Terveellinen ja kestävä energiakorjaus asuinkerrostaloissa

Pitkäaikainen näyttö sisäympäristöstä, energiankulutuksesta ja kosteusturvallisuudesta

Santeri Schroderus, DI, väitöskirjatutkija

Hyvä sisäilma ja rakennusterveys -tutkimusryhmä

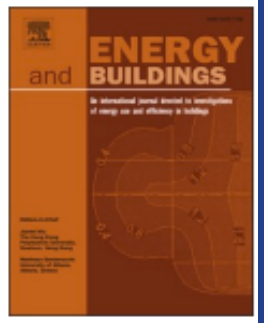
Rakennus -ja yhdyskuntatekniikka, Oulun yliopisto

Energy & Buildings 347 (2025) 116413

Contents lists available at ScienceDirect

Energy & Buildings

journal homepage: www.elsevier.com/locate/enb



Impacts of building energy retrofits on energy consumption, indoor environment, and hygrothermal performance in future climate scenarios

Santeri Schroderus [a,*], Pentti Kuurola [a], Minna Kempe [a], Filip Fedorik [a], Virpi Leivo [b], Ulla Haverinen-Shaughnessy [a,b]

[a] University of Oulu 90014 Oulu, Finland
[b] University of Tampere 33014 Tampere, Finland

Avoimesti saatavilla: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116413

Kilpailuehdotuksen tavoite

Osoittaa, miten energiakorjaus voidaan toteuttaa niin, että se samanaikaisesti:

- Parantaa **koettua** ja **mitattua** sisäympäristöä
- Vähentää **energiankulutusta** ja käytönaikaisia **päästöjä**
- Säilyttää ulkovaipan **kosteusturvallisuuden** myös tulevaisuuden projisoidussa ilmastossa

Näyttö: ennen korjausta → n. 1 v jälkeen → n. 7 v jälkeen + validoidut simuloinnit.

Miksi ratkaisu on ajankohtainen?

- n. **75%** suomen rakennuskannasta rakennettu ennen vuotta 1990[1]
- Rakennuskanta uudistuu hitaasti
- n. **90%** nykyisistä rakennuksista käytössä 2050[2].
- Rakennusten energiakorjaukset ovat **käytännöllisin tapa** pienentää rakennusten energiankäyttöä ja siihen liittyviä CO_2-päästöjä[2].
- Kestävä korjaus ei saa heikentää sisäympäristöä tai lisätä kosteus- ja homevaurioiden riskiä.
- Suomen energian tuotannon ominaishiilidioksidipäästöt 2023[3]:

Sähkö 38 g CO_2/kWh	Kaukolämpö 110 g CO_2/kWh

[1]F. Filippidou, J.P. Jim´enez-Navarro, Achieving the cost-effective energy transformation of Europe's buildings (2019). https://dx.doi.org/10.2760/278207.

[2]European Commission, A renovation wave for Europe: Greening our buildings, creating jobs, improving lives (COM(2020) 662 final). Brussels, Belgium, (2020). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52020DC0662.

[3]Statistics Finland, Energy statistics yearbook 2024. https://pxhopea2.stat.fi/sahko iset_julkaisut/energia2024/html/suom001

Tutkimusnäyttö – pitkäaikainen seuranta

- Lähtöaineisto: 1960–1980-luvuilla rakennettuja suomalaisia asuinkerrostaloja
- Alkuperäinen INSULAtE-aineisto: 45 rakennusta / 240 asuntoa.
- Tässä tutkimuksessa pitkäaikaisseuranta 13 rakennuksessa.
- Asukaskokemuksia ja mitattuja sisäolosuhteita tarkasteltiin rinnakkain.

Keskeinen vahvuus: vaikutuksia arvioitiin vielä noin 7 vuotta energiakorjausten jälkeen.

Menetelmät: koettu terveellisyys

- Asukkaiden täyttämä **asumisterveyskysely**
- 49 kysymystä liittyen rakennukseen ja asuinympäristöön:
  - fyysiset, biologiset ja kemialliset olosuhteet
  - hygienia, asukkaiden käyttäytyminen
  - terveys ja hyvinvointi
  - taustatiedot
- Tulokset analysoitiin ristiintaulukoimalla sekä laskemalla jatkuville muuttujille keskiarvot ja keskihajonnat

Menetelmät: mitattu sisäympäristö

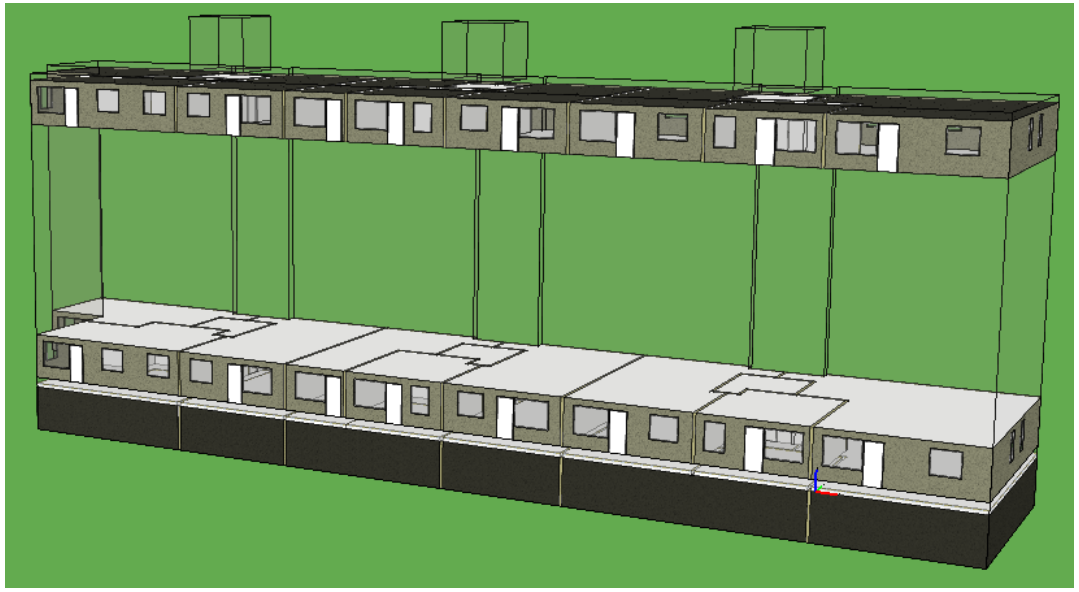
- **Mittaukset** tehtiin alkuperäisen INSULAtE protokollan mukaisesti
- 47 asuntoa
- Sisäilman T, RH, CO_2-pitoisuus ja paine-ero
- Miran DLS olosuhdevalvontajärjestelmä
- Lähettimet samoissa paikoissa



Menetelmät: energia ja tulevaisuuden ilmasto

- IDA ICE (IDA Indoor Climate and Energy) -monivyöhyke simulointiohjelma
- Mallit **ennen** ja **jälkeen** energiaparannuksia
- Validoitiin **monitoroituun** ostoenergiankulutukseen
  - RCP8.5 2050 ja 2080 ilmastoskenaariot
  - Lisäeristyksen vaikutukset:
    - Ulkoseinä ja yläpohja eri eristepaksuuksilla





Case-rakennuksen energiaparannukset

Energiaparannus:	Ennen	Jälkeen
Uudet ikkunat	U = 2.1 W/m²K, g=0.55	U = 1.0, g=0.55
Uudet ulko-ovet	U = 1.4 W/m²K	U = 1.0 W/m²K
*Sisäpuolinen lisäeristys (50, 100, 150 mm)**	U = 0.35 W/m²K	U = 0.25, 0.18 & 0.15 W/m²K
*Ulkopuolinen lisäeristys (100, 150 mm)**	U = 0.35 W/m²K	U = 0.18 & 0.15 W/m²K
Poistoilmalämpöpumppu	–	60 kW, SCOP 3.6
Aurinkokeräimet katolla	–	10 m², etelään suunnattuna 60°
Keskuslämmitys	–	Energiatehokkaampi
Ilmanvaihtokone	Ei lämmöntalteenottoa	Poistoilman lämmön talteenotto
LED-valaistus portaikkoon liiketunnistimella	–	Kyllä
Ilmatiiviys [h^{-1}]	1.9	0.9
Ilmanvaihtuvuus [1/h]	0.45	0.42
Ilmavirta [$dm^3/s \cdot m^2$]	0.31	0.29

Kosteusturvallisuus ratkaisee korjaustavan

WUFI-simuloinnit: nykyilmasto + RCP8.5 2050/2080

ULKOPUOLINEN LISÄERISTYS

- 100–150 mm ratkaisut säilyivät kosteusturvallisina myös tulevaisuuden ilmastossa.
- Homeindeksi pysyi alle kriittisen rajan (M < 1).
- Alkuperäinen betonisandwich-rakenne lämpenee ja kuivuu paremmin.

SISÄPUOLINEN LISÄERISTYS

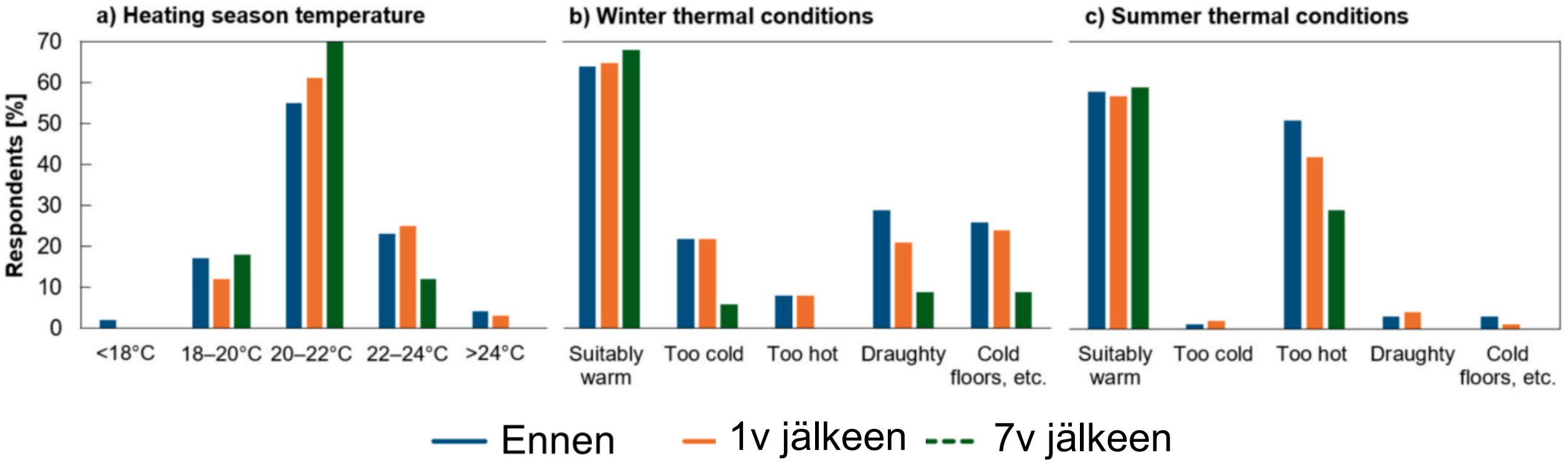
- 50 mm oli vielä mahdollinen noin 2050 asti; 100–150 mm ei ollut riittävän turvallinen.
- RCP8.5 2080: mikään tarkasteltu sisäpuolinen ratkaisu **ei täyttänyt** homekriteeriä.

Terveellisyys: vaikutukset säilyivät pitkällä aikavälillä

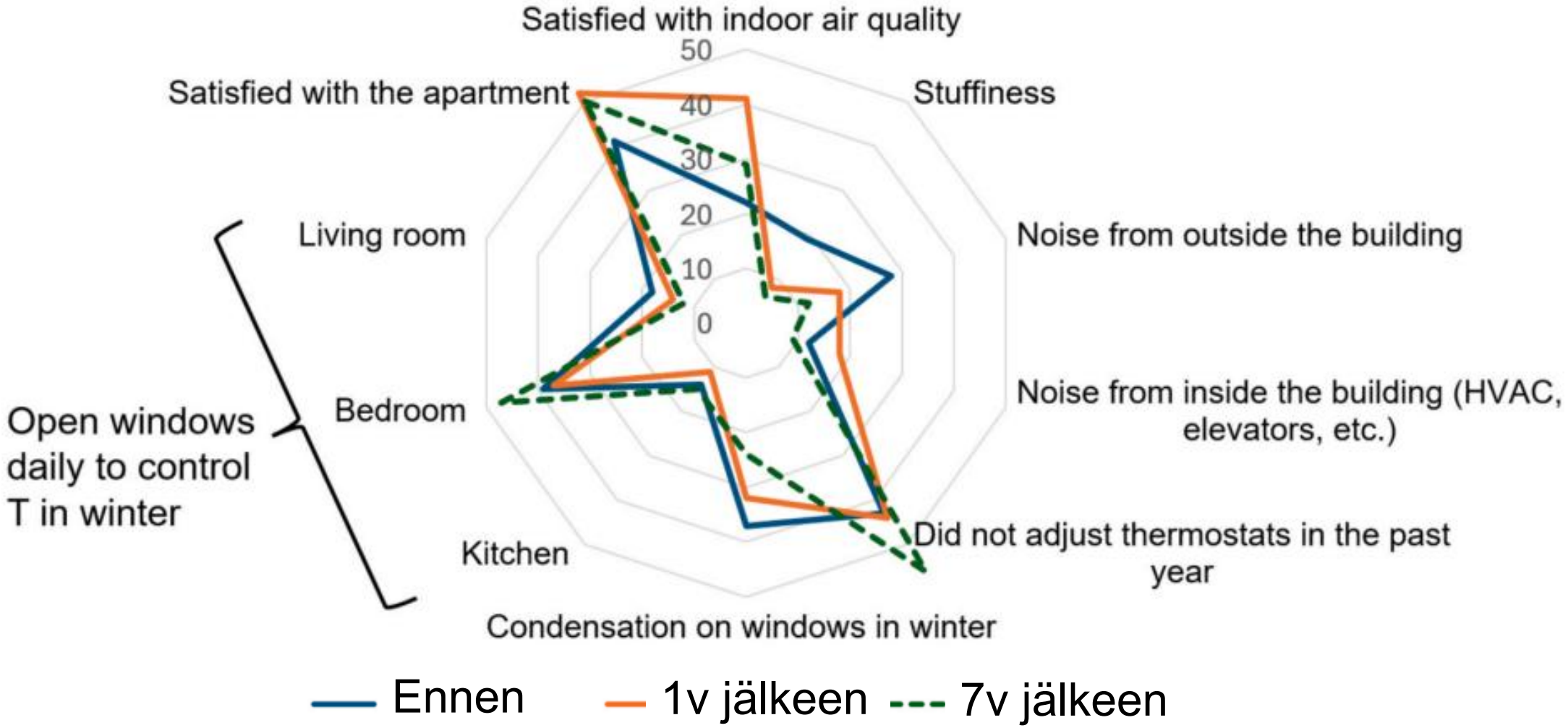
- Tulokset 34 asunnosta
- Asukkaat raportoivat hiukan alempia sisälämpötiloja lämmityskaudella, mittauksissa eroja ei havaittu
- Kosteuden tiivistyminen ikkunoihin, tunkkainen sisäilma sekä melu vähentyneet
- Asuntoon tyytyväisten osuus energiaparannusten jälkeen kasvanut, mutta sisäilman laatuun tyytyväisyys palautui noin energiaparannuksia edeltävälle tasolle
- **Negatiivia vaikutuksia ei havaittu**

Terveellisyys: vaikutukset säilyivät pitkällä aikavälillä

Lämpöviihtyvyys



Terveellisyys: vaikutukset säilyivät pitkällä aikavälillä



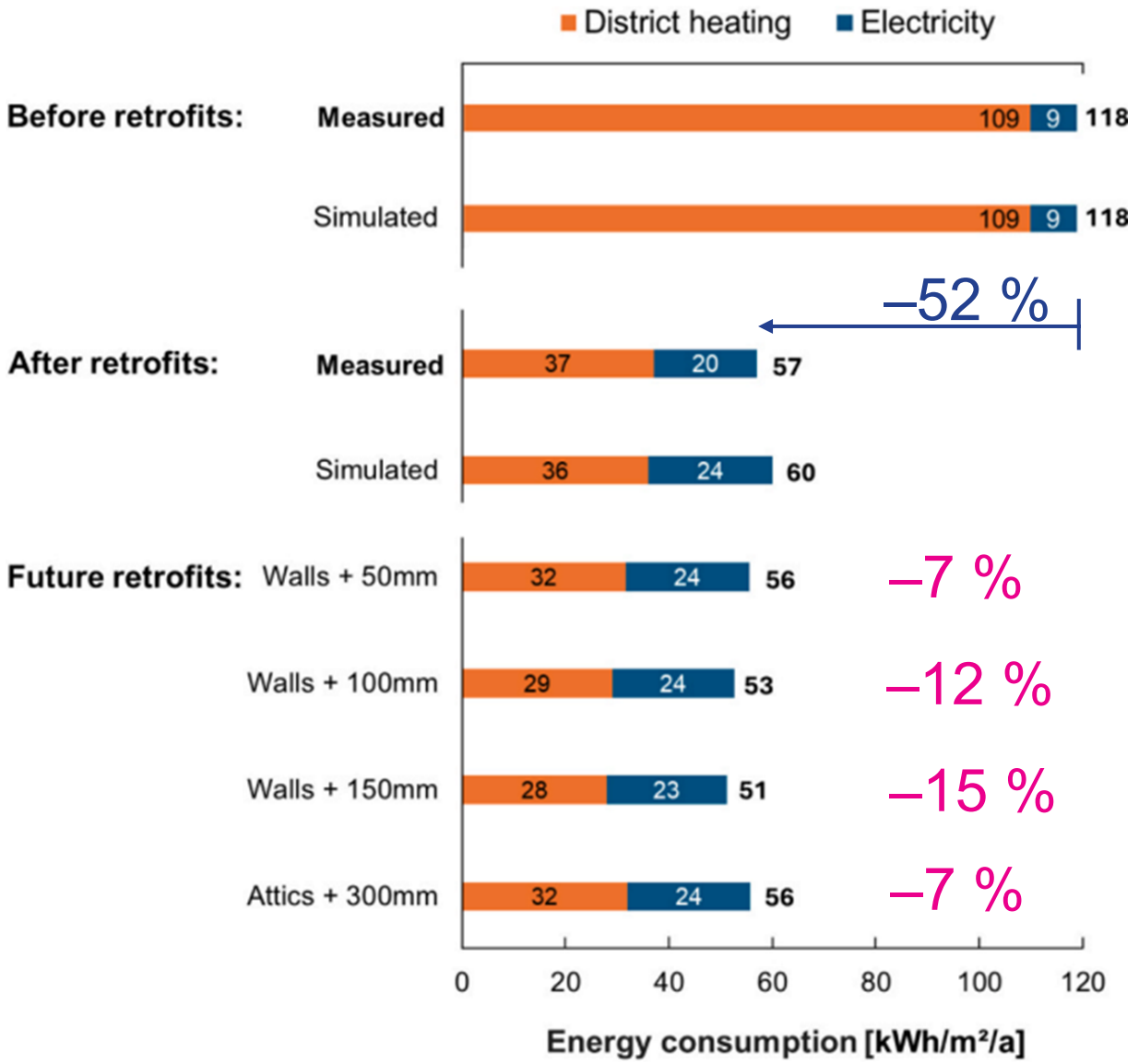
Kestävyys: energiankulutus pieneni merkittävästi

Energiakorjausten ansiosta:

- Kaukolämmön kulutus –66 %
- Kokonaisostoenergian kulutus –52 %

Huom. eristepaksuuden kasvattaminen ei lineaarisesti lisää energiasäästöjä!

$$U = \frac{1}{R}$$



Ilmastokestävyys: lämmitys vähenee, jäähdytystarve kasvaa

Table 5
Simulated total purchased energy and space heating and cooling demands for the case building under current local (Tampere), current (design year), and projected climate conditions (RCP 8.5 design years).

	Climate	Total purchased energy [kWh/m^2/a]	Space heating demand [kWh/m^2/a]	Space cooling demand [kWh/m^2/a]
Before retrofits	Current local conditions	118	56	1.0
	Current conditions	112	51	1.1
	RCP8.5 2050	101	40	1.8
	RCP8.5 2080	87	28	3.4
After retrofits	Current local conditions	60	42	0.4
	Current conditions	57	38	0.5
	RCP8.5 2050	49	30	0.8
	RCP8.5 2080	41	20	1.2
Future retrofits: Walls + 150 mm	Current local conditions	51	32	0.6
	Current conditions	49	29	0.7
	RCP8.5 2050	43	23	1.0
	RCP8.5 2080	37	14	1.6

Miksi ehdotus on terveellinen ja kestävä?

TERVEELLISYYS

- **Lämpöviihtyvyys** parani; veto, kylmät pinnat ja ikkunakondenssi vähenivät.
- **Myönteiset vaikutukset** näkyivät vielä noin 7 vuoden seurannassa.

KESTÄVYYS

- Case-rakennuksen ostettu energia **−52 %** ja kaukolämpö **−66 %**.
- 150 mm ulkopuolinen lisäeristys: noin **15 % lisäsäästö**.
- **Ulkopuolinen lisäeristys** oli kosteusturvallisin myös tulevaisuuden ilmastossa.

KÄYTÄNNÖN VIESTI: energia, sisäympäristö ja kosteusturvallisuus suunnitellaan **yhtenä kokonaisuutena**.



Kiitos!

Santeri.Schroderus@oulu.fi