtyvyyttä tulevaisuuden kesäolosuhteissa ja Urban Heat Island (UHI), suomalaisittain lämpösaari-ilmiön vaikutusta. [24, s. 1–3]. Tämä tarkoittaa aluetta, jossa lämpötila on selkeästi korkeampi kuin ympäristön lämpötila, kuten kuvassa 4.



Kuva 4. Lämpötilojen erot kaupungin ja metsän välillä

Tämä kaikki on tulosta siitä, kun kaupungistuminen vähentää entisestään vähäisiä viheralueita, lisää läpäisemättömiä pintoja ja muuttaa albedoa eli heijastavuutta, joka kuvastaa pinnan kykyä heijastaa auringon valoa pois päin [25, s. 40].

Näin ollen kaupungistuminen tuottaa enemmän lämpöä ja lisää pintoihin sitoutuneen lämpöenergian määrää. Tämä kaikki johtaa lämpötilojen nousuun, jopa ilman suuria kasvihuonekaasupitoisuuksia ilmakehässä. Korkeimmat UHI:t esiintyvät alhaisen tuulen nopeuden ja matalan pilvisyyden olosuhteissa. UHI on ympäristöongelma, joka kohtaa enemmän tai myöhemmin kaikkia suuria kaupunkikeskuksia. [24, s. 3–6.]

Tutkimuksessa tuodaan hyvin esille, kuinka tärkeää on huomioida lämpenevä ilmasto ja kuinka siitä aiheutuvasta yllälämmöstä suoriudutaan. Uudet kerrostalot, yllälämpöongelma ja UHI-efektin analyysi kertovat kaupunkikeskuksissa piilevästä ympäristöongelmasta.

6.2 Kuumenemisen haitat terveydelle

Kuumasta säästä aiheutuu vakavia terveyshaittoja niin lämpimän kuin viileänkin ilmaston maissa [26]. Keski- ja Pohjois-Euroopan kaupungeissa kuolleisuuden on havaittu suurentuvan, kun päivällä korkein koettu lämpötila, joka ottaa huomioon myös ilman kosteuspitoisuuden, ylittää keskimäärin noin 23 astetta [27]. Etelä-Eurooppalaisissa kaupungeissa vastaavat lämpötilat ovat noin 29 astetta. Viileämmissä maissa kuumuudesta aiheutuvat haitat käyvät ilmi siis huomattavasti alhaisemmissa lämpötiloissa kuin lämpimissä maissa. Tutkimuksessa osoitetaan se, että väestöt jossain määrin sopeutuvat paikallisiin lämpöolosuhteisiin. Sopeutuminen on fysiologista, mutta myös yhteiskunnallista ja kulttuurista. [28, s. 8–9.]

Yksittäiset kuumat päivät kasvattavat terveystriskiä. Pidempien lämpöjaksojen eli helleaaltojen aikana vaikutukset kasvavat voimakkaasti. Hellejaksojen pitkittymiset kasvattavat terveydellisten haittojen riskiä, koska korkeat yölämpötilat ja rakennuksien kuumeneminen kasvattavat entisestään lämpökuormitusta. Ilman kosteuspitoisuuden pysyessä korkealla pahentaa se osaltaan helteen tukaluutta, koska se estää hien haihtumista ja lämmön poistumista kehosta ympäröivään ilmaan. [28, s. 9.]

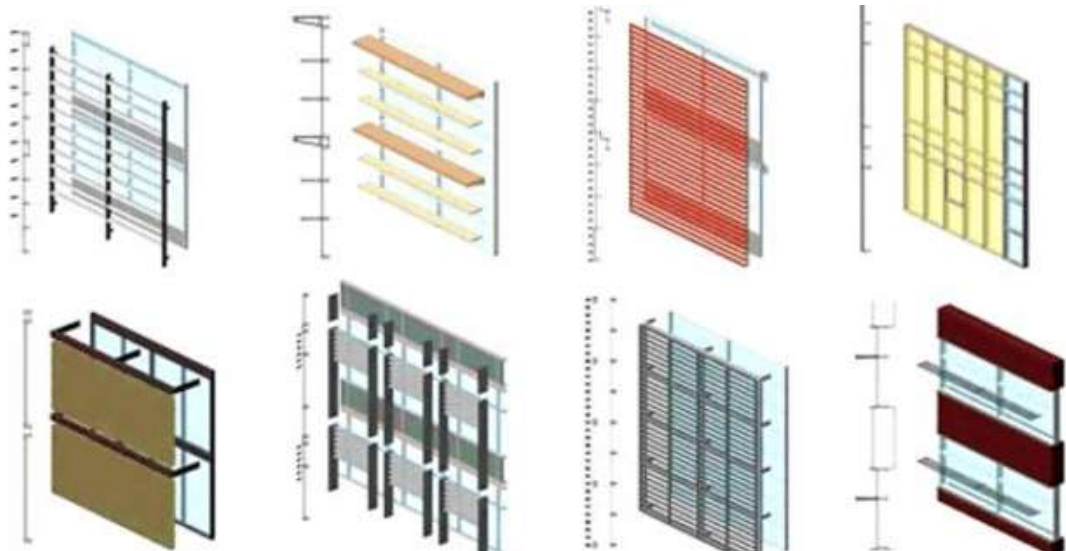
THL:n laatiman tutkimuksen mukaan väestön päivittäinen kuolleisuus kasvoi neljä vuorokautta tai pidempikestoisten helleaaltojen aikaan keskimäärin jopa 9,9 % (kuva 5). Kuolleisuusriski kasvoi enemmän pitkien kuin lyhyiden lämpöaaltojen eli hellejaksojen aikana. Vaikutukset pääasiallisesti havaittiin yli 65-vuotiaiden keskuudessa. Kuolleisuuden määrä kasvoi sekä naisten että miesten keskuudessa, mutta naiset olivat keskimäärin herkempiä lämmön haittavaikutuksille. [28, s. 12.]

Sukupuoli, ikä	Kaikki helleaallot	Lyhyt helleaalto 4-5 vrk	Pitkä helleaalto yli 10 vrk
Koko väestö			
Kaikki ikäryhmät	9,9 (7,7-12,1)	7,5 (4,5-10,6)	11,9 (8,4-15,5)
< 65	2,4 (-3,1-8,2)	2,0 (-3,7-8,1)	-1,5 (-10,7-8,7)
65-74	6,7 (2,9-10,8)	5,5 (-0,8-12,3)	7,4 (0,9-14,3)
≥ 75	12,8 (9,8-15,9)	9,6 (5,5-13,9)	16,9 (12,5-21,5)
Miehet			
Kaikki ikäryhmät	7,2 (4,4-10,0)	5,8 (0,7-11,2)	6,7 (2,8-10,8)
< 65	1,7 (-4,8-8,6)	0,8 (-6,5-8,6)	0,1 (-8,7-9,8)
65-74	2,6 (-2,1-7,4)	-0,4 (-9,8-9,9)	4,1 (-2,1-10,7)
≥ 75	11,8 (7,8-15,9)	10,9 (3,5-18,9)	11,1 (5,3-17,2)
Naiset			
Kaikki ikäryhmät	12,5 (9,1-16,0)	9,2 (5,0-13,6)	16,8 (12,0-21,7)
< 65	3,8 (-3,7-11,9)	4,5 (-5,9-16,2)	-4,7 (-17,9-10,6)
65-74	14,0 (7,3-21,2)	15,9 (5,8-26,9)	13,1 (3,2-24,0)
≥ 75	13,6 (9,6-17,8)	8,8 (4,1-13,8)	20,8 (15,3-26,5)

Kuva 5. Keskimääräinen muutos kuolleisuudessa (% , 95 % luottamusväli) helleaaltopäivinä eri ikäryhmissä koko väestön sekä miesten ja naisten keskuudessa. Tilastollisesti merkitsevät estimaatit korostettu [28, s.12].

Helleaaltajaksojen aikana rakennuksien lämpeneminen ja yllämpö on merkittävä ongelma, sillä ihmiset viettävät nykyisin valtaosan ajastaan sisätiloissa. Suuri osa kotona aikaansa viettävistä ihmisistä on myös herkempiä lämmölle. Helteiden aiheuttamien terveydellisten haittojen ehkäisy on hyvin vaikeaa varsinkin, jos rakennuksien kuumenemista ei saada jollain keinolla estettyä. Riskiryhmiin kuuluvien kohdalla sisätilojen kuumentumisen estäminen saattaa jopa olla elintärkeää. Väestöä ja eri sidosryhmiä tulisi ohjeistaa siitä, millä keinoin huoneilman lämpötilan nousua kyetään hillitsemään lyhyellä aikavälillä. Yllämpenemistä tulisi ja pitää ehkäistä rakennus- ja kaupunkisuunnittelun keinoin pidemmällä aikavälillä. Asuinrakennuksien kuumentumista tulisi WHO:n mukaan ehkäistä koko väestön tasolla passiivisilla menetelmillä. Passiiviset keinot tulisi olla ensisijaisia keinoja taistella yllämpenemistä vastaan, sillä ne eivät kuormita energiatuotantoa eivätkä kasvata kasvihuonekaasupäästöjä. [28, s. 20.]

Passiivisia keinoja ovat ikkunoiden suojaaminen auringonpaisteelta erilaisien kalvojen/ kaihtimien avulla (kuva 6) ja niiden kiinni pitäminen päivän kuumimpina aikoina. Ulkopuolinen suojaus on tehokkain suojaus auringosta tulevaa säteilyä vastaan mutta jää monesti toteuttamatta ulkonäkönsä vuoksi. Asunnon tuulettaminen läpivedolla ulkoilman viilennyttyä on myös toimiva keino. [28, s. 20.]



Kuva 6. Erilaisia kaihdinvaihtoehtoja sisäpuolelle ja ulkopuolelle

Ylilämpenemisen torjunta ei saisi koskaan perustua vain ja ainoastaan jäähdytysjärjestelmien käyttöön, koska jäähdyttämiseen liittyy aina energiantuotannon ilmasto- ja ympäristövaikutuksia sekä väestöryhmien keskeistä epätasa-arvoa jäähdytysjärjestelmälaitteiden saavutettavuudessa. Kaiken tämän lisäksi kylmälaitejärjestelmien käytöstä johtuva ja vapautuva hukkalämpö voimistaa entisestään kaupunkialueiden lämpösaarekeilmiötä. [28, s. 20.]

Suurin osa tämän hetken ylilämpenemisarvioinneista tehdään kuumissa ja lämpimissä ilmastoissa, vaikka ilmastonmuutos on selkeästi nopeampaa pohjoismaissa. Suurinta osaa asuinkerrostaloista ei ole varustettu minkäänlaisella jäähdytyksellä tai edes sen mahdollisuudella, joten simulaatioiden kautta saatu tulos erilaisten passiivisten ja mekaanisten jäähdytyslaiteratkaisujen vaikutuksista tulee olemaan olennaista tulevaisuuden sisäilmasto- ja energiakulutustutkimuksissa. [29, s. 3.]

6.3 Ylilämpötilan hallinta suunnittelussa

Tällä hetkellä lämpöolosuhteiden oikealla tarkastelulla voitaisiin puuttua rakennusten lämpötilahallintaan, ja helpottaa tilannetta ja jopa poistaa epäkohtia ennalta, mutta tätä ei osata tai viitsitä hoitaa järkevästi. Esimerkiksi suunnitteluvaiheessa ei vieläkään aina tehdä lämpöolosuhteiden tarkastelua, vaikka sitä jo selvästi vaaditaan energiamääräyksissä. Tarkastelu useasti saatetaan mainita raporteissa, mutta sitä ei silti välttämättä dokumentoida. [20.]

Tämä johtaa siihen, että yllämpenemistä ei huomioida joko epätietoisuudesta johtuen tai suoraan tarkoituksella, mikä johtaa yllämpöongelmiin uusissakin rakennuskohteissa. Rakennuslehden artikkelissa Equa Simulation Finlandin toimitusjohtaja Mika Vuolle TkL korostaa auringon olevan primääri lämmönlähde, joka kykenee tuottamaan kerrostalokaksioon peräti 6 kW lämpökuorman, joka vastaa saunan kiuasta. [20.]

Pelkästään toimivilla passiivisilla ratkaisuilla voitaisiin vähentää, jopa poistaa yllämpöongelmat kokonaan simulaatiomalleja hyödyntämällä. Simulaatiossa voidaan lisätä rakennukseen lippoja, muuttaa ikkunoiden kokoja, jatkaa räysäitä, lisätä parvekkeita tai yksinkertaisesti muuttaa ikkunoiden suuntausta tai lasien laatua ja tarkastella näiden lisäyksien vaikutusta sisäolosuhteisiin. Mikäli näilläkään ei saavutettaisi haluttuja tuloksia, pystyttäisiin simulaatioiden avulla selvittämään aktiiviseen jäähdytykseen tarvittavan tehon määrä. [30.]

7 VAKIOITU- JA VYÖHYKEKOHTAINEN KÄYTTÖ

Simulaatiossa huonetilat ovat jaoteltu vyöhykkeisiin ja jokaisella vyöhykkeellä on omanlaisensa kuormitukset, jotka syntyvät ihmisistä, laitteista ja valaistuksesta. Energiamääräyksen mukaisessa tarkastelussa sisäiset lämpökuormat huomioidaan käyttötarkoituksiluokkaa mukailevana vakioituna käyttönä, joka on nähtävissä alla olevassa kuvassa 7. [31, s. 10.]

Kellonaika	Käyttöaika		Käyttöaste -	Valaistus W/m ²	Kuluttaja- laitteet W/m ²	Ihmiset W/m ²
	h/24 h	d/7 d				
00:00-24:00	24	7	Valaistus 0,1 Muut 0,6	9	4	3

Kuva 7. Asuinkerrostalon sisäiset kuormat 1010/2017 asetuksen mukaisesti [31, s.10]

Tällaisessa vakioidussa käytössä oletetaan, että se sisältää kaikki tilojen lämpökuormat. Laskelmissa ei kuitenkaan huomioida käyttöpiikkiä, kuten ruuanlaittoa, huoneiston saunan lämmitystä tai töistä palaavaa ihmistä tai kahta ja heidän aiheuttamaansa lämpökuormaa, joka voi olla hyvinkin huonekohtaista, kuten makuuhuoneessa yöaikaan nukkuessa. Vakioidun käytön profiili ei siis sovellu sisäilmaston suunnitteluun vaan E-lukulaskentaan.

Etätyöskentelyn mahdollisuuden lisääntyessä pandemiasta johtuen on ihmisten keskimääräinen aika myös kotona lisääntynyt, jota ei ole huomioitu laskelmissa lainkaan. Tämä kasvattaa huoneiston laite-, valaistus- ja ihmisistä aiheutuvia kuormia siten, että ne olisi hyvä huomioida nykytarkasteluissa. [31, s.10–11.]

Equa Simulation Finland Oy:n laatimassa asuinkerrostalojen kesän sisälämpötilojen määräysten mukaisuus, hallinta ja jäähdytys -oppaassa esitetään sisäiset lämpökuormat ja käyttöajat, jotka kuvastavat hyvin asunnon peruskäyttöä ja sopivat sisäilmastotarkastelussa käytettäväksi. Nämä arvot on esitetty kuvassa 8. [31, s. 11].

Tilatyyppi	Lämpökuorma			Käyttöaika
			W	
MH	Ihmiset	isoin MH: 2 hlöä muut 1	125	ma-su 22:00-07:00
	Valaistus	2	4	ma-su 07:00-08:00, 21:00-23:00
	Kuluttajalaitteet	-	-	-
OH, takka- huone	Ihmiset	MH lkm + 1	125	1 ihm. paikalla ma-pe 08:00-17:00 muut 19:00-22:00
	Valaistus	3	5	07:00-08:00, 19:00-22:00
	Kuluttajalaitteet	TV Tietokone + näyttö	80 130	ma-su 19:00-22:00 ma-pe 08:00-17:00
KT	Ihmiset	1	125	ma-su 07:30-08:00, 11:00-11:30, 18:00-19:00
	Valaistus	3	4,4	sama kuin läsnäolo
	Kuluttajalaitteet	Liesi JK/PK Astianpesukone	6500 (35 % ^a) 920 2200 (50 % ^a)	11:00-11:30, 18:00-19:00
KPH	Ihmiset	1	125	ma-su 07:00-07:30, 18:30-19:00
	Valaistus	2	5	ma-su 07:00-07:30, 18:30-19:00
	Kuluttajalaitteet	Pyykinpesukone Kuivausrumpu	2000 (35 % ^a) 2000 (35 % ^a)	
WC	Ihmiset			
	Valaistus			
	Kuluttajalaitteet			
Vaatehuone	Ihmiset			
	Valaistus			
	Kuluttajalaitteet			
Sauna	Ihmiset			
	Valaistus			
	Kuluttajalaitteet			
Muut tilat	Ihmiset			
	Valaistus			
	Kuluttajalaitteet			

Kuva 8. Sisäiset lämpökuormat [31, s.11]

Taulukon käytetyt arvot kuvastavat hyvin perinteistä työssä käymisen mallia. Yöllä nukutaan 7–9 tuntia ihmisestä riippuen ja päivä vietetään töissä. Mutta

pandemian aikana monessa yrityksessä töitä aloitettiin tekemään etänä ja tämä malli on jatkunut nyt myös pandemian jälkeen.

8 RAKENNUKSEN MALLINNUKSEN JA OLOSUHDESIMULOINTI

Rakennuksen mallinnuksesta käytetään usein termiä digitaalinen kaksoinen. Kun puhutaan digitaalisesta kaksosesta, se tarkoittaa sitä, että kaksosella on lisäkyky eli tiedonvaihto todellisuuden ja 3D:n välillä. Ilman tätä ei voida vielä puhua digitaalisesta kaksosesta. Digitaalisella kaksosella on mahdollisuus käyttää todellisen maailman dataa oppimiseen ja analysointiin. Tulevaisuudessa ja kaksosen kehittyessä tämä tarkoittaa yhä itsenäisempää ja omavaraisempaa kiinteistön energiataloutta. [32.]

Suomessa ei voida vielä puhua digitaalisesta kaksosesta, joten puhutaan geometrisestä mallista. Geometrisen malli voi olla pelkästään rakennus, mutta geometrisellä mallilla voidaan mallintaa ja yhteensovittaa kaikki talon tekniset järjestelmät. Eli puhutaan rikastetusta 3D-mallista, jossa ei juurikaan ole käytössä laite- ja tuotetietoja [33].

Simulaatioiden avulla voidaan tuottaa arvokasta tietoa kunnostuksen tai jo rakennushankkeen alkuvaiheissa, kun käydään läpi eri mahdollisuuksia ja niiden etuja. Energia- ja olosuhdesimulaatioissa tietokoneelle luodaan 3D-tilamalli, johon on asetettu saatuja tai suunniteltuja rakenteiden eristävyys- ja taloteknisiä tietoja, kuten ilmanvaihtolaitteet ja niiden hyötysuhteet ja auringon läpäisykertoimet ikkunoissa ja U-arvot. Nämä vaikuttavat suoraan rakennuksen olosuhteisiin ja ennen kaikkea energiankulutukseen.

Olosuhdesimulointeja voidaan tehdä myös hankkeen myöhäisemmissä vaiheissa, kuten toteutussuunnittelun aikana. Usein työelämässä tulee vastaan tilanne, jossa johonkin tilaan on suunniteltu tietty määrä jäähdytystä, mutta tuleekin tilanne, ettei kattoon käytännössä mahdu vaadittua määrää esimerkiksi jäähdytyslaitteita. Mallintamalla kohteeseen todellinen määrä lämpötilaylijäähdytyslaitteita on helppoa tutkia lämpötilojen käyttäytymistä ja päättää, mikä lämpötilaylijäähdytys on hyväksyttävää. Simulaatioiden tarve ja niiden hyödyt korostuvat tulevaisuuden suunnitteluiden vaiheissa, kun on saatavilla tietoa järjestelmän toiminnoista ja käyttötavoista. [34.]

9 BETONISTEN JA PUURAKENTEISEN KERROSTALOJEN EROT

9.1 Puisen ja betonisen rakennuksen erot rakenteellisesti

Betoni on yleisesti käytetty rakennusmateriaali sen vahvuuden, helppo käyttöönsä, monimuotoisuuden ja palamattomuutensa vuoksi. Tämän jälkimmäisen vuoksi betoni on puuta suositumpi rakennusmateriaali asuinkerrostalorakentamisessa. Betonin lämmönjohtavuus on puuhun verrattuna aivan omaa luokkaansa (kuva 9).

Materiaali	Tiheys (kg/m ³)	λ_D (W/mK)
Hiekka ja sora	1800	1,8 ... 2,3
Betoni	2300	1,7
Laasti	1700 ... 2000	0,9 ... 1,2
Kaasubetoni	400 ... 600	0,1 ... 0,8
KevytSORabetoni	650 ... 800	0,2 ... 0,3
KevytSORa	280 ... 320	0,1 ... 0,13
Koksikuona	700	0,25
Masuunikuona	150 ... 250	0,1 ... 0,12
Poltettu tiili	1300 ... 1700	0,5 ... 0,7
Kalkkihiekkatiili	1900	0,95
Mänty- ja kuusipuu	500	0,14
Lastulevy	400 ... 600	0,12 ... 0,15
Huokoinen kuitulevy	300	0,054
Puolikova kuitulevy	800	0,09 ... 0,11
Kova kuitulevy	1000	0,13
Bituliitti	350	0,065
Kipsilevy	900	0,15 ... 0,23
Sementtiselluloosalevy	1800	0,60
Mineraalivilla	15 ... 300	0,037 ... 0,055
Selluvilla	30 ... 50	0,041 ... 0,055
Korkki	150 ... 200	0,045 ... 0,055
Polyuretaani	30 ... 80	0,023 ... 0,027
Polystyreeni	10 ... 60	0,034 ... 0,041
Solulasi	130 ... 180	0,06 ... 0,07

Kuva 9. Rakennusmateriaalien ominaisuuksia

Betoni imee ja varastoi itseensä auringon säteilyn lämpöä ja luovuttaa sitä jatkuvana lämmön virtauksena kohti asuntoa. Betoni rakennusmateriaalina on myös paljon raskaampaa kuin puu, mikä tarkoittaa suurempaa massaa. Massa varastoi lämpöä itseensä ja kaupunkialueilla vahvistaa aiemmin mainittua UHI-lämpösaari-ilmiötä [35, s.13–27].

Puulla on rakennusmateriaalina pitkät perinteet ja se on kehittynyt vuosien saatossa rakennusmateriaalina kilpailukykyiseksi vaihtoehdoksi. Puulla on alhaisempi lämmönjohtavuus kuin betonisilla, teräsrunkoisilla- ja muuratuilla rakenteilla, joka tarkoittaa, että puu on huono lämmönjohdin ja tekee siitä ihanteellisen materiaalin kuumilla alueilla. Puun suurin haittapuoli on sen herkkyyks kosteudelle käsittelemättömänä. Jos puuta ei käsitellä, voi se rappeutua hyvinkin nopeasti. [36.]

9.2 Puu- ja betonirakenteen erot lämpöselviytymisestä

Betoni on materiaalina raskaampaa kuin puu ja omaa korkean tiheyden ja lämpöjohtavuuden, joka tarkoittaa korkeampaa lämmön varastoitumiskykyä. Betoni on materiaalina emissiivisempi eli lämpöä säteilevämpi kuin puu (kuva 10), joka tarkoittaa, että kun betoni varastoi lämpöä, se säteilee tätä ympärilleen. Puu ei samalla tavalla varastoi lämpöä itseensä kuin betoni, joka osoittaa parempaa lämpöselviytymistä. Tutkimus osoittaa betonirakennuksien ja rakenteiden kasvattavan lämpösaari-ilmiötä kaupungeissa ja puun olevan parempi rakennusmateriaali yllälämpöselviytymisessä. [35, s.25–27].

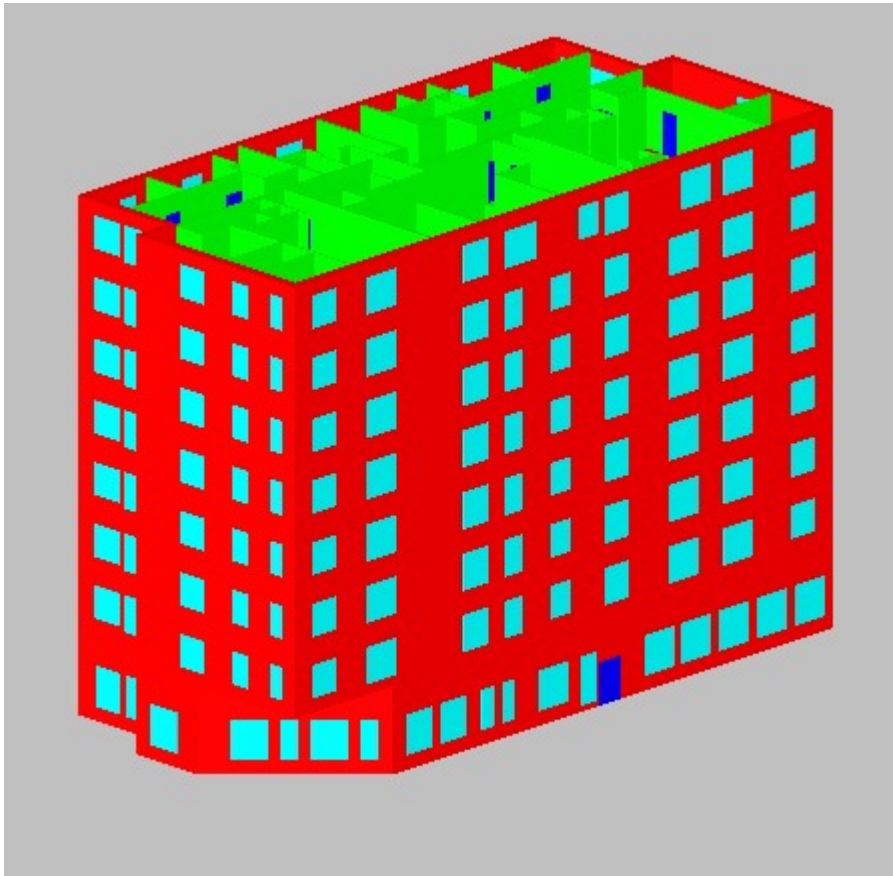
Materiaali	Emissiokerroin
Ihmisen iho	0,95-0,97
Eläimet	0,95-1
Kiillotettu teräs	0,27
Ruostunut teräs	0,61
Kirkas kromi	0,16
Sileä alumiini	0,05
Betoni	0,91
Tiili tai laasti	0,93
Lasi (ikkuna)	0,83
Puu yleinen	0,90
Hiottu puu	0,80
Kattohuopa	0,92
Kumi	0,88
Pleksilasi	0,90
Kipsilevy	0,90-0,92

Kuva 10. Emissiokerroin

10 SIMULOINTIMALLIN RAKENTAMINEN IDA ICE -OHJELMAAN

10.1 Rakennuksen tietomalli ja käyttö

MagiCAD Room -ohjelmistolla pystytään luomaan rakennuksesta 3D-malli 2D-kuvien perusteella (kuva 11), kuten tässäkin opinnäytetyössä tehtiin. Room-ohjelmisto yhdistää kerroskohtaisesti luodut piirustukset ja pystyy luomaan näin 3D-mallinnuksen koko rakennuksesta [37].



Kuva 11. Asuinkerrostalon 3D-malli MagiCad-roomissa

MagiCAD Room mahdollistaa rakennuksen tilamallin (Industry Foundation Classes) IFC-luonnin, joka käsittää yleistä tietomalliohjelmistojen selitystapaa tietomalleista. IFC-kirjainyhdistelmä tarkoittaaakin mallien avointa tiedonsiirtomuotoa, joka mahdollistaa sen, että pystytään hyödyntämään rakennuksen tietomallia kolmannen osapuolen ohjelmistoissa, kuten tässä tapauksessa IDA ICE -ohjelmistossa (kuva 12) [38].



Kuva 12. Kerrostalo IDA ICE -ohjelmistossa

IDA ICE -ohjelmiston päävalikosta päästään suoraan muuttamaan rakennuksen oletusarvoja, jotka ovat lähtökohtaisesti YMa 1010 -asetuksen mukaiset (kuva 13). Tietomallin lähes kaikkiin toiminnallisiin päästään käsiksi suoraan päänäkymästä.

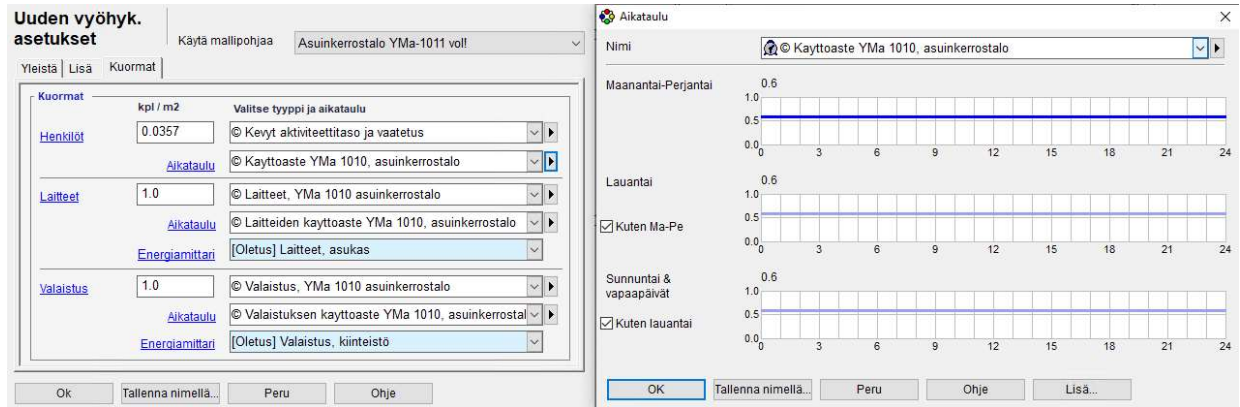
Rakennuksen oletusarvot

Rakenteet

Ulkoseinät	© YMa 1010 ulkoseina(betoni),lammin tila
Sisäseinät	© C4 2012 eristamaton sisaseina(ilma vali)
Välipohjat	© C4 2012 valipohja(betoni)
Ulkokatto	© YMa 1010 ylapohja(betoni),lammin tila
Alapohja	© YMa 1010 alapohja maata vasten, lammin tila
Kellarin maanvastainen seinä	© YMa 1010 ulkoseina(betoni),lammin tila
Maanvastainen laatta	© YMa 1010 alapohja maata vasten, lammin tila
Lasitus	© YMa 1010 ikkuna, lammin tila
Ovien rakenne	© YMa 1010 ovi, lammin tila
Lasitukseen integroitu suojaus	© Sälekaihtimet uloimpien lasien välissä

Kuva 13. Rakennuksen oletusarvot

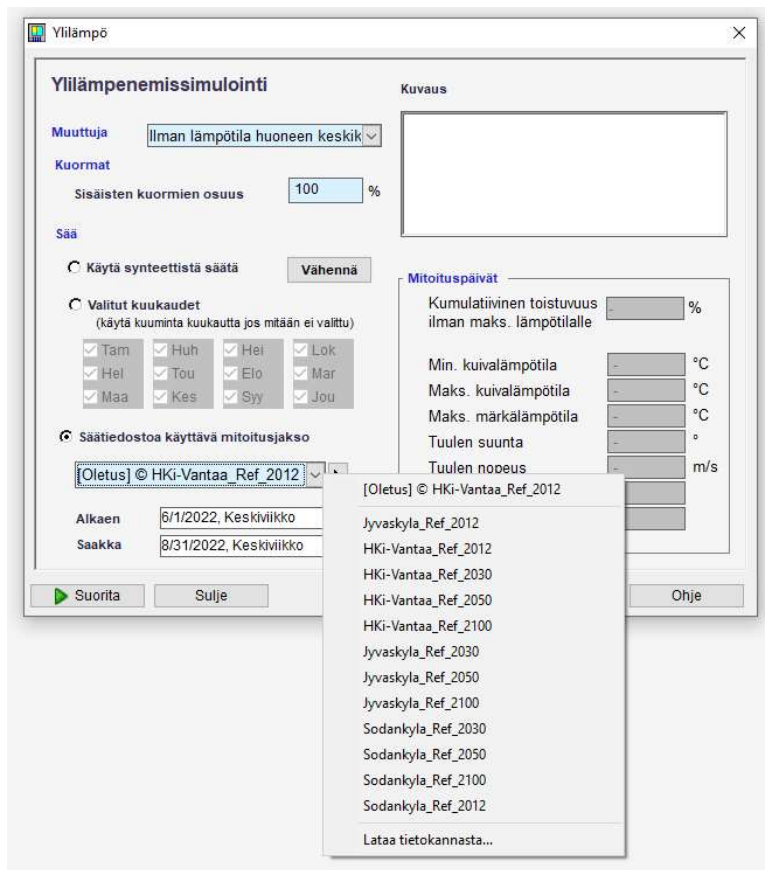
Käyttöastetta ja aikatauluja voidaan muuttaa huonekohtaisesti mille vyöhykkeelle tahansa. Tai vaihtoehtoisesti ennen kuin vyöhyke luodaan, voidaan rakentaa täysin oma mallipohja halutuilla oletusarvoilla, jotka automaattisesti tulevat automaattisesti rakennetulle vyöhykkeelle (kuva 14).



Kuva 14. Uuden vyöhykkeen asetusravot

10.2 Ylilämpösimulaatio

IDA ICE -ohjelmiston yleislomake-sivulla voidaan suoraan määritellä simulaatiossa käytettävissä oleva säätiedosto tai se on mahdollista myös tapauskohtaisesti esimerkiksi ylilämpötarkastelua varten suoraan ylilämpösimulaation kohdalta (kuva 15). Samasta valikosta saa käyttöön myös tulevaisuuden säädädatat. IDA ICE -ohjelmistossa on sisäänrakennettu ominaisuus, jonka avulla voidaan vertailla eri säädätoilla ajettuja simulaatioita keskenään. Laskentatapauksien avulla voidaan helposti nähdä, millainen ero esimerkiksi jäähdytyksen astetuntien määrässä voi olla.



Kuva 15. Käytettävissä olevat säätiedostot

11 TUTKIMUSMENETELMÄT

Opinnäytetyössä käytettiin kvantitatiivista tutkimusmenetelmää, ja työn taustaa tutkittiin ja tuettiin aihealueen uusimmilla tutkimuksilla Suomesta ja maailmalta. Työn tavoitteena oli ensin selvittää ero jäähdytysastetuntisummassa säätiedostojen 2012 ja 2030 välillä, YMa 1010 asetuksen mukaisilla rakenteilla ja kuormituksilla. Työssä käytettävät päätyövälineet olivat Autodesk MagiRoom -ohjelmisto, jolla simuloitava rakennus mallinnettiin ja dynaamisen laskennan IDA ICE -ohjelmisto, jolla suoritettiin olosuhdesimulaatiot. Simulaatioiden kaksi ensimmäistä vertailua tehtiin puun ja betonin kesken YMa 1010 mukaisilla rakenteilla ja kuormilla, mutta lopuille tarkemmille tarkasteluille tehtiin rakennuksille alla näkyvissä olevat rakenteelliset muutokset (taulukko 1).

Taulukko 1. Rakenteelliset muutokset

Rakenteelliset muutokset simulaatiossa			
Ikkuna	g	U	Aikataulu
Saint gobain	0.33	1.1	
Ulkokaihdin			07-17:00
LVI-järjestelmä muutokset			
Ilmanvaihto:	Ilmamäärät FinVac:in mukaan		
Ilmanvaihto:	Jatkuva 30% tehostus		

Simulaation avulla pystyttiin selvittämään niin rakennuksen sisäilmasto-olosuhteet, yllämpenemisen astetunnit kuin myös mahdollisesti tarvittavat jäähdytystarpeet. Simulaatio on erittäin hyvä apuväline ja keino vertailla erilaisia passiivisia ratkaisuja ja niiden vaikutusta yllämpenemiseen.

Työssä rakennettiin kaksi eri tietomallia, ja kohteena oli jo valmistunut kahdeksankerroksinen asuinkerrostalo. Toisena mallina käytettiin perusasuinkerrostaloa, joka on tehty betonista, ja toisena puusta valmistettua perusasuinkerrostaloa. Näihin malleihin tehtiin yllämpövertailut.

Ensimmäisenä vaiheena työssä täytyi rakentaa rakennuksesta tietomalli. Tietomallin rakennukseen käytettiin Autodesk-ohjelmistoa sen käytettävyyden vuoksi ja hyvästä toiminnallisuudesta kolmansien osapuolien kanssa. Rakennuksen mallin valmistuttua otettiin kohderakennuksesta IFC-malli, joka ajettiin IDA ICE -ohjelmistoon tarvittavia simulaatioita varten.

IDA ICE -ohjelmistossa luotiin tietomallin sisälle vyöhykkeitä, joihin simulaatiot tehtiin. Projektista tehtiin eri laskentatapauksia siten, että yksi laskentatapaus käytti testivuotta 2012 säätiedostonaan ja toinen laskentatapaus käytti tulevaisuuden testivuotta 2030 säätiedostonaan.

Työssä paneuduttiin sisäilmastoon vaikuttaviin tekijöihin, jotka niihin vaikuttaa sääolosuhteiden lisäksi. Energialaskennassa ja yllämpötarkastelussa on totuttu käyttämään vakiodun käytön kuormituksia. Työssä haluttiin selvittää ero vakiodun käytön ja vyöhykekohtaisen käytön välillä ennalta valituissa huonetiloissa. Asuinkerrostalosta poimittiin huonetiloja eri puolilta kerrostaloa, ja

niissä sovellettiin kappaleen 7 taulukon 5 arvoja sisäisistä kuormista ja käyttöajoista. Tämän pohjalta pystyttiin luomaan käyttöaikaperusteinen simulaatio, josta lopulta luotiin verranto IDA ICE -ohjelmistossa. Kolmas ja neljäs laskentatapa koskivat vakioitun käytön ja vyöhykekohtaisen käytön vaikutusta rakennuksen sisäilmastoon (taulukko 2).

Taulukko 2. Simulaatiotapaukset

Simulaatio tapaukset		
1. Ero yllämpö astetunneissa		
TRY2012	TRY2030	
Betoni	Betoni	
2 Ero yllämpö astetunneissa		
TRY2030	TRY2030	
Betoni	Puu	
3. Vakioitu käyttö		
TRY2012	TRY2030	
Betoni	Puu	
4. Vyöhykekohtainen käyttö		
TRY2012	TRY2030	
BEtoni	Puu	

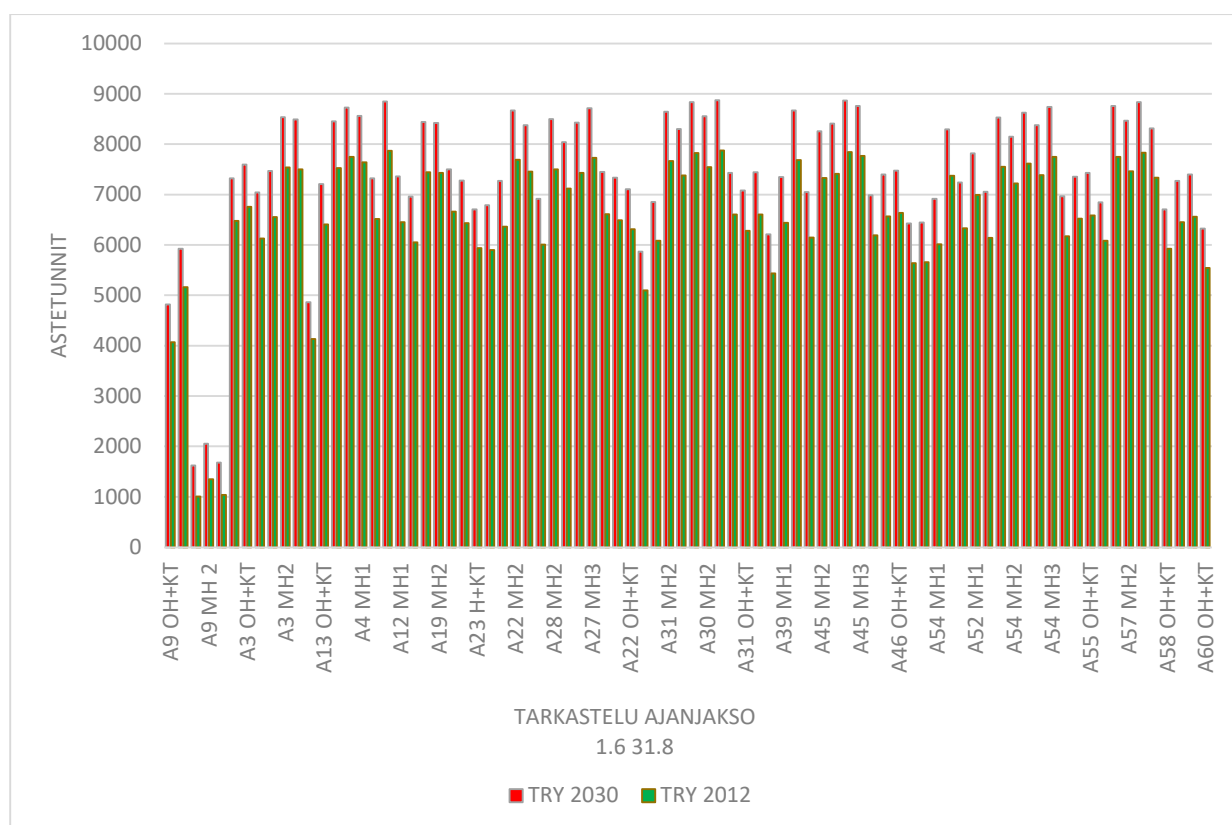
Näistä kaikista skenaarioista ajettiin omat olosuhdesimulaatiot yllämmön osalta, ja tulokset siirrettiin Exceliin visuaalista analysointia varten.

Työtä tuettiin aihealueen kirjallisuudella, säädöksillä, asetuksilla ja ohjeistuksilla, joilla saatiin vankka teoriapohja asuinkerrostalojen vaatimuksille. Näiden avulla pystyttiin toteuttamaan simulaatiot IDA ICE -ohjelmiston avulla simulaatiomallit.

12 OLOSUHDESIMULOINTIEN TULOKSET

12.1 Ylilämpö astetuntisumma

Työn tavoitteena ensin selvitettiin ero jäähdytysastetuntisummassa säätiedostojen 2012 ja 2030 välillä, YMa 1010 -asetuksen mukaisilla rakenteilla ja kuormituksilla. Simulaatio ajettiin kerralla kaikille asuinkerrostalon huoneille ja tiloille samanaikaisesti, josta muodostettiin ylilämpötarkastelu pylväskaavion avulla ajanjaksolle 1.6–31.8 (kuva 16). Punaisilla palkeilla näkyy TRY2030 säätiedostolla simuloitunut ylilämpö astetunnit huoneittain koko asuinkerrostalosta ja vihreällä palkilla TRY2012 säätiedostolla simuloitunut vastaavat tilat. Suurempi pylväskaavio työn liitteissä, liite 1. Keskimäärin ylilämpöastetunneissa tuli eroa säätiedostojen välillä 896 astetuntia. Huonekohtaisia eroja astetunneissa oli jopa yli 1000 astetuntia.



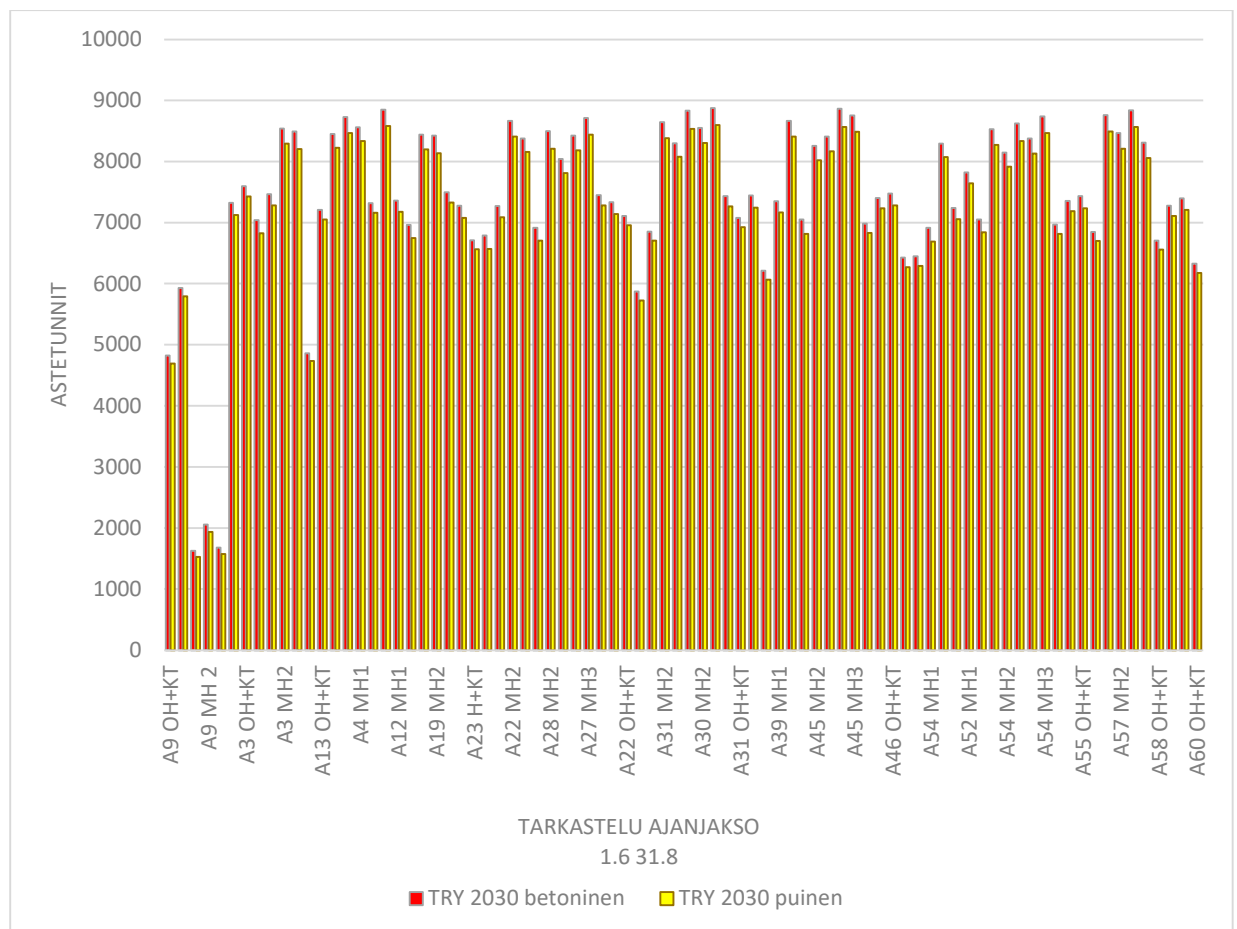
Kuva 16. Ylilämpenemisastetuntisummat huonekohtaisesti säädatojen kesken

Seuraavana työssä tutkittiin puun ja betonin eroavaisuuksia ylilämpökäyttäytymisessä, koska puu vaikutti ominaisuuksiltaan varteenotettavalle rakennusmateriaalille. Tutkimus suoritettiin samalla tavoin kuin aikaisempi, eli simulaatio

suoritettiin koko rakennukselle ja kaikille tiloille samanaikaisesti, mutta käyttäen ainoastaan TRY2030 eli tulevaisuuden säätiedostoa. Tulokset tukivat aikaisempia tutkimuksia ja puu selvisi tarkasteluajanjaksolla betonista hieman paremmin. Keskiarvallisesti puisessa rakennuksessa kertyi 207 astetuntia vähemmän yllämpenemistä kuin betonisessa. Huonekohtaiset erot astetunneissa puun ja betonisen kerrostalon välillä olivat 250 astetuntia.

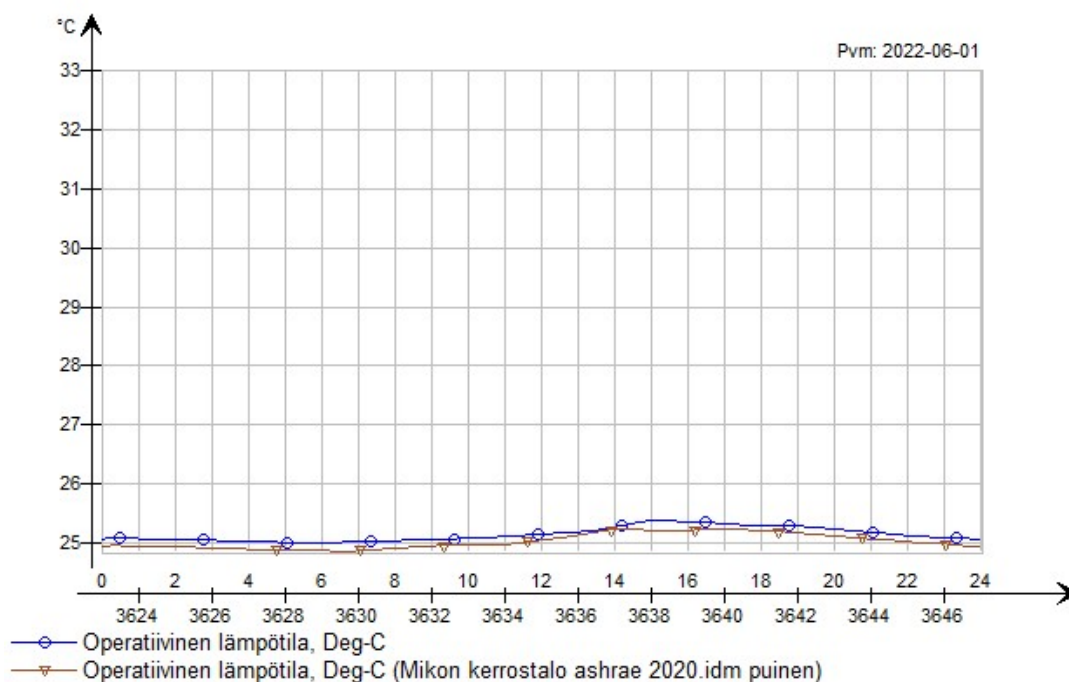
Tulokset puisen ja betonisen asuinkerrostalon välillä ovat nähtävissä kuvassa 17, jossa keltaisella näkyy yllämpenemis astetunnit puisessa asuinkerrostalossa ja punaisella vastaavasti betonisessa. Suurempi kuva pylväskaaviosta nähtävissä liitteissä, liite 2.

Puu osoittautui tutkimuksessa paremmaksi rakennusmateriaaliksi yllämpenemis selviytymisessä ja tämä varmasti korostuu entisestään kuumemmissa maissa.



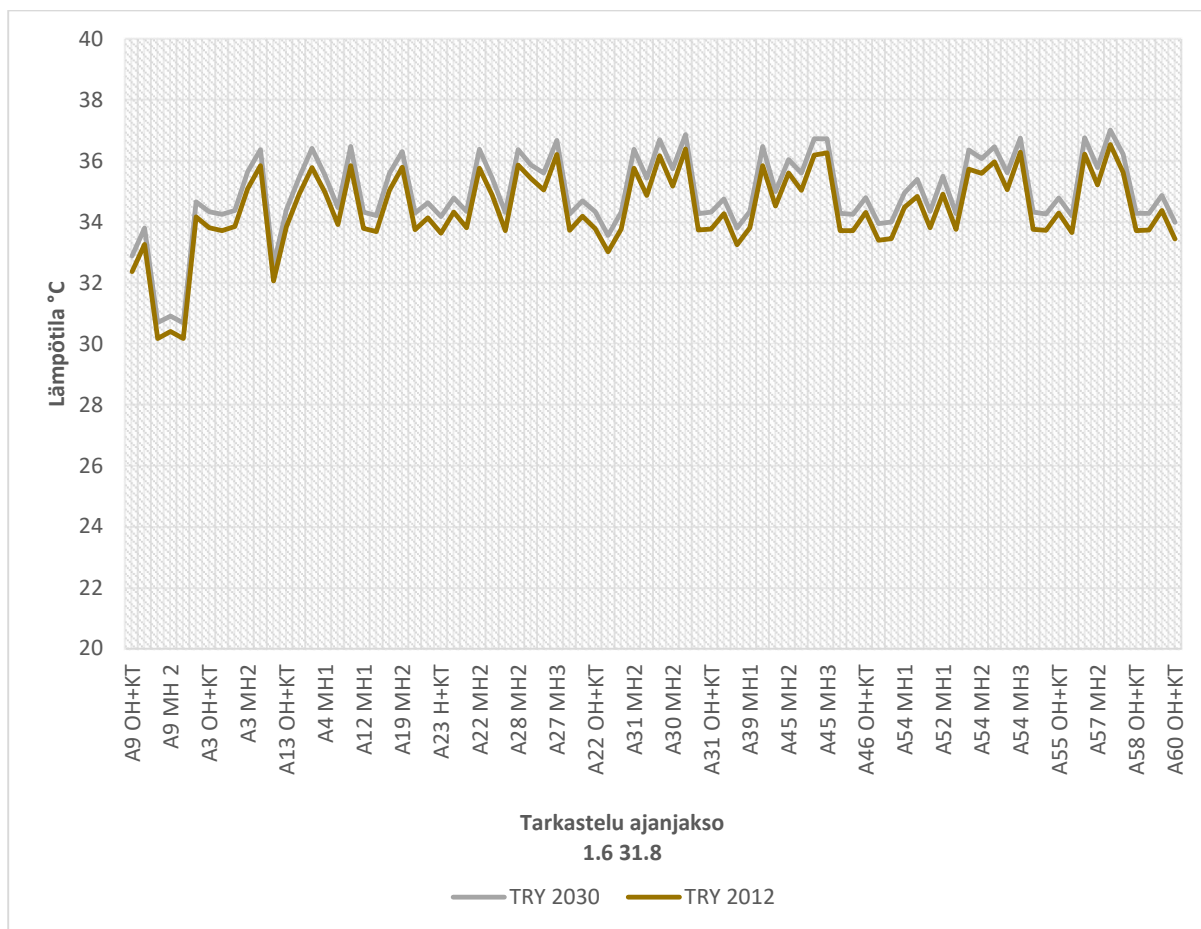
Kuva 17. Yllämpenemisastetuntisumma ero puisen ja betonisen kerrostalon välillä

Tätä eroa astetunneissa tutkittiin tarkemmin ja valittiin asuinkerrostalosta huone päiväkohtaiseen tarkasteluun, jossa huomattiin kuinka puinen asuinkerrostalo alkaa iltaa kohden viilentyä betonista aiemmin ja vastaavasti, kuinka betoni jatkaa lämmönluovuttamista huoneistoon (kuva 18). Kuvassa ruskea viiva kuvastaa operatiivisen lämmön kehittymistä puisessa asuinkerrostalossa ja sininen viiva kuvastaa betonista. Tämä perustuu Betonin suurempaan massaan, joka varastoi lämpöä itseensä puista enemmän.



Kuva 18. A9 makuuhuoneen operatiivisen lämmön kehittyminen

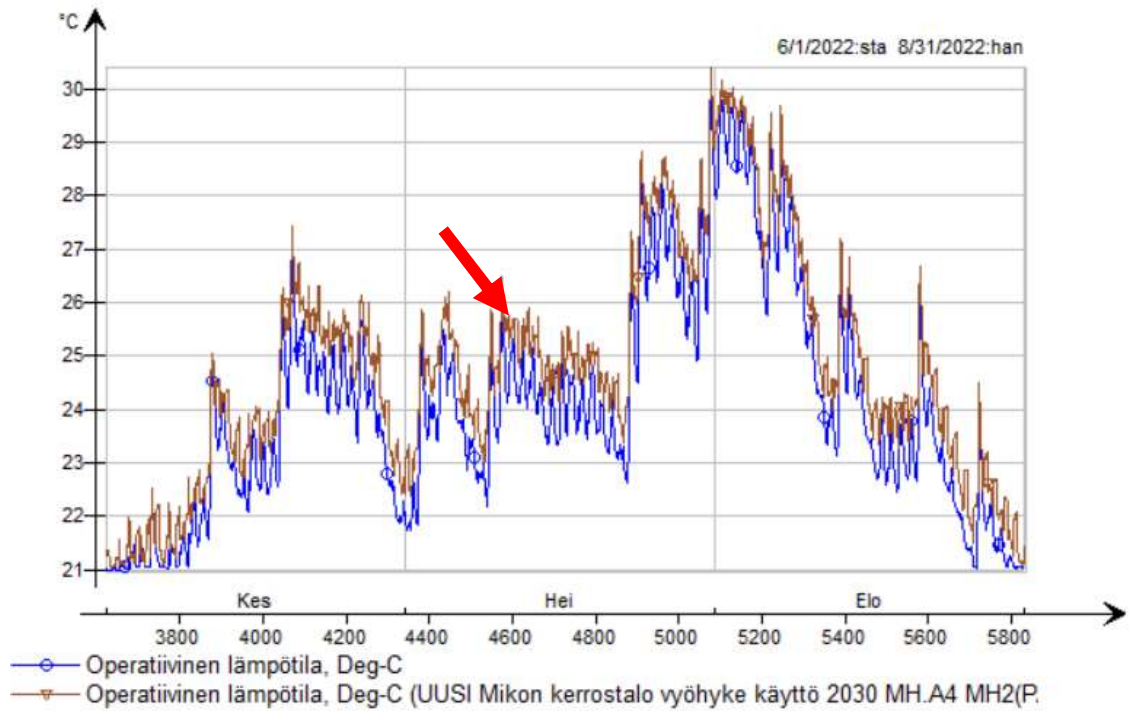
Tuloksia vertaillen TRY2012 ja TRY2030 välillä huomattiin, että vaikka yllälämpenemis astetunneissa olevat erot näiden kahden säätiedoston välillä ovat suuret, on huomattavaa, että vyöhykkeiden operatiivisissa lämpötiloissa ei ollut havaittavissa suurtakaan eroa. Keskiarvallisesti huoneet olivat 0,5 °C astetta lämpimämpiä TRY2030 säätiedostoa käyttämällä kuin TRY2012:lla. Huonekohtaiset erot olivat suurimmillaan noin yhden celsiusasteen verran (kuva 19). Suurempi kuva liitteissä liite 3. Tuloksista voidaan päätellä, että käyttäessä tulevaisuuden säädataa hellejaksot eivät ole niinkään kuumempia kuin nykyäänkään, vaan kesän hellejaksot huomattavasti pidempikestoisempia, mikä voimistaa yllälämpenemisen riskiä voimakkaasti.



Kuva 19. Operatiivisen lämpötilan erot säädatojen välillä

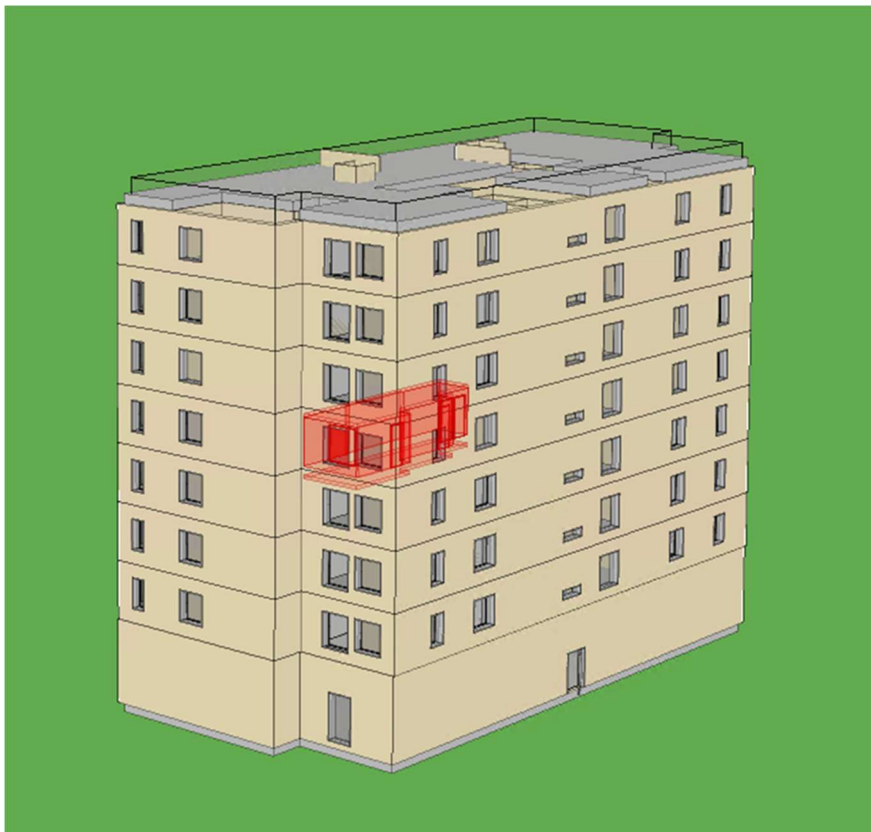
12.2 Vakioitu ja vyöhykekohtainen käyttö

Kuvan 20 viivadiagrammi on 2. kerroksessa sijaitsevasta 2 hengen makuuhuoneesta ja kuvastaa operatiivisen lämpötilan kehittymistä. Simulaatioissa käytettiin sivun 28 taulukon 1 mukaisia rakenteellisia muutoksia ja ilmavirtoja. Sininen käyrä kuvastaa lämpötilan kehittymistä vakioidulla käytöllä, kun taas yläpuolella oleva ruskea (punainen nuoli) viiva kuvastaa kappaleen 7, kuvan 8 arvoilla muodostunutta vyöhykekohtaisen käytön lämpötilan kehittymistä. Tuloksia tarkastellessa huomattiin lämpötilojen nousevan keskimäärin yhden asteen verran korkeammalle kahden hengen makuuhuoneessa vyöhykekohtaisella käytöllä kuin vakioidulla käytöllä.



Kuva 20. As.4, kahden hengen makuuhuoneen operatiivinen lämpötila: Vakioidulla ja vyöhykekohtaisella käytöllä

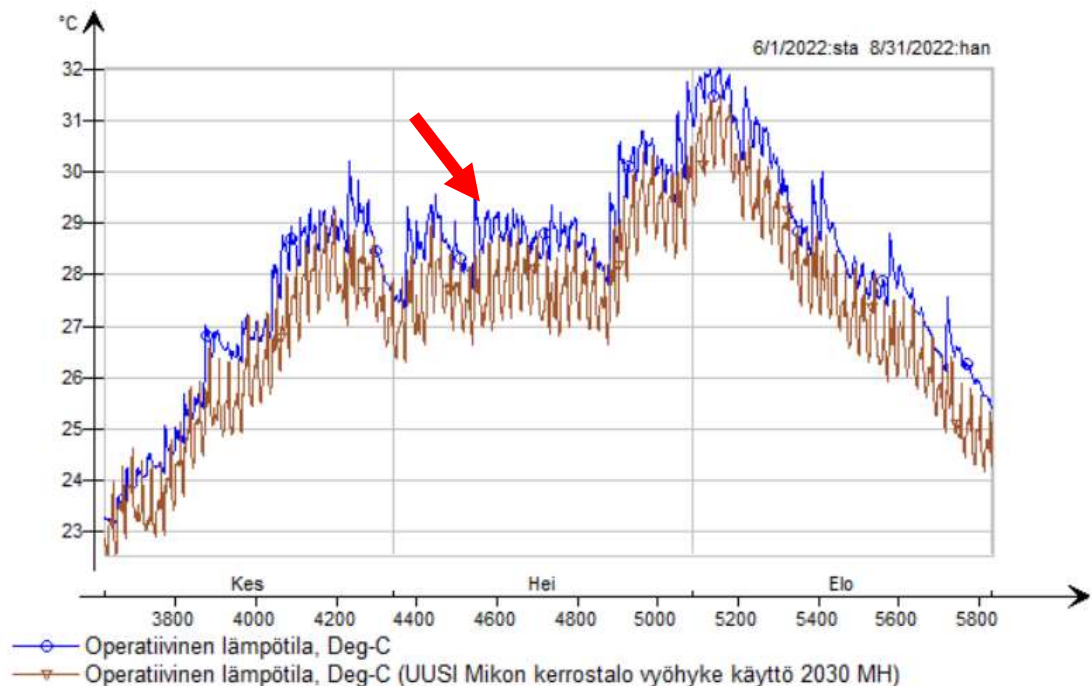
Toisena tarkastelun kohteena oli 5. kerroksessa sijaitseva olohuone, joka on nähtävissä rakennuksesta punaisena (kuva 21). Tila saa osittain lämpökuormansa auringosta ja oli yksi kuumimpia huoneistoja tarkastelussa.



Kuva 21. As.30 olohuoneen sijainti kerrostalossa

Olohuoneeseen luotiin saman taulukon pohjalta vyöhykekohtaisen käytön mukainen aikataulu ja kuormitus, joiden pohjalta suoritettiin vertailu vakioituun käyttöön.

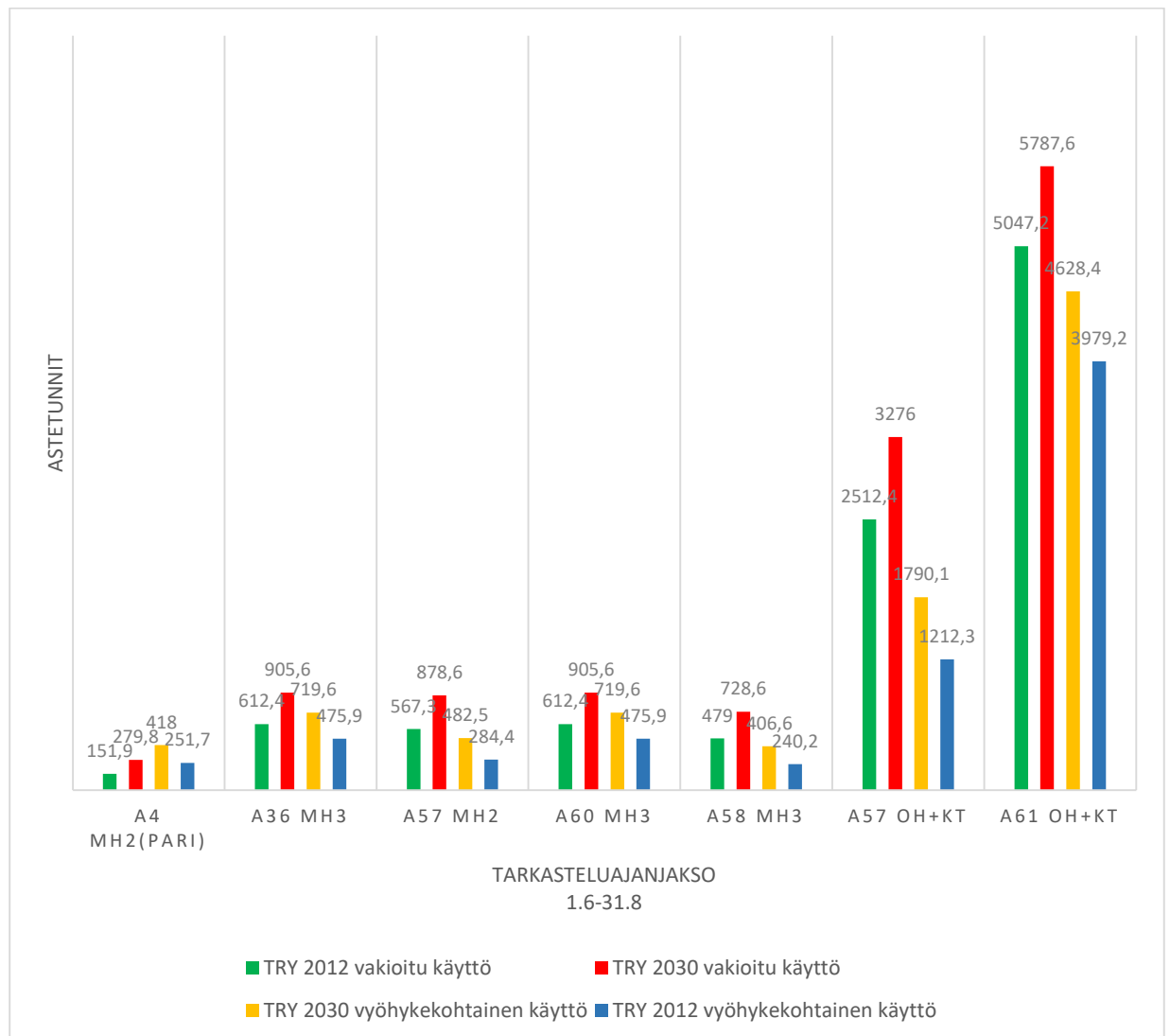
Kuvassa 22 sininen käyrä (punainen nuoli) kuvastaa vakioidun käytön mukaista lämpötilaa ja alapuolella oleva ruskea viiva kuvastaa vyöhykekohtaisen käytön lämpötilaa. Tässä tuloksena nähdään vakioidun käytön lämpötilojen olevan vyöhykekohtaista käyttöä noin asteen verran korkeammat. Huomattavaa on, että kappaleen 7, kuvan 8 arvoissa olohuoneessa ei ollut viikonloppuisin muuta laitekuormaa kuin televisio kello 19:00 ja 22:00 välillä. Samoin kuin ihmisten läsnäolo oli painotettu iltaan. Ihmiset kuitenkin viettävät nykyisin enemmän aikaa sisätiloissa ja käytössä on useita erilaisia sähkölaitteita, joista aiheutuu lämpökuormaa asuntoon vaikuttaen sisäisten lämpökuormien nousuun.



Kuva 22. As.57 olohuoneen operatiivinen lämpötila: Vakioidulla ja vyöhykekohtaisella käytöllä

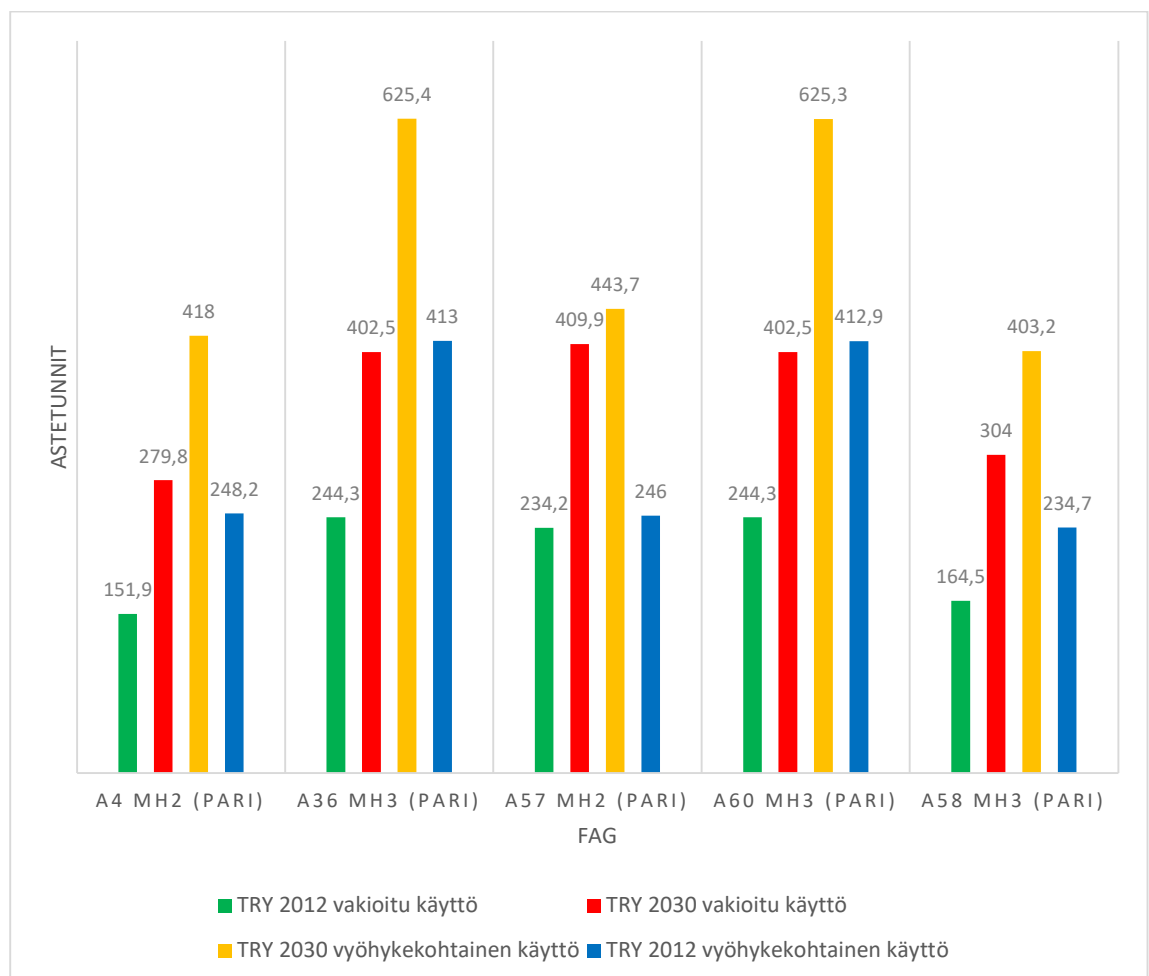
12.3 Säätiedoston ja vyöhykekohtaisen käytön yhdistäminen

Työssä tarkasteltiin yhdistelmäkäytön vaikutusta eli verrattiin säätiedostojen vaikutusta sekä vakioitun ja vyöhykekohtaisen käytön yhteisvaikutusta yllämpenemiseen (kuva 23). Näissä kaikissa simulaatioissa oli käytössä sivun 28, taulukon 1 mukaiset ilmapirrat ja rakenteelliset muutokset. Tuloksissa on selkeästi nähtävissä, kuinka testivuoden 2030 säätiedostolla yllämpenemisen astetunnit ovat merkittävästi suuremmat kuin testivuoden 2012 säätiedostolla. Olohuoneiden osalta vakioitu tarkastelu on vielä riittävää, mutta huomioitavaa on, että kappaleen 7, taulukossa 5 lämpökuormat olohuoneessa olivat varsin pienet, kuin myös ihmisten läsnäolo tilassa.



Kuva 23. Yhdistelmäkaavio eri simulaatioiden yllämpenemis astetuntisummasta

Kappaleessa 12.2 huomattiin kahden hengen makuuhuoneiden tuloksissa operatiivisen lämpötilan kasvua vyöhykekohtaisella käytöllä verrattuna vakioituun käyttöön. Tätä tutkittiin tarkemmin ja luotiin simulaatio, jossa kaikki makuuhuoneet muutettiin kahden hengen makuuhuoneiksi ja tarkasteltiin sen vaikutusta huoneen yllämpenemis astetunteihin (kuva 24). Tuloksista voidaan huomata, kuinka suuri kasvu astetunneissa on vyöhykekohtaisella käytöllä verrattuna vakioituun käyttöön. Yhden hengen makuuhuoneissa vakioitun käytön tarkastelu osoittautui riittäväksi, mutta kahden hengen makuuhuoneissa on selvästi suurempi yllämpenemis riski. Huomioitavaa tuloksissa on myös se, että ikkunoiden kaihtimet on asetettu siten, että ne ovat kiinni työpäivän ajan eli klo 07–17, mutta ovat illan auki. Tämän muuttaminen siten, että sälekaihtimet olisivat koko ajan kiinni, vaikuttaisi varmasti lopputulokseen, mutta harvassa talossa ne ovat koko ajan kiinni.



Kuva 24. Yhdistelmäkaavio eri simulaatioiden yllämpenemis astetuntisummasta

13 LOPPUTULOSTEN ARVIOINTI

Tutkimuksen lopputuloksia arvioitaessa tulee huomioida, että tutkittavana oli vain yksi asuinkerrostalo, jonka pohjalta luotiin kaksi mallia: puinen ja betoni-
nen. Tästä johtuen tutkimuksen tuloksia ei voida sellaisenaan yleistää ja suoraan verrata muihin rakennuksiin. Huomioitavaa on myös tekijän kokemattomuus tutkijana ja ohjelmistojen käyttäjänä, jotka vaikuttavat lopputuloksen luotettavuuteen. Teoriaosuudessa mainitut ja tutkimuksessa käytetyt ja viitatus asetukset/määräykset ovat puolueettomia tahoja. Työn toteutuksessa käytettiin IDA ICE -ohjelmiston omia, Equa Simulation AB:n ohjeistuksia.

Lopputuloksista voidaan päätellä, että nykyisellään yllämpötarkastelu ei anna todellista kuvaa rakennuksen yllämpöastetunneista. Ilmastonmuutos tuo meille aikaisemman kevään ja pidemmän kesän, joka vaikuttaa rakennuksien sisälämpötilojen nousuun kesäaikana merkittävästi. Tuloksissa testivuoden 2012 sää tiedostolla saadut tulokset vastasivat aiemmin saatuja tuloksia, joten tuloksia voidaan pitää niiltä osin luotettavina. Vyöhykekohtaiset tarkastelut ja testivuoden 2030 sääpaketilla lasketut tulokset ovat tutkimusta, josta ei verrokkitestejä ole juuri tehty vertailtavaksi. Lopputuloksien vertailusta käy ilmi, että kyseessä on aihe, jota tulee tarkastella tarkemmin ja huomioida suunnittelussa.

Simulaatiomalleista ja niistä saaduista tuloksista voidaan tarkastella tulevaisuudessa sisäilmastosuunnittelun päivittämistä. Malleja ja tuloksia voidaan myös suunnitteluohjeen pohjana.

14 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä tavoitteena oli verrata simulaatioiden avulla eroa yllämpötarkastelussa testivuoden 2012 ja 2030 välillä. Kuten jo ennalta osattiin arvioida, erot jäähdytysastetuntisummassa tulevat olemaan suuret, joten sillä on suuri merkitys, mitä säädatapakettia laskennoissa käytetään. Yllämpötarkastelu ei ole riittävä keino todentaa olosuhteiden pysyvyyttä, vaan pitäisi suorittaa erillinen sisäilmaston suunnittelu, jossa säädatana olisi suositeltavaa käyttää 2012 vertailuvuotta lämpimämpää säätä.

Ero puisen ja betonisen kerrostalon yllämpöselviytymisessä oli pienempi, mitä taustatutkimukset antoivat aluksi olettaa. Mutta puu on kuitenkin todistetusti monikäyttöisempi mitä on ajateltu ja soveltuu hyvin myös kerrostalorakentamiseen. Rakenteelliset ratkaisut aurinkosuojauksessa on tällä hetkellä myös aliarvioitu, vaikka niillä on merkittävä vaikutus tuloksiin.

Myös tapauskohtainen huonetilojen kuormitus on hyvä huomioida tarpeen tullen. Eli jos rakennus ja tilatyypit tiedetään, on järkevää käyttää todellista ihmismäärää ja aikataulua, minkä ihminen/i ihmiset tilassa viettävät. Sama koskee myös laitekuormia. Jos laitteet ja laitteiden lukumäärä tiedetään, voidaan niiden avulla laskea huonetilan todelliset lämpökuormat. Näillä voi tapauskohtaisesti olla hyvinkin suuria vaikutuksia lämpötilaan.

Energiakonsultointi on noussut merkittävästi esiin nykyrakentamisessa, ja konsultointia tarvitaan kasvavassa määrin ilmastonmuutoksen ja energiatehokkuutta ja päästöjä koskevien asetusten ja määräysten tiukentuessa. Rakennuksien yllämpöpeneminen on todellisuutta ja tulee todennäköisesti pahenemaan, ja tästä syystä tarvitaan asianmukaista tarkastelua, kuinka yllämpöä voidaan torjua passiivisin keinoin ja vasta tarpeen tullen jäähdytyksellä.

Yhteenvedona voidaan todeta, että ilmastomme on muuttunut viime vuosina suuresti ja nykyisin yllämpötarkasteluissa ja sisäilmasto-olosuhteiselvityksissä käytettävä säätiedosto 2012 ei ole riittävä tarkastelussa. Tästä tutkimuksesta saatuja tietoja voidaan jatkossa hyödyntää sisäilmastosuunnitteluohjeen luomisessa.

LÄHTEET

1. Jokinen, M. 2022. Euroopan tukala tulevaisuus. *Helsingin sanomat* 20.08.2022. Verkkolehti. Saatavissa: <https://www.hs.fi/ulkomaat/art-2000009000277.html> [viitattu 25.09.2022].
2. Elo, E. Helle voi aiheuttaa suuren määrän vakavia terveyshaittoja. *Ap-teekkari*. 24.11.2021. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ap-teekkari.fi/uutiset/helle-voi-aiheuttaa-suuren-maaran-vakavia-terveys-haittoja.html?p1934=45> [viitattu 25.09.2022].
3. Ympäristöministeriö. Ympäristö- ja ilmastoministeri Emma Kari: ”Jokainen energiatehokkaaksi remontoitu rakennus on askel kohti Suomen energiatuottavuutta”. 07.04.2022. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/-/ymparisto-ja-ilmastoministeri-emma-kari-jokainen-energiatehokkaaksi-remontoitu-rakennus-on-askel-kohti-suomen-energiatuottavuutta-> [viitattu 25.09.2022].
4. Helletilastot. Ilmatieteen laitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/helletilastot> [viitattu 25.09.2022].
5. Jokela, A. 2015. Kesä pitenee tulevaisuudessa 1-2 kuukaudella. Sään takaa -blogi 25.05.2015. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://blogi.foreca.fi/2015/05/kesa-pitenee-tulevaisuudessa-1-2-kuukaudella/> [viitattu 25.09.2022].
6. Heikkonen, H. 2022. Asuntojen ylilämpenemisestä voi tulla pysyvä ilmiö, ellei nyt toimita. *Rakennuslehti* 25.4.2022. Verkkolehti. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2022/04/asuntojen-ylilampenemisesta-voitulla-pysyva-ilmio-ellei-nyt-toimita/> [viitattu 10.08.2022].
7. Sisäilmayhdistys ry – Puolueetonta tietoa sisäilmasta. 2008. Sisäilmayhdistys. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Perustietoa> [viitattu 5.8.2022].
8. Ympäristö. Rakennuksen sisäilmasto. Päivitetty 20.02.2020. Ympäristöhallinto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/rakennuksen-terveellisyys-ja-esteettomyys/rakennuksen-terveellisyys/rakennuksen-sisailmasto> [viitattu 5.8.2022].
9. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta. 1009/2017
10. Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön op-paita 2003:1. Helsinki. 2003. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://stm.fi/documents/1271139/1371655/Asumisterveysohje_tiivistelma_fi.pdf/8db72c91-b040-48bf-87b5-a2efd7379686 [viitattu 05.09.2022].

11. Lämpöviihtyvyys. 9pdf. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://9pdf.co/article/l%C3%A4mp%C3%B6viihtyvyys-asuinrakennuksen-kes%C3%A4ajan-ylil%C3%A4mp%C3%B6tilojen-hallintak%C3%A4ytt%C3%B6vaiheen-l%C3%A4mp%C3%B6viiht.yr3dkmjv> [viitattu 10.09.2022].
12. Vesterinen, V. Asuinrakennuksen kesäajan yllämpötilojen hallintakäyttövaiheen lämpöviihtyvyys. Diplomityö Tampereen teknillinen yliopisto, Konetekniikan koulutusohjelma. Tampere. 2012. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/21202/vesterinen.pdf?sequence=3&isAllowed=y> [viitattu 05.09.2022].
13. LVI 05-10417. 2017. Rakennusten sisäilmaston suunnitteluperusteet
14. Kaistaniemi, P. Vieraskynä. Vesterä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://vesterä.fi/vieraskynä-talotekniikkajohtajan-terveiset/> [viitattu 20.08.2022].
15. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 1010/2017.
16. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. 545/2015
17. World Health Organization. Heat and health. 2018. WHO. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-heat-and-health> [viitattu 05.09.2022].
18. Koppe, C., Kovats, s., Jendritzky, G. & Menne, B. *Health and Global Environmental Change*. Series, No 2. 2004. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/96965/E82629.pdf [viitattu 05.09.2022].
19. Ilmatieteen laitos. Ilmastonmuutos. Ilmatieteenlaitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutoskysymyksiä> [viitattu 05.09.2022].
20. Heikkonen, H. 2022. Asuntojen yllämpenemisestä voi tulla pysyvä ilmiö, ellei nyt toimita. *Rakennuslehti* 25.4.2022. Verkkolehti. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2022/04/asuntojen-yllämpenemisestä-voitulla-pysyvä-ilmio-ellei-nyt-toimita/> [viitattu 10.08.2022].
21. Merikari, A. 2020. Yllämpeneminen tulisi estää jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa. 2020. *Sisäilmauutiset* 18.11.2020. Verkkolehti. Saatavissa: <https://www.sisailmauutiset.fi/rakentaminen-2/yllämpeneminen-tulisi-estää-jo-rakennuksen-suunnitteluvaiheessa/> [viitattu 10.08.2022].
22. Jylhä, K., Kalamees, T., Tietäväinen, H., Ruosteenoja, K., Jokisalo, J., Hyvönen, R., Ilomets, S., Saku, S. & Hutila, A. Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista.

- Raportti No. 2011:6. Ilmatieteen laitos. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/app/uploads/2017/02/Selvityksia53-3.pdf> [viitattu 05.09.2022].
23. Kosonen, R., Jokisalo, J. & Kollanus, V. 2022. Helteet tekevät asunnoista ja työpaikoista tuskaisen kuumia ja jopa terveydelle vaarallisia. Tieto käyttöön -blogi 10.6.2022. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://tietokayttoon.fi/ajankohtaista/blogi/-/blogs/helteet-tekevät-asunnoista-ja-tyopaikoista-tuskaisen-kuumia-ja-jopa-terveydelle-vaarallisia> [viitattu 22.9.2022].
24. Abrahao alves, A., Luiz teixeira Goncalves, F. & Helena Silva, D. The re-cent residential apartment buildings' thermal performance under the combined effect of the global and the local warming, Vol 238. *Energy and buildings* 2021. Sao paulo. Brasilia. 2021. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [viitattu 01.09.2022].
25. Ranta, M. Lukion maantieteen sähköisen oppikirjan kehittämistutkimus kaupungistumisen riskit ja mahdollisuudet. Pro gradu -tutkielma maantiede kulttuurimaantiede/ opettajan opinnot. Helsingin yliopisto geotieteiden ja maantieteen laitos. Helsinki. 2015. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/154800/Gradu-MattiRanta.pdf> [viitattu 14.09.2022].
26. Gasparri, A., Guo, Yuming., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., Tobias, A., Tong, S., Rocklöv, J., Forsberg, B., Leone, M., De sario, M., L Bell, M., Leon Guo, Y., Wu, C., Kan, H., Yi, Seung-Muk., De Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Hilario Nascimento Saldiva, P., Honda, Y., Kim, H. & Armstrong, B. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *The lancet*, vol 386. 2015. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0) [viitattu 05.09.2022].
27. Baccini, M., Biggeri, A., Acceta, G., Kosatsky, T., Katsoyanni, K., Anali-tis, A., Ross Anderson, H., Bisanti, L., D'Ippoliti, D., Danova, J., Forsberg, B., Medina, S., Paldy, A., Rabczenko, D., Schindler, C. & Michelozzi, P. *Heat Effects on mortality in 15 European cities Epidemiology* 5 (2008), vol 19., 711 - 719. 2008. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.jstor.org/stable/25662618> [viitattu 01.09.2022].
28. Kollanus, T. & Lanki, T. 2021. Helteen terveyshaitat ja niiden ehkäisy Suomessa. Työkirja. Terveysten ja hyvinvoinnin laitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/143389/URN_ISBN_978-952-343-673-2.pdf?sequence=1 [viitattu 05.09.2022].
29. Farahani, V.A., Jokisalo, J., Korhonen, N., Jylhä, K., Ruosteenoja, K. & Kosonen, R. (2021). *Overheating risk and energy demand of nordic old and new apartment buildings during average and extreme weather conditions under a changing climate*. Applied Sciences (Switzerland),

- 11(9), [3972]. Saatavissa: https://acris.aalto.fi/ws/portalfiles/portal/63040330/ENG_Farahani_et_al_Overheating_Risk_and_Energy_Demand_Applied_Sciences.pdf [viitattu 01.09.2022].
30. Merikari, A. 2020. Ylilämpeneminen tulisi estää jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa. 2020. *Sisäilmauutiset* 18.11.2020. Verkkolehti. Saatavissa: <https://www.sisailmauutiset.fi/rakentaminen-2/ylilampeneminen-tulisi-estaa-jo-rakennuksen-suunnitteluvaiheessa/> [viitattu 06.09.2022].
31. Vuolle, M. & Marongiu, F. Opas Asuinkerrostalojen kesän sisälämpötilojen määräysten mukaisuus, hallinta ja jäähdytys. EQUA simulation Finland Oy. 2021. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/valiaikaisia/opas_equa.pdf [viitattu 06.09.2022].
32. Foss, C. 2022. Mikä rakennuksen digitaalinen kaksonen oikeasti on. Christian Foss. Nordic bim group. 18.03.2022. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.nordicbim.com/fi/bimblogi/mik%C3%A4-rakennuksen-digitaalinen-kaksonen-oikeasti-on> [viitattu 05.09.2022].
33. Henttinen, T. Talotekniikka haltuun tietomallintamisella. Rakenamme. 26.03.2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rakenamme.fi/talotekniikka/talotekniikka-haltuun-tietomallintamisella/> [viitattu 25.09.2022].
34. Paakkari, J. 2021. Ajoissa tehty energia- ja olosuhdesimulointi auttaa päätöksenteossa. Vahanen-blogi. 16.12.2022. Saatavissa <https://blog.vahanen.com/ajoissa-tehty-energia-ja-olosuhdesimulointi-auttaa-paatoksenteossa> [viitattu 20.8.2022].
35. Acharya, A., Dhakal, A., Rajbhandari, M. & Shestra, S. Thermal behavior of concrete and its effect on urban heat island. 2020. Department of Environmental Science and Engineering. School of Science. Kathmandu University. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/362042431_THERMAL_BEHAVIOR_OF_CONCRETE_AND_ITS_EFFECT_ON_URBAN_HEAT_ISLAND [viitattu 05.09.2022].
36. Zafar, S. Weather-Resistant Building Materials for 2022. 01.02.2022. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.bioenergyconsult.com/weather-resistant-building-materials/> [viitattu 15.09.2022].
37. Älykäs ratkaisu rakennuksen 3D-tilamallin luomiseen. MagiCad. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.magicad.com/fi/mc-feature_group/intelligent-solution-for-creating-bim-models-of-buildings/ [viitattu 05.09.2022].
38. Building smart. Standardit. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/standardit> [viitattu 20.08.2022].

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Kuvakaappaus RT 07-11299. Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Taulukko 1.3.1 Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot eri sisäilmastoluokissa

Kuva 2. Kuvakaappaus Ecologikol yrityksen LinkedIn sivustolta. 2022. Saatavissa: https://www.linkedin.com/pulse/building-thermal-comfort-analysis-ecologikol/?trk=organization-update-content_share-article [viitattu 25.08.2022].

Kuva 3. Kuvakaappaus LVI 05-10417. Rakennusten sisäilmaston suunnitteluperusteet. Taulukko 2, ote lämpöolojen tavoitearvoista sisäilmaluokitus 2000:n mukaan

Kuva 4. Kuvakaappaus ACT State of the environment artikkelista: Trees in the city. 2021. Saatavissa: <https://www.environmentforyouth.com.au/3-trees-in-the-city/3-1-the-importance-of-trees/> [viitattu: 16.09.2022].

Kuva 5. kuvakaappaus THL työpaperista helteen terveystaitat ja niiden ehkäisy Suomessa. Taulukko 1, keskimääräinen muutos kuolleisuudessa. Saatavissa: https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/143389/URN_ISBN_978-952-343-673-2.pdf?sequence=1 [viitattu: 16.09.2022].

Kuva 6. Kuvakaappaus Payette yrityksen pääsivulta. 2012. Saatavissa: https://www.researchgate.net/figure/Solar-shading-devices-Payettecom-2012-18_fig1_352466355 [viitattu: 20.08.2022].

Kuva 7. Kuvakaappaus asuinkerrostalon sisäisestä kuormista asetuksen 1010/2017 mukaan. 2021. Saatavissa: https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/valiaikaisia/opas_equa.pdf [viitattu: 16.09.2022].

Kuva 8. Kuvakaappaus esimerkki sisäisestä lämpökuormista. Saatavissa. 2021. Saatavissa: https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/valiaikaisia/opas_equa.pdf [viitattu: 16.09.2022].

Kuva 9. Kuvakaappaus luento 3 lämpö, lämmitys, lämmön eristäminen, U-arvon laskenta. Rakennusfysiikan perusteet. Saatavissa: <https://docplayer.fi/48394540-Luento-3-lampo-lammitys-lammon-eristaminen-u-arvon-laskenta.html> [viitattu: 25.09.2022].

Kuva 10. Kuvakaappaus emissiivisyys luennosta. Savonia ammattikorkeakoulu. 2019. Saatavissa: <http://kuna.savonia.fi/images/Emissiivisyys.pdf> [viitattu: 25.09.2022].

Kuva 11. Kuvakaappaus Magicad -ohjelmistosta.

Kuva 12. Kuvakaappaus IDA ICE -ohjelmistosta

Kuva 13. Kuvakaappaus IDA ICE -ohjelmistosta

Kuva 14. Kuvakaappaus IDA ICE -ohjelmistosta

Kuva 15. Kuvakaappaus IDA ICE -ohjelmistosta

Taulukko 1. Excel taulukko rakenteellisista muutoksista

Taulukko 2. Excel taulukko suoritettavista simulaatioista

Kuva 16. Kuvakaappaus Microsoft Excel -ohjelmistosta

Kuva 17. Kuvakaappaus Microsoft Excel -ohjelmistosta

Kuva 18. Kuvakaappaus IDA ICE -ohjelmistosta

Kuva 19. Kuvakaappaus Microsoft Excel -ohjelmistosta

Kuva 20. Kuvakaappaus IDA ICE -ohjelmistosta

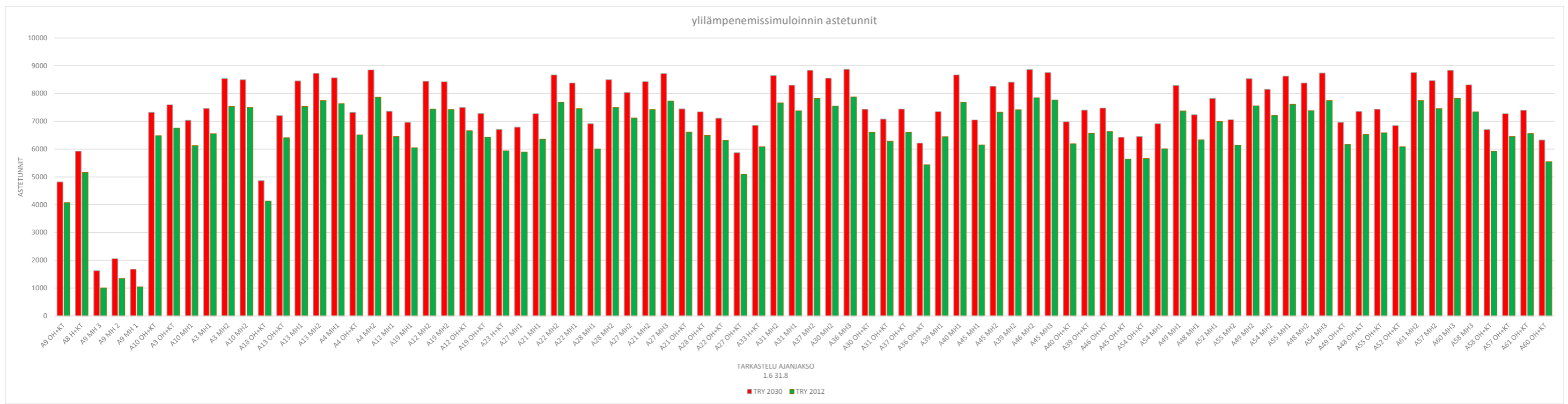
Kuva 21. Kuvakaappaus IDA ICE -ohjelmistosta

Kuva 22. Kuvakaappaus IDA ICE -ohjelmistosta

Kuva 23. Kuvakaappaus Microsoft Excel -ohjelmistosta

Kuva 24. Kuvakaappaus Microsoft Excel -ohjelmistosta

ylilämpenemissimuloinnin astetunnit



ylilämpenemissimuloinnin astetunnit

