



Aalto University
School of Engineering

Rakennusten kesäaikainen ylilämpeneminen

Motivan verkkoluento 1.10.2024

Juha Jokisalo, Aalto-yliopisto

Ilta-lehti 2.8.2021:

**Hoitajat avautuvat kauhujen kesästä
poikkeuksellisessa kuumuudessa:
"Toimistoteipillä jätesäkkejä ikkunoihin"**

Rakennuslehti 4.5.2022:

**Hellekesinä sisälämpötilat nousevat uusissa
rakennuksissa vaarallisen korkeiksi**

Seura 26.7.2018:

**Vanhusten kotihoito "jatkuva hälytystilassa"
– erittäin tukala helle kaataa jo kuumissa
asunnoissa viruvia ikääntyneitä**

YLE 17.6.2023

**Helleaallot aiheuttavat Suomessakin vuosittain
satoja ylimääräisiä ikäihmisten kuolemia**

Kaleva 17.5.2022:

**THL: Helle nostaa sisälämpötiloja jopa
30 asteeseen Suomen sairaaloissa – tiloja
pitäisi pystyä viilentämään nykyistä pa-
remmin**

Yle: 28.6.2022:

**Pitkään jatkuva helle aiheuttaa
haasteita vanhustenhuoltoon –
lämpötilat kohoavat niin
hoitolaitoksissa kuin kotihoidossa**

le 24.7.2019

**Tutkija: Suomessa ei varauduta
riittävästi äärihelteisiin – Viime kesä
sai terveydenhuollon havahtumaan**

Keskitytään neljään kysymykseen:

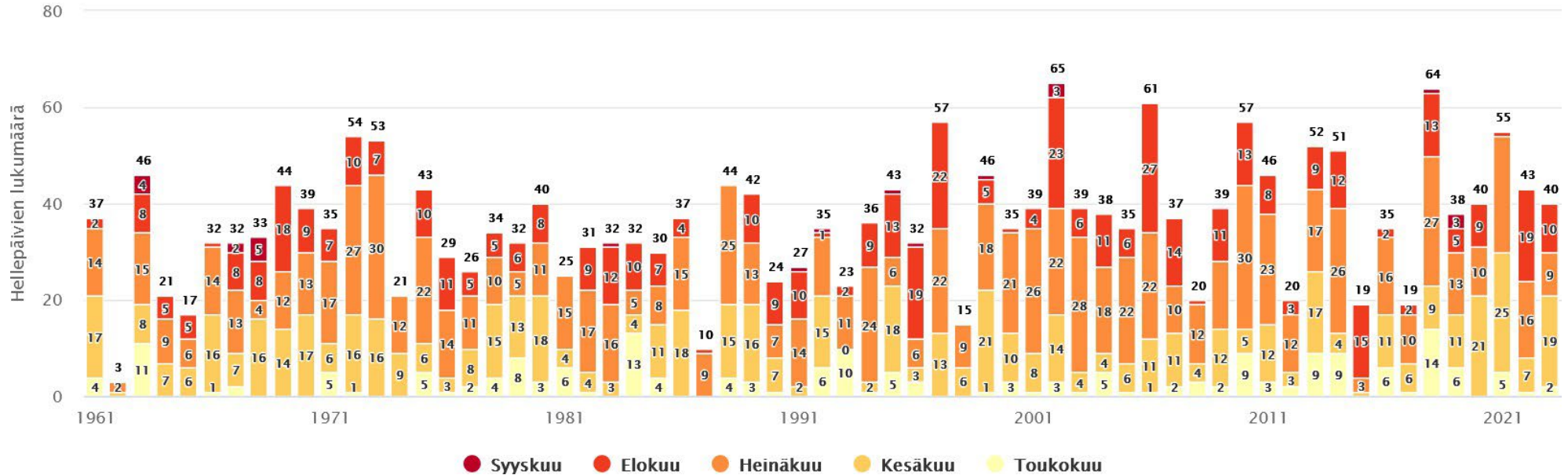
- **Kuinka:**
 - kesäaikaiset sääolosuhteet ovat muuttuneet?
 - merkittävästi rakennukset yllämpenevät kesällä nykyään?
 - huonelämpötilat käyttäytyvät pitkän hellejakson aikana?
 - yllämpenemistä kannattaa torjua?

**Kuinka kesäaikaiset
sääolosuhteet ovat
muuttuneet?**



Helteet yleistyvät Suomessa

Koko maan hellepäivät 1961 alkaen

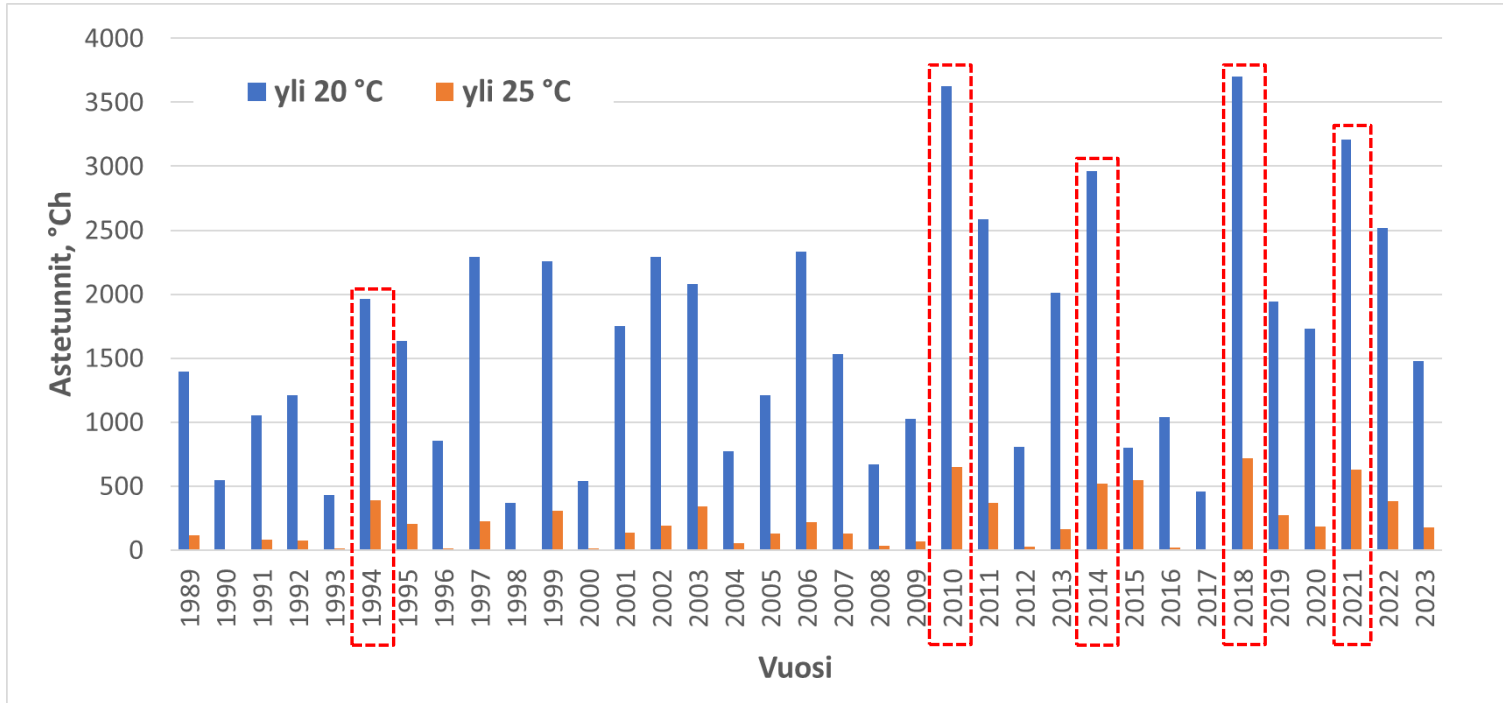


Lähde: Ilmatieteen laitos

Kesällä 2024 Suomessa hellepäiviä eniten (71 kpl) mittaushistorian aikana.

Kesät lämpenevät ja pitkät helleaallot yleistyvät

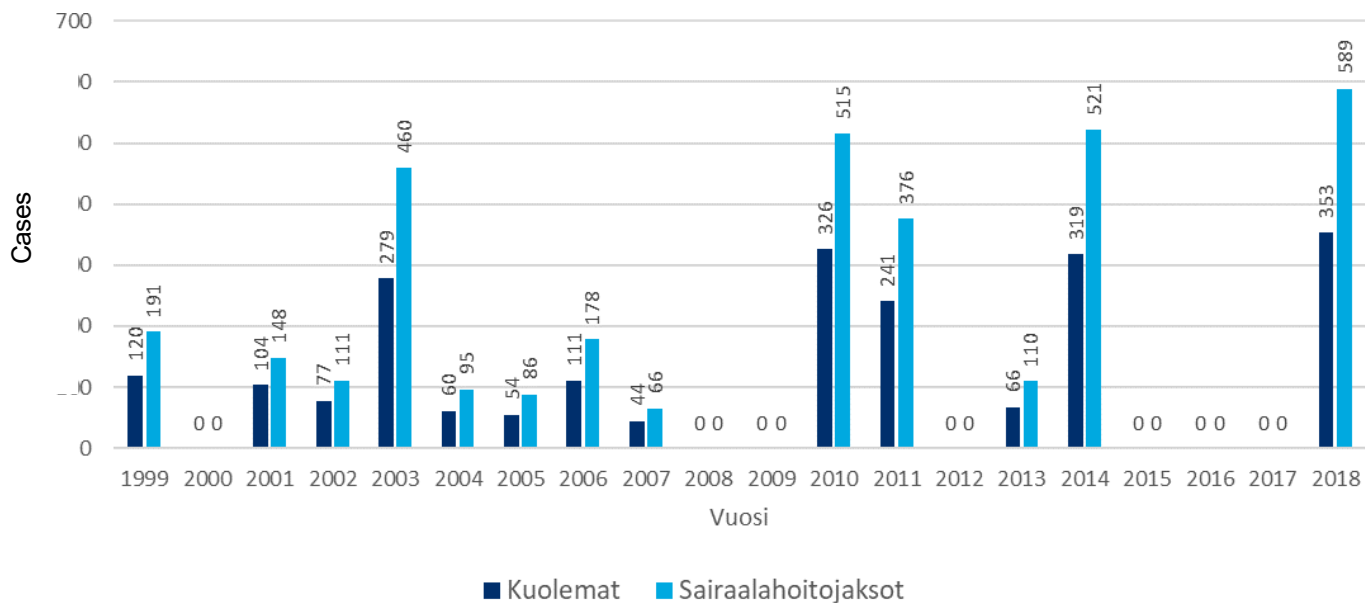
- Kesäajan (1.5-31.8) ulkolämpötilan 20 ja 25 °C ylittävät astetunnit Vantaalla 1989-2023 aikana:



- Kesät ovat lämmenneet
- TOP 5: pisimmät hellejaksot Vantaalla:
 1. 25 vrk(2018)
 2. 20 vrk (2010)
 3. 16 vrk (2021)
 4. 14 vrk (2014)
 5. 10 vrk (1994)

Helteiden terveysthaitat Suomessa

- THL:n arvio helleaaltojen aiheuttamista kuolemista ja sairaalahoitojaksoista Suomessa vuosina 1999-2018 [1]:



→ Helleaaltojen aikana yli 65-vuotiaiden kuolleisuus (350) ja sairaalahoidon tarve (590) vuonna 2018

Vertailutietoa Suomesta:

- Palokuolemia vuosittain noin 40-90
- Liikenneonnettomuuksissa kuolee vuosittain 210-250 ihmistä

**Kuinka merkittävästi
rakennukset yllämpenevät
kesällä nykyään?**



Nykyisiä sisälämpötiloihin liittyviä asetuksia:

- Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysasetus (545/2015) (6§):
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella tulee pysyä toimenpiderajoissa +18 – +32 °C (erityisryhmät 30 °C).
- YM:n asetus (1009/2017) uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (4§): *Huonelämpötilan hallinnan suunnittelussa huonelämpötila voi vaihdella välillä 20 – 27 °C lämmityskauden ulkopuolella.*
- YM:n asetus (1010/2017) uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (29§):
Laskennallinen kesäajan huonelämpötila ei saa ylittää jäähdytysrajan arvoa 27 °C kerrostalossa ja 25°C esim. vanhainkodissa ja sairaalassa enemmän kuin 150 Kh 1.6-31.8 välisenä aikana suunnitteluratkaisun mukaista ilmavirtaa käyttäen”.

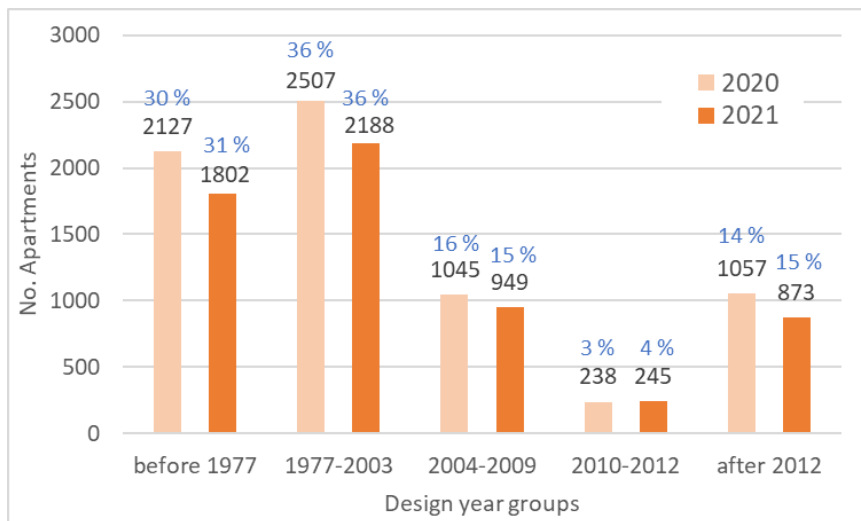
Toteutuneiden huonelämpötilojen seurantatutkimus pääkaupunkiseudulla

- Mittausten piirissä yli 10 000 kerrostaloasuntoa, joiden rakentamisvuodet **1902-2016** ja sijainti **Helsinki, Vantaa, Espoo, Järvenpää, Kerava ja Tuusula**

- Tarkemmassa analysoinnissa mukana:

- **578** kerrostaloa, **6974** asuinhuoneistoa kesällä 2020
- **560** kerrostaloa, **6057** asuinhuoneistoa kesällä 2021

Asunnot suunnitteluvuoden perusteella:



- **Asunnoista tiedetään vain:**

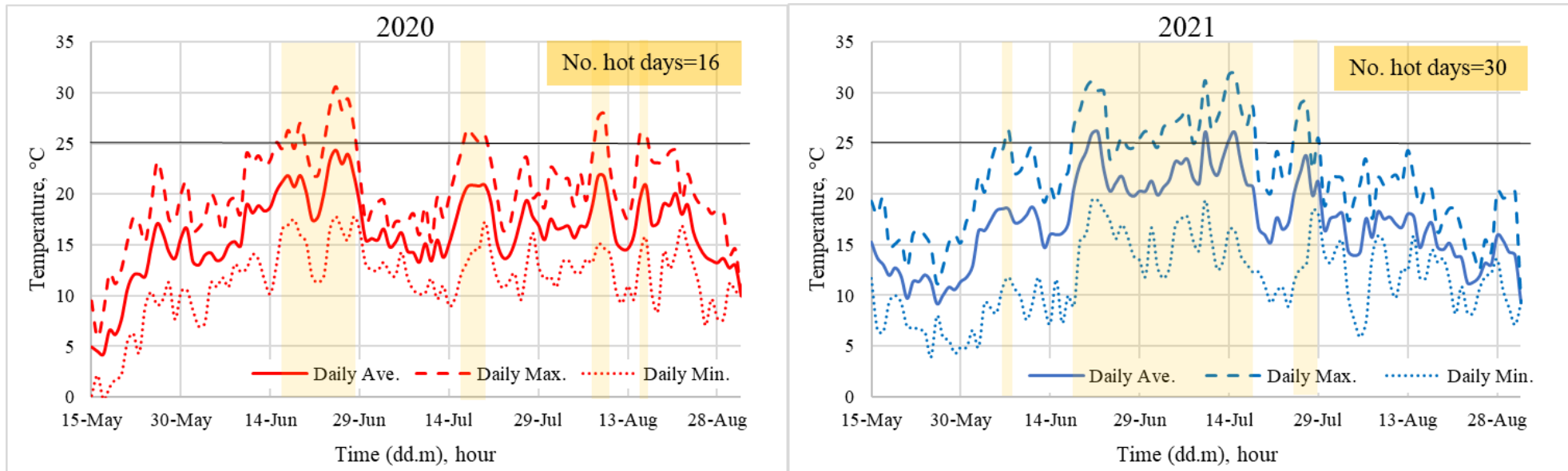
- Rakentamisvuosi ja sijainti
- Niissä ei ole kiinteästi asennettuja jäähdytyslaitteita

- **Ei ole tiedossa:**

- Asuntojen koko, suuntaus, hlö määrä, ikkunatuuletuksen käyttö, yms.
- Onko liikuteltavia jäähdytyslaitteita käytössä.

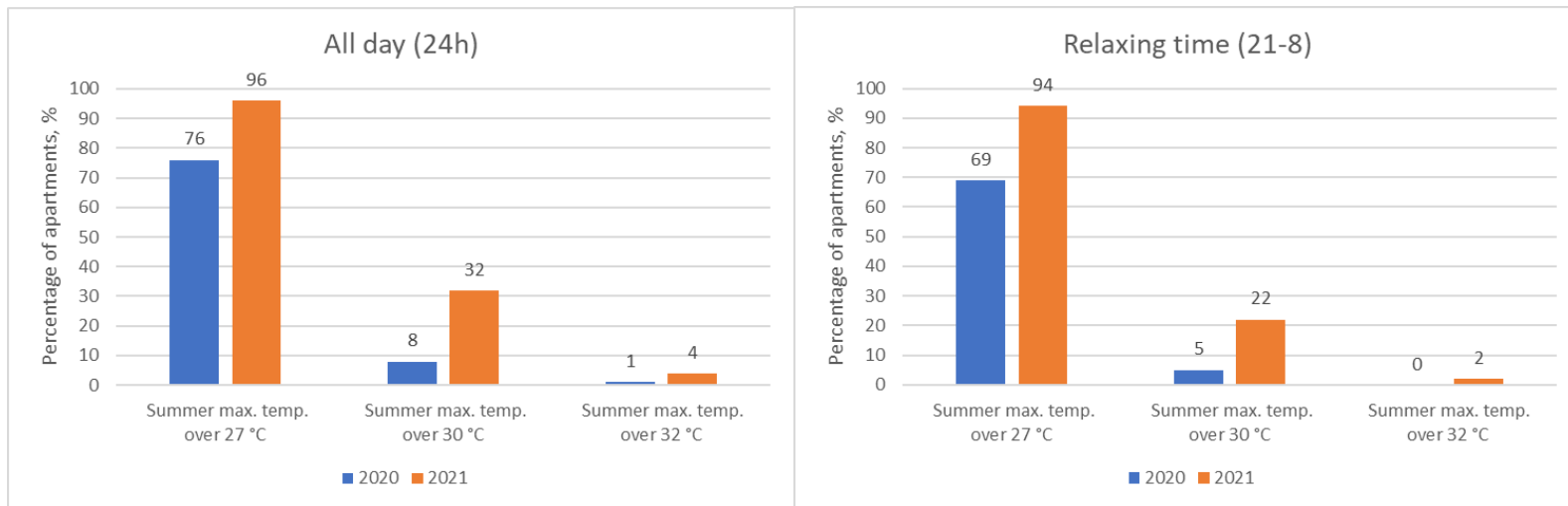
Ulkolämpötila keskimääräisen (2020) ja hellekesän (2021) aikana Helsingissä

-Hellejaksot näkyvät kuvissa keltaisella taustavärillä:



Ylilämpenevien asuntojen osuus normaalin ja hellekesän aikana

Asuntojen osuus, joiden huonelämpötila ylittää 27, 30 tai 32 °C



➔ Asunnot ylilämpenevät merkittävästi myös yöaikaan.

➔ Yli 75% asunnoista ylittää 27°C normaalin kesän aikana ja lähes kaikki hellekesän aikana.

➔ Asumisterveysasetuksen:

- Alempi toimenpideraja ylittyy noin 1/3 asunnoista hellekesän aikana.

- Ylemmän toimenpiderajan ylitys 4% asunnoista tarkoittaisi yli 60 000 asuntoa koko Suomen kerrostalokannassa (1.52 milj asuntoa) ja alempi toimenpideraja ylittyisi vastaavasti lähes 0.5 milj asunnossa.

Kuinka pitkään asunnot* yllämpenivät hellekesän 2021 aikana ?

		Percentage (%) of apartments with						
		1 day	2 continuous days	3 continuous days	4 continuous days	5 continuous days	6 continuous days	7 continuous days
Hourly temperature higher than	27 °C	84.8	77.9	69.8	61.0	55.1	50.0	46.8
	28 °C	59.6	48.8	40.2	32.7	26.2	21.5	19.2
	29 °C	28.1	20.9	15.8	11.8	8.8	6.2	5.3
	30 °C	8.3	5.5	3.9	2.8	1.9	1.5	1.2
	31 °C	1.8	1.3	0.9	0.6	0.3	0.2	0.2
	32 °C	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
	33 °C	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
	34 °C	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.0	0.0
	35 °C	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.0	0.0

- Sovellettuna Suomen kerrostalokantaan:

➔ Yli 700 000 asunnossa olisi jatkuvasti vähintään 27 °C 7 vrk ajan.

➔ Yli 18 000 — || — 30 °C 7 vrk ajan.

➔ Yli 1500 — || — 32 °C 7 vrk ajan.

Kohteiden ryhmittely suunnitteluvuoden mukaan

1. Ennen vuotta 1977 suunnitellut

- Suunniteltu ennen rakentamismääräysten aikaa.
- Ilmanvaihto: Painovoimainen tai kon. poisto

2. Vuosina 1977-2003 suunnitellut

- Voimassa U-arvomääräykset
- Ilmanvaihto: Kon. poisto

3. Vuosina 2004-2009 suunnitellut

- Ikkunoiden U-arvomääräyksiä kiristettiin ($2.1 \rightarrow 1.4 \text{W/m}^2, \text{K}$), joka tarkoitti sitä, että kerrostaloissa siirryttiin käyttämään selektiivilaseja.
- IV:n LTO määräykset voimaan \rightarrow Kon. tulo- ja poisto IV

1. Vuosina 2010-2011 suunnitellut

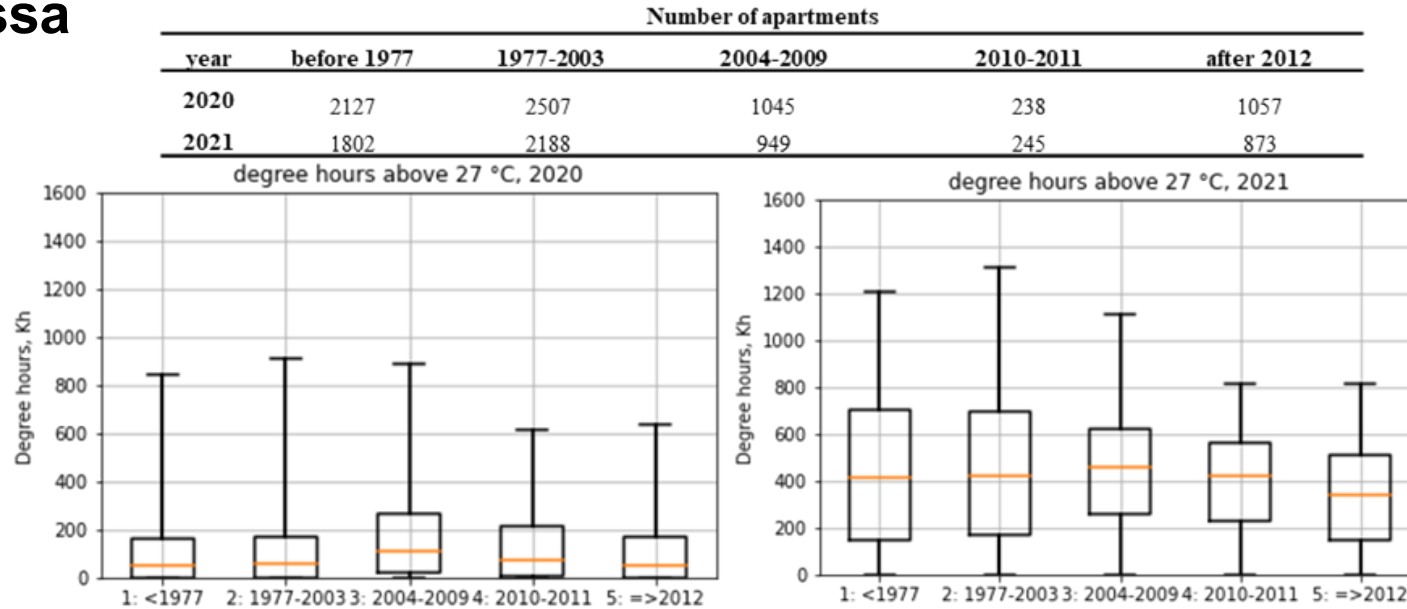
- U-arvo- ja LTO-määräyksiä kiristettiin.
- Ilmanvaihto: Kon. poisto

2. Vuoden 2012 jälkeen suunnitellut

- D3 (2012): Simuloitu 27°C ylittävä huonelämpötila max 150 Kh 1.6-31.8 välisenä aikana.
- Ilmanvaihto: Kon. tulo ja poisto

Kuinka eri ikäiset asunnot yllämpenevät?

27°C ylittävät astetunnit normaalin ja hellekesän aikana eri ikäisissä asunnoissa



- Erot eri ikäryhmien välillä on melko pieniä keskimäärin.
- Kolmesta vanhimmasta ikäryhmästä löytyy enemmän merkittävästi yllämpeneviä asuntoja hellekesän aikana.
- Yllämpeneminen on hiukan vähäisempää vuoden 2012 jälkeen suunnitelluissa rakennuksissa, mutta myös ne yllämpenevät merkittävästi.

Yhteenveto: Kuinka merkittävästi rakennukset yllämpenevät kesällä nykyään?

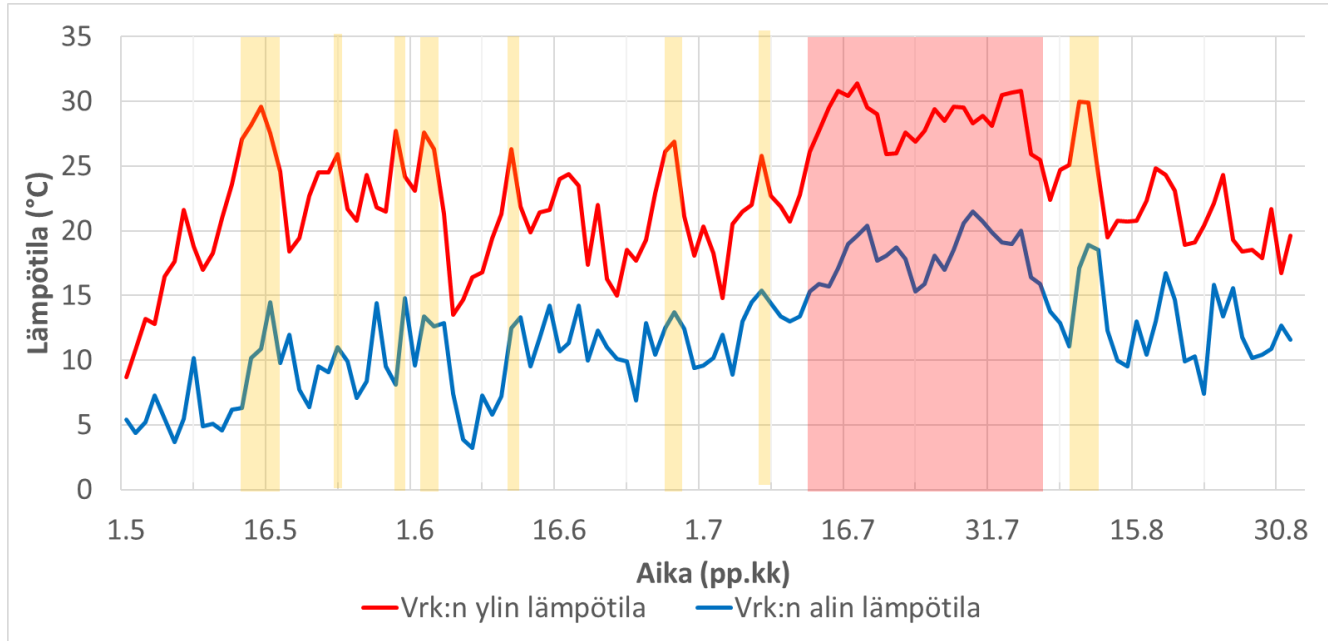
- Kerrostaloasunnot yllämpenevät jo nykyisissä ilmasto-oloissa erittäin merkittävästi:
 - *Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat ylittyvät osassa asuntoja myös normaalin kesän aikana hellekesästä puhumattakaan.*
- Rakennuksen ikä vaikuttaa melko vähän yllämpenemisen määrään vaikkakin vuoden 2012 jälkeen suunnitellut kerrostalot yllämpenevät hiukan vähemmän kuin vanhemmat kerrostalot.

Kuinka huonelämpötilat käyttäytyvät pitkän hellejakson aikana?



Kesällä 2018 pisin hellejakso 35 vuoteen Vantaalla

- Vrk:n ylin ja alin ulkolämpötila Vantaalla 1.5-31.8:



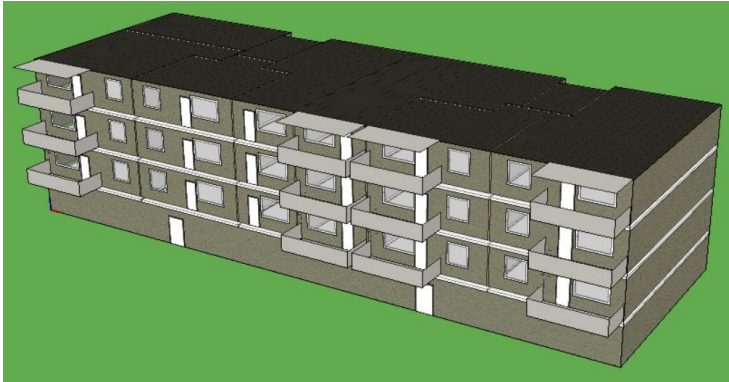
- Pitkä hellejakso 25 vrk
- Hellepäiviä yht. 39 kpl
- Pitkä hellejakso vaikea ylilämpenemisen kannalta, koska:
 - Ulkolämpötilat korkeita sekä päivällä että yöllä
 - Rakenteet kuumenevat

→ Käytetään vuoden 2018 kesää simulointitarkasteluissa

Vanhan ja uuden kerrostalon simulointitutkimus

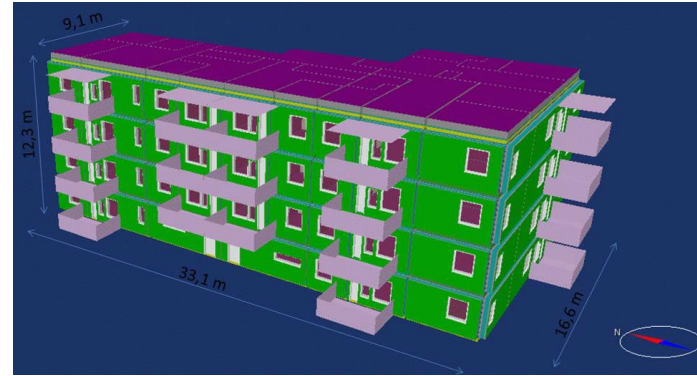
Simulointityökaluna IDA ICE 4.8

- 70-luvun kerrostalo:



- Koneellinen poistoilmanvaihto
- Ei tehty energia- tai ilmanvaihtoremontteja
- Alkuperäiset ikkunat ($g^*=0.68$)
- **Ei aktiivista jäähdytystä**

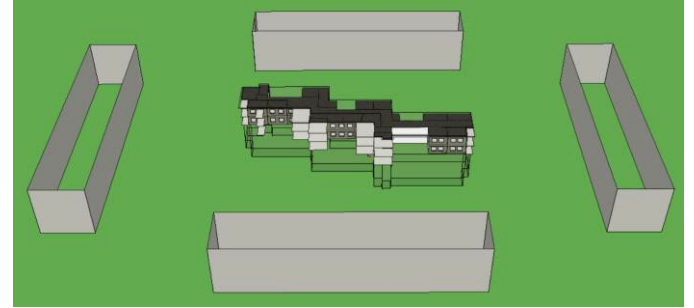
- Uudiskerrostalo:



- Koneellinen tulo- ja poisto ilmanvaihto
 - Auringonsuojaikkunat etelä- ja länsifasadeilla ($g^*=0,19$)
 - **Ei aktiivista jäähdytystä**
- Täyttää YM:n asetuksen (1010/2017) kesäaikaisen huonelämpötilavaatimuksen.

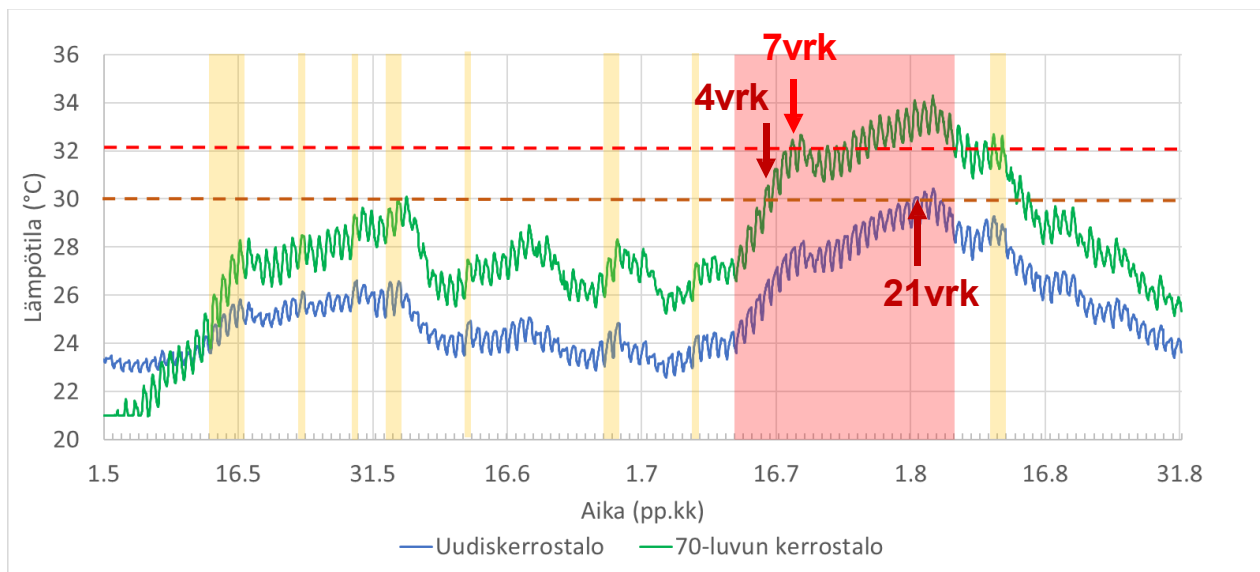
Rakennusten ympäristön simulointiperiaatteet

- **Auringon varjostus ja tuuliolot:**
 - Simuloitava rakennus sijaitsee lähiöalueella, jossa sitä ympäröi samanlaiset rakennukset
 - Alueen rakennukset ovat yhtä korkeita.
 - Vierekkäisten rakennusten etäisyys on 35 m.
 - Tuulen ja lämpötilan vaikutus vuotoilmanvaihtoon otetaan huomioon.
- **Rakennusten suuntaus:**
 - Julkisivu, jossa on eniten ikkunoita, suuntautuu etelään.



70-luvun ja uudiskerrostalon kuumimman makuuhuoneen simuloitu lämpötila kesän 2018 aikana

- Molemmissa kohteissa auringonsuojaus kaihtimilla.



Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat 30 ja 32°C merkitty kuvaan katkoviivoilla.

→ 70-luvun kerrostalo ylikuumenee huomattavasti enemmän kuin YM:n asetuksen (1010/2017) kesäaikaisen huonelämpötilavaatimuksen täyttävä uudiskerrostalo.

→ Lämpötilan nousunopeudessa merkittäviä eroja rakennusten välillä.

→ Molemmat kerrostalot jäähtyvät pitkän hellejakson jälkeen hyvin hitaasti:

→ massiivisten rakenteiden

→ ylikuumenemisen torjuntaan riittämättömän IV:n vuoksi

Yhteenveto: Kuinka huonelämpötilat käyttäytyvät pitkän hellejakson aikana?

Mikäli kohteessa ei ole käytettävissä aktiivista jäähdytystä:

- ➔ Asumistarveasetuksen toimenpiderajat voivat ylittyä hellejakson aikana huomattavasti nopeammin vanhoissa asuinkerrostaloissa kuin uusissa.
- ➔ Ylilämpeneminen ei rajoitu pelkästään hellepäiviin tai hellejaksoihin, vaan sitä ilmenee myös niiden ulkopuolella, erityisesti pitkien hellejaksojen jälkeen.

Kuinka yllämpenemistä kannattaa torjua?



Tutkitut yllämpenemisen torjuntakeinot 70-luvun kerrostalossa:

- **Kaikissa ratkaisuissa sälekaihtimet ikkunalasien välissä**
- **Auringonsuojakalvo vanhoihin ikkunoihin**
 - Väritön kalvo asennetaan uloimpien ikkunalasien ulkopintaan
- **Uusien ikkunoiden asennus:**
 - Uudet perustason ikkunat ($g=0.36$) koko rakennukseen
 - Auringonsuojaikkunat ($g= 0.19$) etelä- ja länsifasadeille ja muualle uudet perustason ikkunat
- **Ilmanvaihdon yöaikainen tehostus kesällä (1.5-1.9):**
 - Käytössä 30%:n tehostus.
- **Aktiivinen tilojen jäähdytys:**
 - Jäähdyttävä ILP kerrostalon asuntojen olohuoneisiin

Saadaanko 70-luvun kerrostalon ylläampenenen kuriin?

Toimenpide	70-luvun kerrostalo			
	25°C	27°C	30°C	32°C
Perus (vain kaihtimet)	12695	6737	2054	672
+ Auringonsuojakalvo	8326	3782	1052	122
+ Uudet perusikkunat	11337	5458	1575	347
+ Auringonsuojaikkunat	9348	4138	1142	144
+ IV-yötehostus 30%	11159	5548	1697	457
+ Tilojen jäähdytys	0	0	0	0

- Auringonsuojauksen parantaminen ja ilmanvaihdon tehostaminen vähentävät ylläampenenemistä, mutta ne eivät yksistään riitä torjumaan ylläampenenemistä äärimmäisen kuumien hellekesän aikana.
→ *Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat ylittyvät niiden käytöstä huolimatta.*
- Auringonsuojauksen parantamisella saadaan torjuttua ylläampenenemistä enemmän kuin IV:n tehostamisella.
- Lämpöolot saadaan hallintaan kaihtimia ja tilojen aktiivista jäähdytystä käyttäen.

Yliämpenemisen torjuntakeinojen kustannus-hyöty tarkastelu

- **Kustannukset (energia- ja investointikustannukset yhteensä):**
 - **Energiakustannukset**
 - Ratkaisun vaikutus hellevuoden 2018 aikaiseen lämmityksen ja sähkön kulutukseen mukaan lukien jäähdytyssähkö
 - Energiakustannukset laskettu Suomen sähkön ja kaukolämmön rakennustyyppikohtaisilla vuoden 2022 (sähkö) ja tammikuussa 2023 (kaukolämpö) keskihinnoin.
 - **Ratkaisun investointikustannukset**
- **Hyöty:**
 - Kuinka paljon ratkaisu vähentää kuumimpien asuintilojen 25 °C ylittäviä astetunteja perustapaukseen verrattuna?

$$\rightarrow \text{Ratkaisun kustannustehokkuus} = \frac{\text{Kustannukset,€}}{\text{Hyöty,}^\circ\text{Ch}}$$

Ratkaisujen kustannukset ja hyödyt 70-luvun kerrostalossa

Toimenpide	70-luvun kerrostalo	
	Hyöty: 25°C ylittävät astetunnit vähenevät, °Ch	Kustannustehokkuus, €/°Ch
+ Auringonsuojakalvo	4369	5.4
+ Uudet perusikkunat	1358	69.3
+ Auringonsuojaikkunat	3347	29.5
+ IV-yötehostus 30%	1536	0.3
+ Tilojen jäähdytys	12695	3.4

- **Vaikka IV:n 30% tehostamisella saadaan torjuttua yllämpenemistä vain vähän, se on tutkituista ratkaisuista kustannustehokkain, mikäli sen käyttö ei vaadi lisäinvestointeja.**
- **Auringonsuojakalvon lisääminen vanhoihin ikkunoihin on tutkituista auringonsuojaratkaisuista kustannustehokkain.**
- **Uusien ikkunoiden asentaminen ei ole kustannustehokas yllämpenemisen torjuntakeino, mutta jos ikkunat on kuntonsa puolesta uusittavat, on lisäinvestointi parempaan auringon suojaukseen kannattava.**
- **ILP:n asentaminen kerrostaloon on erittäin kustannustehokas ratkaisu.**

Kuinka paljon hellekesän 2018 lämpöolojen hallinta ILP:llä tulisi maksamaan nykyään?

- Jäähdyttävän ILP:n kuluttajahinta asennettuna esim. 80m² kerrostaloasuntoon nykyään tyypillisesti hieman alle 2000 €.

• 70-luvun kerrostalo:

- Jäähdytys­sähkön kulutus 8 kWh/m², jos huonelämpötiloja pidetään jatkuvasti alle 25°C
- Jäähdytyksen energiakustannus noin 1.7 €/m² (asunnon pinta-ala)
- Asunnon pinta-alasta riippuen noin 60 – 200 € /asunto

• Uudiskerrostalo

- Jäähdytys­sähkön kulutus 4 kWh/m², jos huonelämpötiloja pidetään jatkuvasti alle 25°C
- Jäähdytyksen energiakustannus noin 0.8 €/m² (asunnon pinta-ala)
- Asunnon pinta-alasta riippuen noin 30 – 80 € /asunto

Kuinka yllämpenemisen terveysriskejä saataisiin vähennettyä Suomessa?

- THL[1]: Ikääntyneen väestön asuntojen jäähdytys ilmalämpöpumpun avulla ehkäisisi mahdollisesti jopa 55 % helleaaltojen aiheuttamista kuolemista ja 95 % sairaalahoitojaksoista.

→ RATKAISU: Varustetaan ne yli 65 vuotiaiden käytössä olevat kerros-, pien- ja rivitaloasunnot ilmalämpöpumpulla, joissa ei sitä vielä ole.

- ILP asennettaisiin arviolta 363 000 kerros-, 110 000 pien- ja 83 000 rivitaloasuntoon [1].
- 37 000 asennusta vuosittain 15 vuoden aikana.
- Investoinnin arvo nykyihinnoilla yhteensä 1120 milj € tai 75 milj. € vuodessa 15 vuoden aikana.



Yhteenveto

- Passiivisilla auringonsuojaratkaisuilla ja ilmanvaihdon tehostuksella voidaan vähentää yllämpenemistä, mutta ne eivät yksistään riitä torjumaan yllämpenemistä äärimäisen kuuman hellekesän aikana.
- Yli 65-vuotiaiden asuntojen varustaminen aktiivisella jäähdytyksellä torjuisi helteiden aiheuttamia terveysriskejä merkittävästi.
- Toimenpide merkitsisi kiinteistön omistajille ja yksityistalouksille kaikkiaan noin 1.1 miljardin investointia.
- Ilmaston lämpeneminen tulee lisäämään rakennusten kesäaikaista yllämpenemistä, ellei yllämpenemisen torjuntaa tehosteta.
- Tulevaisuudessa helteen vakavat terveyshaitat lisääntyvät huomattavasti, jos ilmaston lämpenemiseen ja väestön haavoittuvuuden lisääntymiseen ei varauduta ja sopeuduta.

Lisätietoja:

Azin Velashjerdi Farahani, Juha Jokisalo, Natalia Korhonen, Kirsti Jylhä, Kimmo Ruosteenoja and Risto Kosonen. Overheating Risk and Energy Demand of Nordic Old and New Apartment Buildings during Average and Extreme Weather Conditions under a Changing Climate. Applied Sciences. 11. 3972. (2021)

<https://doi.org/10.3390/app11093972>

Azin Velashjerdi Farahani, Iliia Kravchenko, Juha Jokisalo, Natalia Korhonen, Kirsti Jylhä, Risto Kosonen. Overheating assessment for apartments during average and hot summers in the Nordic climate. Building Research & Information. (2023). <https://doi.org/10.1080/09613218.2023.2253338>

Azin Velashjerdi Farahani, Juha Jokisalo, Natalia Korhonen, Kirsti Jylhä, Risto Kosonen. Simulation analysis of Finnish residential buildings' resilience to hot summers under a changing climate. Journal of Building Engineering. 82 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.108348>

Azin Velashjerdi Farahani, Juha Jokisalo, Natalia Korhonen, Kirsti Jylhä, Risto Kosonen. Hot Summers in Nordic Apartments: Exploring the Correlation between Outdoor Weather Conditions and Indoor Temperature. Buildings 14, 1053. (2024) <https://doi.org/10.3390/buildings14041053>

Risto Kosonen, Jarek Kurnitski, Juha Jokisalo, Simo Kilpeläinen, Azin V Farahani, M Farhan Ejaz, Raimo Simson, Virpi Kollanus, Timo Lanki, Tuija Vasankari, Miia Aro. Ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmien resilienssi lämpöaaltojen ja hengitysinfektioiden suhteen. Valtioneuvoston kanslia. Helsinki. 2023. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-007-3>

Lahdensivu J, Pakkala T, Pikkuvirta J, Räsänen A, Alastalo S, Karvonen A, Täubel M, Pekkanen J, Juntunen M, Velashjerdi Farahani A, Jokisalo J, Kosonen R, Jylhä K, Lanki T, Leino O, Kollanus V. Rakennusten kosteusvauriot ja ylikämpeneminen muuttu-vassa ilmastossa – RAIL. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2023:2. Valtioneuvoston kanslia, Helsinki (2023) <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-278-7>

Kiitoksia!

Tätä tutkimusta ovat rahoittaneet:

Valtioneuvoston kanslia: RAIL ja ILMIRA hankkeet

Suomen Akatemia: HEATCLIM (No. 329306, 329307)

SUREFIT (EU Horizon 2020, No. 894511)

FINEST Twins (EU Horizon 2020, No. 856602)



VALTIONEUVOSTO
STATSRÅDET



SUOMEN AKATEMIA
FINLANDS AKADEMI
ACADEMY OF FINLAND



Aalto University
School of Engineering