

# Eluruumide sisekliima muutusest Soome ja Leedu korterelamute renoveerimise näitel

Mihkel Kiviste

Ehitusmaterjalide dotsent, PhD

Eesti Maaülikool

Maaehituse ja veemajanduse õppetool

Teadmispõhine ehitus 2018. 26.04.2018



**Eesti Maaülikool**  
Estonian University of Life Sciences

[www.emu.ee](http://www.emu.ee)



# INSULAtE: Improving energy efficiency of multi-family buildings, impacts on indoor environmental quality and health

[http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n\\_proj\\_id=3725](http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=3725)

- EL Life+ programmist kaasfinantseeritav 5 aastat kestev (2010–2015) uurimusprojekt kolme partneriga: National Institute for Health and Welfare (Rahvuslik tervise ja heaolu instituut, Kuopio, Soome), Kaunase Tehnikaülikool (Leedu), Tampere Tehnikaülikool (Soome).
- Hoone, sisekeskkonna kvaliteedi (mõõtmised) ja elanike terviseuuringud (küsimustiku vormis) Soomes ja Leedus.
- INSULAtE-projekti eesmärk oli demonstreerida suurenenenud energiatõhususe (renoveerimise) mõju eluhoonete sisekliimale ja teha hindamisprotokoll.



TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Autoriõigused: Mihkel Kiviste 2018



# Uuritavad korterelamud Soomes ja Leedus



Korterelamu enne ja pärast renoveerimist.

**Soome:** Mõõtmisi/küsitlusi tehti 46 korterelamus kokku 241 korteris. Enamuses korterelamutes oli mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon, vähem kui 10% hoonetes oli loomulik ventilatsioon.

**Leedu:** Mõõtmised/küsitlused 20 korterelamu 96 korteris. Enamuses korterelamutes oli loomulik ventilatsioon.



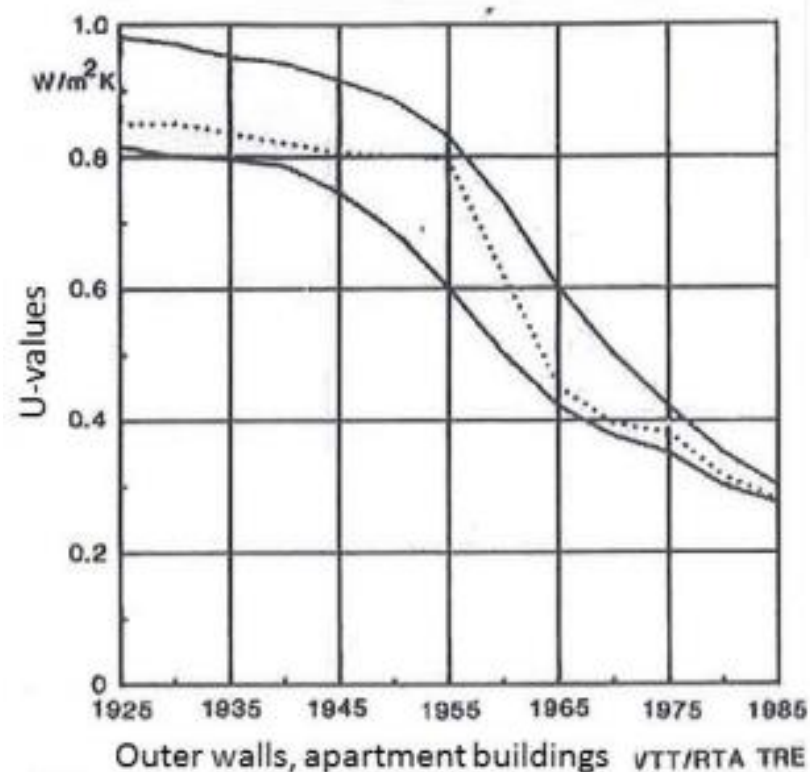
Uuritud korterelamute asukoht ja region.

# Mõõdeti järgnevaid parameetreid siseõhus:

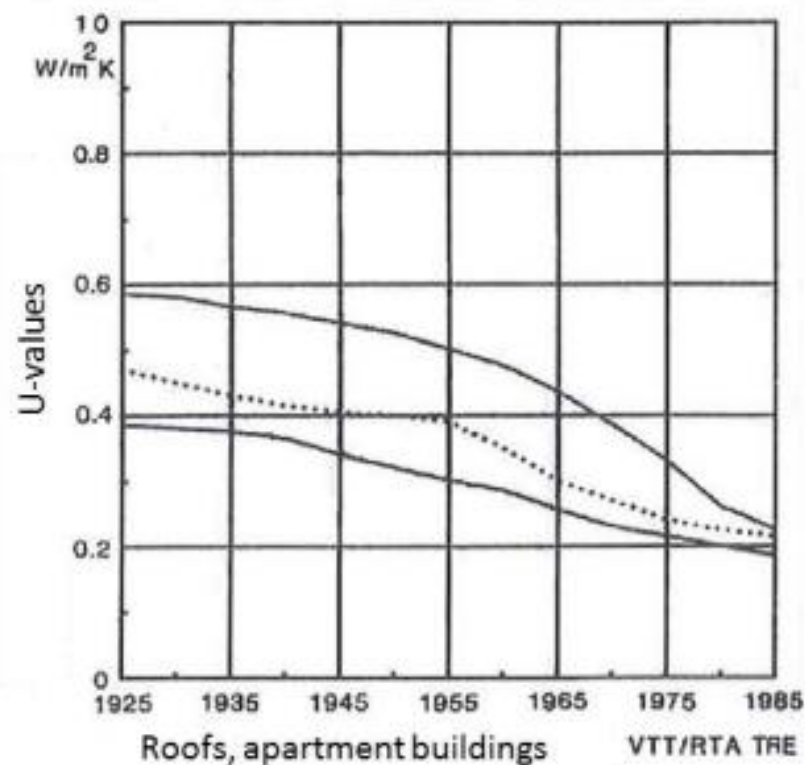
- Temperatuur (T) ja suhteline õhuniiskus (RH)
- Õhuvahetus (ACR) ventilatsioonikanalitest
- Süsihappegaasi ( $\text{CO}_2$ ) ja vingugaasi (CO) sisaldus
- Peenosakeste ( $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$ ) sisaldus
- Lämmastikdioksiidi ( $\text{NO}_2$ ) sisaldus
- Lenduvaid orgaanilisi ühendeid (VOC)
- Formaldehüüdi ( $\text{CH}_2\text{O}$ )
- Radooni
- Mikroobe ja kiudusid settinud tolmus



# Taust: Nõuded ehitustarindite energiatõhususele



Kortermajade välisseinad



Kortermajade katused

**Soome** ehitustarindite U-arvud erinevatel ajaperioodidel.  
Miinimum- ja maksimumväärtused pidevjoonega; keskvaärtused punktiirjoonega.

# Soome

## **Tarindite U-arvud enne renoveerimist:**

välissein  $U = 0.40 \dots 0.28 \text{ W (m}^{-2} \text{ K}^{-1})$ ,

katus  $0.40 \dots 0.36 \text{ W (m}^{-2} \text{ K}^{-1})$

põrand  $0.40 \dots 0.29 \text{ W (m}^{-2} \text{ K}^{-1})$

ja aken  $2.1 \text{ W (m}^{-2} \text{ K}^{-1})$ .

## **Tarindite U-arvud peale renoveerimist:**

Aknad  $U = 1.0 \text{ W (m}^{-2} \text{ K}^{-1})$

# Leedu

## **Tarindite U-arvud enne renoveerimist:**

välissein  $U = 1.27 \dots 0.88 \text{ W (m}^{-2} \text{ K}^{-1})$

katus  $0.85 \text{ W (m}^{-2} \text{ K}^{-1})$ ,

ja põrand  $0.71 \text{ W (m}^{-2} \text{ K}^{-1})$ .

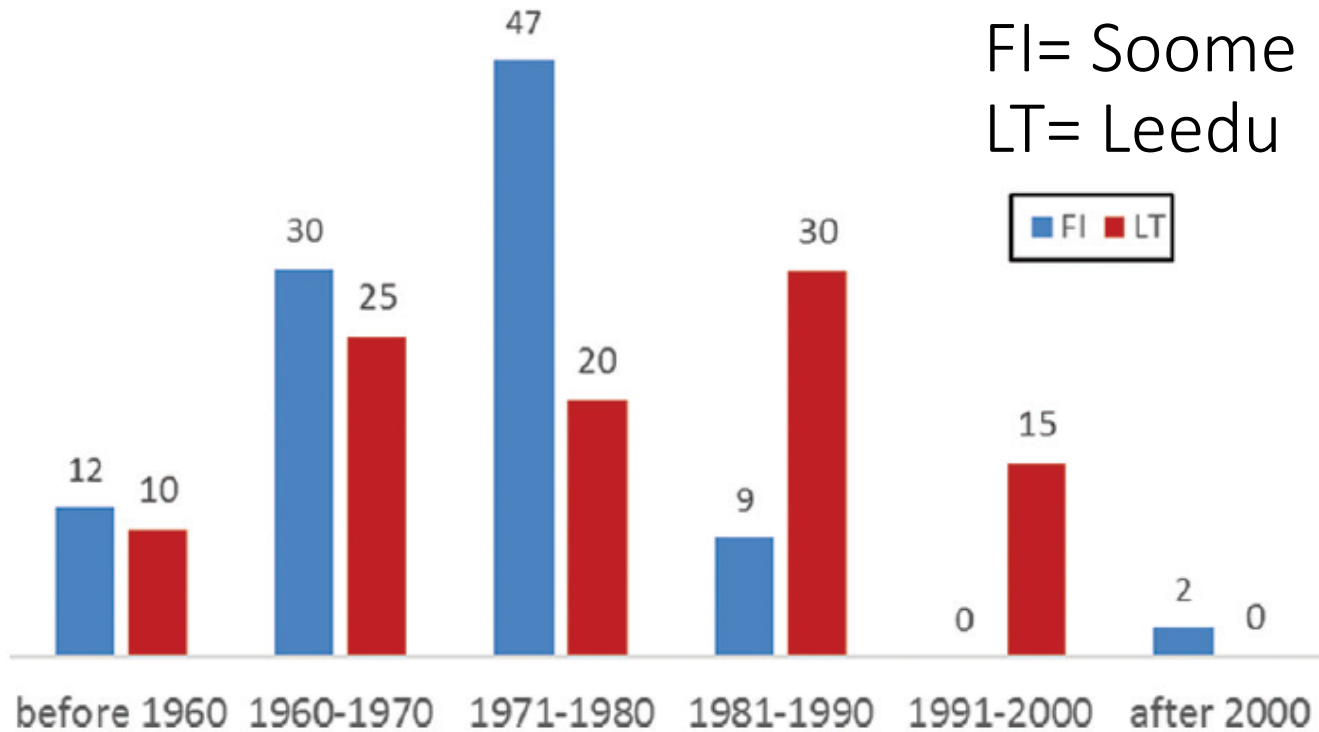
## **Tarindite U-arvud peale renoveerimist:**

Välisseinad  $U = 0.20 \text{ W (m}^{-2} \text{ K}^{-1})$

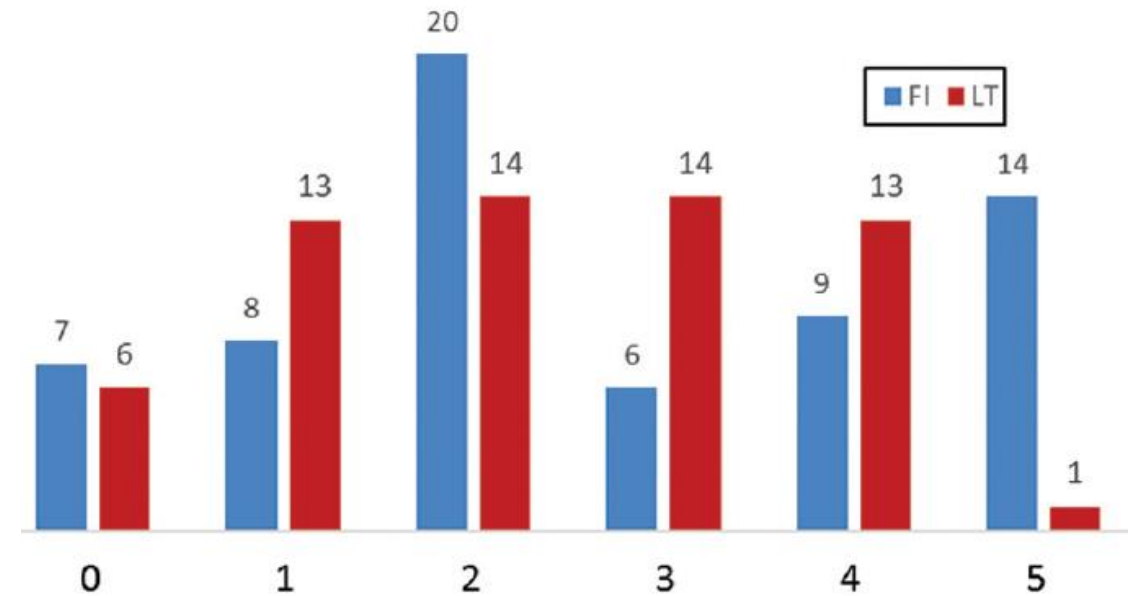
Katused  $U = 0.16 \text{ W (m}^{-2} \text{ K}^{-1})$

Aknad  $U = 1.4 \text{ W (m}^{-2} \text{ K}^{-1})$ .

# Ehitusaasta



# Mida renoveeriti ?

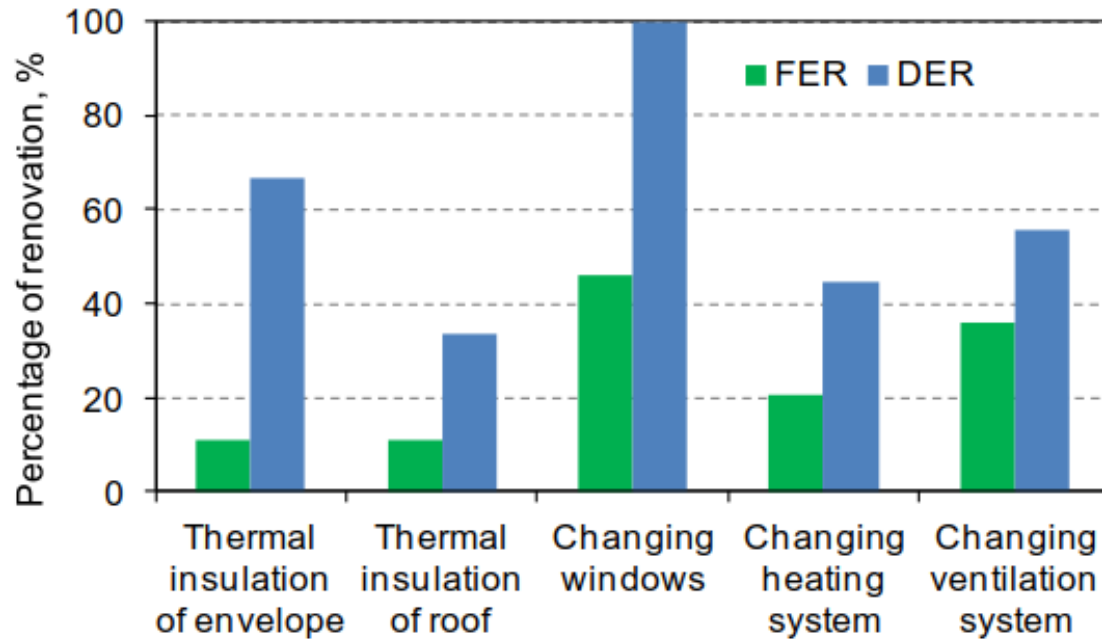


- 0 Hoonet ei renoveeritud (kontrollhoone)
- 1 Piirete soojustamine
- 2 Akende vahetus
- 3 Katuse soojustamine
- 4 Küttesüsteemi muutmine
- 5 Ventilatsioonisüsteemi muutmine

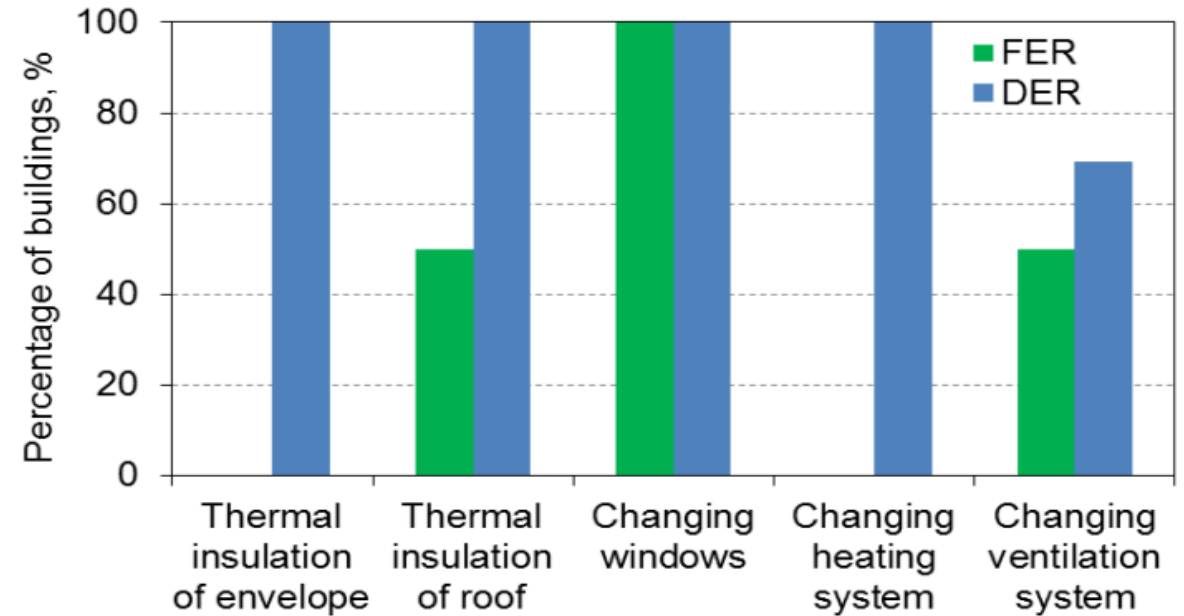
# Mida renoveeriti ?

## Soome

## Leedu

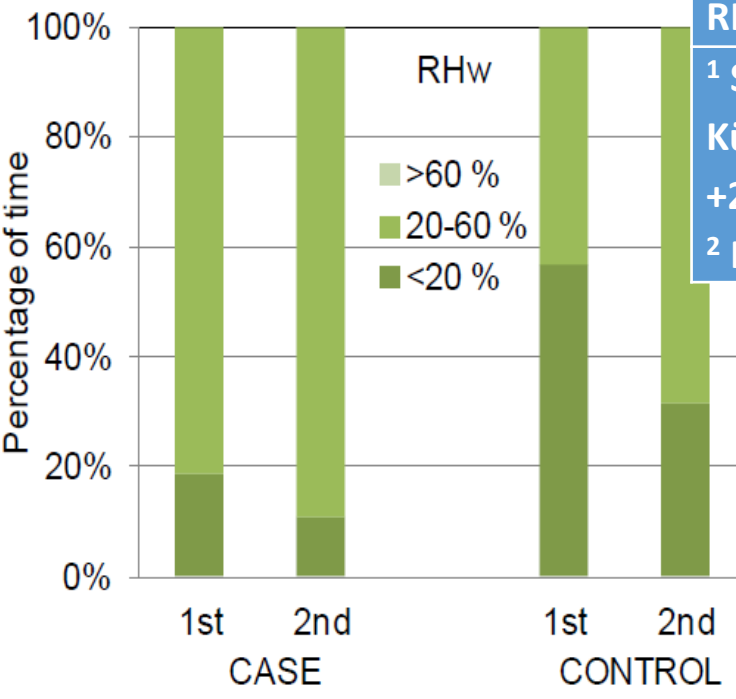
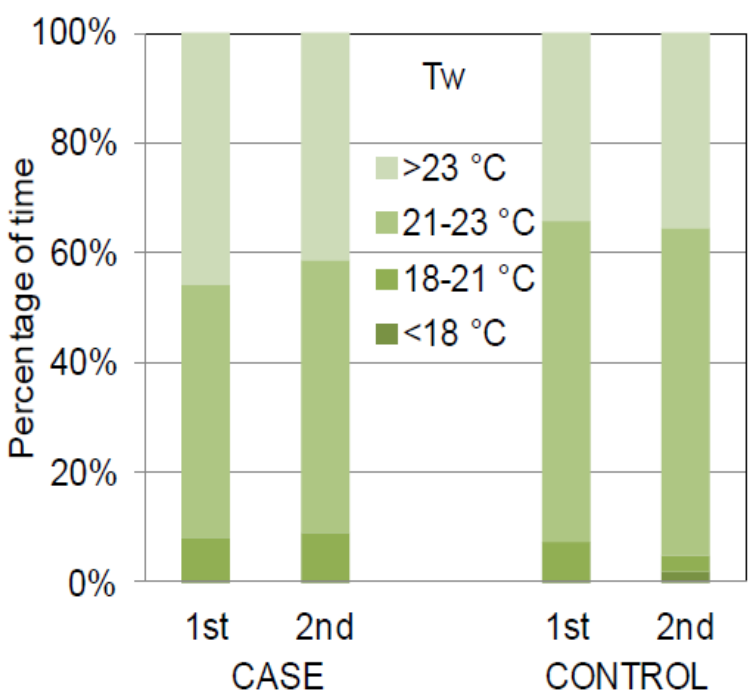
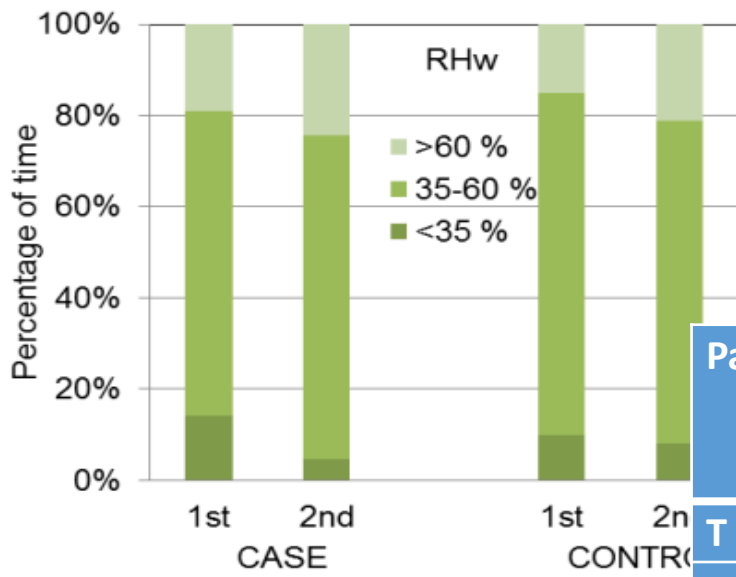
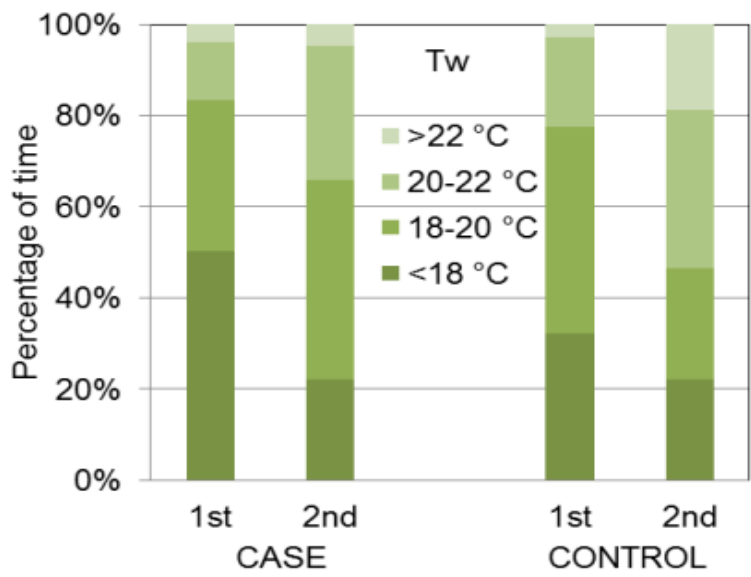


**Soome. FER: Põhiliselt fokuseeritud energiarenovatsioon, N=29; DER: „sügav“ energiarenovatsioon, N=9.** Mõnedes hoonetes oli „sügav“ renoveerimine tehtud juba enne uuringuid.



**Leedu. FER: fokuseeritud energiarenovatsioon, N=2; DER: Põhiliselt „sügav“ energiarenovatsioon, N=13** (87% uuritavates hoonetest). Ventilatsioonisüsteemi harilikult ei renoveeritud.

# Mõõtmistulemused: Milline oli ja kui kaua esines erinev temperatuur (T) ja õhuniiskus (RH)?



**Leedu:** Enne ren. keskmine **T=19,5°C** ja **RH 43,4%**.  
Peale ren. **T=20,4 °C** ja **RH=48,7 %**.

| Parameeter                                                                                                                  | Mõõ<br>tühi<br>k | Soome<br>[14][15][16] | Leedu [17][18]     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------|--------------------|
| T                                                                                                                           | °C               | 18-26 <sup>1</sup>    | 18-22              |
| RH                                                                                                                          | %                | 20-60                 | 35-60 <sup>2</sup> |
| <sup>1</sup> Siseõhu temperatuuri “Hea tase” on +21 °C.<br>Kütteperioodi ajal ei tohi sisetemperatuur ületada +23...+24 °C. |                  |                       |                    |
| <sup>2</sup> RH väärtused kehtivad ainult kütteperioodi ajal.                                                               |                  |                       |                    |

**Soome:** Enne ren. keskmine **T=22,7°C** ja **RH 27,0%**.  
Peale ren. **T=22,6 °C** ja **RH=29,0 %**.

Süsihappegaasi sisaldus Leedu korterelamute siseõhus

| CO2,     | CASE_Natural |      | CASE_Mixed |      | CONTROL_Natural |      | CONTROL_Mixed |      |
|----------|--------------|------|------------|------|-----------------|------|---------------|------|
| ppm      | 1st          | 2nd  | 1st        | 2nd  | 1st             | 2nd  | 1st           | 2nd  |
| N        | 39           | 30   | 29         | 27   | 10              | 4    | 12            | 4    |
| Keskm.   | 963          | 1064 | 1042       | 1111 | 1098            | 1104 | 1016          | 768  |
| St.hälve | 410          | 510  | 406        | 430  | 380             | 187  | 294           | 373  |
| Mediaa   | n            | 888  | 979        | 950  | 1031            | 1202 | 1146          | 908  |
| 5th      |              | 482  | 517        | 591  | 613             | 527  | 916           | 682  |
| 95th     |              | 1713 | 1709       | 1816 | 1914            | 1472 | 1233          | 1489 |

**Leedu:** Enamuses hoonetes oli loomulik ventilatsioon, mõningates hoonetes mehaaniline väljatõmme köögist ja vannitoast.

**Renoveerimisega ei muudetud ventilatsiooni. Keskmine põrandapind inimese kohta 22,3 m2 (vahemik 12–83 m2 ).**

| Parameeter                                   | Mõõtühik | Soome [14][15][16]           | Leedu [17][18] |
|----------------------------------------------|----------|------------------------------|----------------|
| CO <sub>2</sub>                              | ppm      | 1150 > välisõhk <sup>3</sup> | 1200           |
| 3 “Piisav” CO <sub>2</sub> tase on 1200 ppm. |          |                              |                |

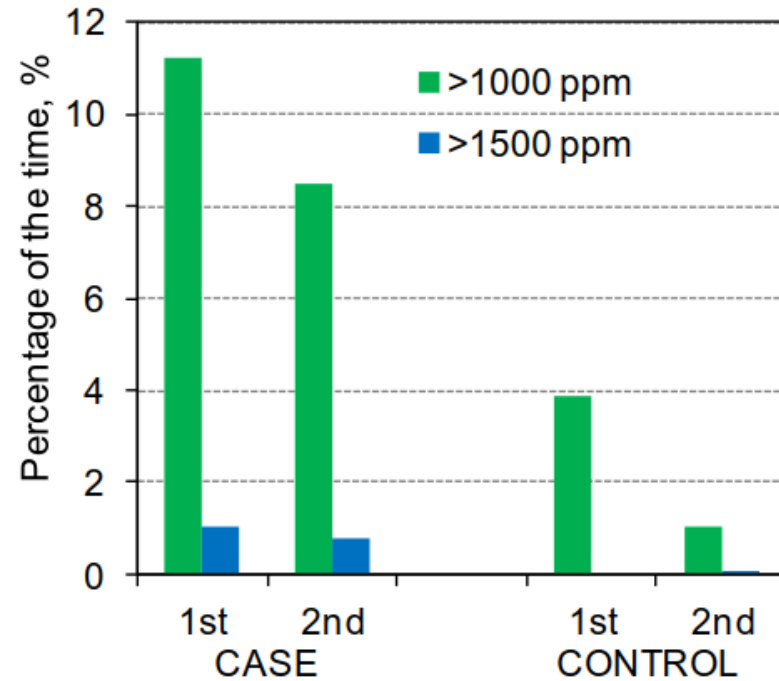
Süsihappegaasi sisaldus Soome korterelamute siseõhus

| CO <sub>2</sub> , | CASE_Mechanical |      | CASE_Natural |     | CONTROL_Mechanical |     |
|-------------------|-----------------|------|--------------|-----|--------------------|-----|
| ppm               | 1st             | 2nd  | 1st          | 2nd | 1st                | 2nd |
| N                 | 171             | 131  | 15           | 10  | 32                 | 30  |
| Keskm.            | 750             | 715  | 740          | 640 | 628                | 625 |
| St.hälve          | 256             | 243  | 145          | 120 | 107                | 121 |
| Mediaa            | n               | 689  | 654          | 679 | 647                | 629 |
| 5th               |                 | 492  | 455          | 599 | 483                | 481 |
| 95th              |                 | 1300 | 1174         | 996 | 815                | 819 |

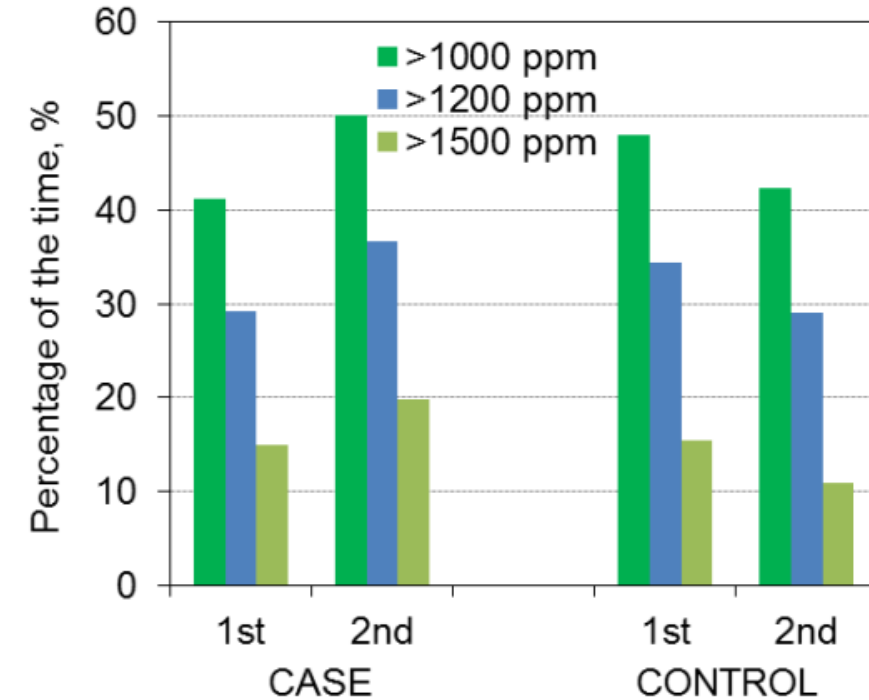
**Soome:** Enamuses korterelamutes oli mehaaniline (väljatõmbe) ventilatsioon, vähem kui 10% hoonetes oli loomulik ventilatsioon. **Keskmine põrandapind inimese kohta 41,7 m2 (vahemik 17.7–113 m2).**

[14] “Degree 545/2015, concerning health conditions of apartments and other residence spaces and competence requirements of external experts,” 2015.  
[15] “Finnish Housing Health Guide” (Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö, ‘Asumisterveysohje’, Oppaita 2003:1).,” 2003.  
[16] “RakMk D2. National Building Code of Finland. Indoor Climate and Ventilation of Buildings. Regulations and Guidelines. (in Finnish),” Finland, 2010.  
[17] “Lietuvos higienos norma HN 35:2007, Didžiausia leidžiama cheminių medžiagų (teršalų) koncentracija gyvenamosios aplinkos ore,” 2007.  
[18] “Lietuvos higienos norma HN 42:2009, Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas,” 2009.

# Kui kaua oli kõrge CO<sub>2</sub> sisaldus ?



Soome: Aeg, mil CO<sub>2</sub> sisaldus ületas 1000ppm ja 1500ppm taset.



Leedu: Aeg, mil CO<sub>2</sub> sisaldus ületas 1000ppm, 1200ppm ja 1500ppm taset.

| Parameeter                                   | Mõõ-<br>tühik | Soome [14][15][16]           | Leedu [17][18] |
|----------------------------------------------|---------------|------------------------------|----------------|
| CO <sub>2</sub>                              | ppm           | 1150 > välisõhk <sup>3</sup> | 1200           |
| 3 "Piisav" CO <sub>2</sub> tase on 1200 ppm. |               |                              |                |

This report consists of results from the assessment of indoor environmental quality (IEQ) parameters conducted using a protocol developed in the INSULATE –project. For more information on how to interpret the results, visit [www.insulateproject.eu](http://www.insulateproject.eu).

# Hinnangu- protokoll

| Parameter<br>[unit]                    | Results         |                | Interpretation based on housing health guidelines (2003), issued by the Finnish Ministry of Social Affairs and Health ( <a href="http://pre20090115.stm.fi/pr1063357766490/passthru.pdf">http://pre20090115.stm.fi/pr1063357766490/passthru.pdf</a> ) |
|----------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                        | Before retrofit | After retrofit |                                                                                                                                                                                                                                                       |
| T [°C]                                 | 24              | 24             | Good temperature (T) is 21 °C and satisfactory T is 18 °C. When the heating is on, the indoor T should not exceed 23–24 °C.                                                                                                                           |
| RH [%]                                 | 32              | 32             | Relative humidity (RH) should be about 20–60%.                                                                                                                                                                                                        |
| TI                                     | 60              | 71             | Thermal index (TI) is adequate at ≥61 and good at ≥65.                                                                                                                                                                                                |
| CO <sub>2</sub> [ppm]                  | 1543            | 1246           | Ventilation is not in compliance with the Finnish Health Protection Act if carbon dioxide (CO <sub>2</sub> ) concentration exceeds 1500 ppm. Adequate CO <sub>2</sub> concentration is about 1200 ppm.                                                |
| CO [ppm]                               | 0               | 0              | Carbon monoxide (CO) concentration should not exceed 8 mg/m <sup>3</sup> (6.9 ppm).                                                                                                                                                                   |
| CH <sub>2</sub> O [µg/m <sup>3</sup> ] | 22              | 21             | Indoor formaldehyde (CH <sub>2</sub> O) concentration should not exceed 100 µg/m <sup>3</sup> .                                                                                                                                                       |
| Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]             | 100             | 70             | Annual mean radon concentration should not exceed 400 Bq/m <sup>3</sup> .                                                                                                                                                                             |

| Colour codes | T [°C]         | RH [%] | TI   | CO <sub>2</sub> [ppm] | CO [ppm] | CH <sub>2</sub> O [µg/m <sup>3</sup> ] | Radon [Bq/m <sup>3</sup> ] |
|--------------|----------------|--------|------|-----------------------|----------|----------------------------------------|----------------------------|
| Good         | 18 ≤ T ≤ 21    | 20–60  | ≥ 65 | < 1 200               |          | < 35                                   | < 200                      |
| Satisfactory | 21 < T ≤ 24    |        | ≥ 61 | 1 200–1 500           |          | < 100                                  | < 400                      |
| Poor         | T < 18, T > 24 |        |      | > 1 500               | > 6.9    |                                        |                            |

# Elanike rahulolu: Mida inimesed ise tunnevad ?

## Küsimustiku kokkuvõte

| Assessment                         | Case                      |                           | Control      |                          |
|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|--------------------------|
|                                    | 1st <sup>a</sup><br>% (N) | 2nd <sup>b</sup><br>% (N) | 1st<br>% (N) | 2 <sup>nd</sup><br>% (N) |
| <u>Finland</u>                     |                           |                           |              |                          |
| Satisfied with the dwelling        | 41 (82)                   | 52 (82)                   | 58 (18)      | 46 ( 5)                  |
| Satisfied with indoor air quality  | 22 (42)                   | 41* (65)                  | 45 (14)      | 36 ( 4)                  |
| Suitable indoor temperature        |                           |                           |              |                          |
| In summer                          | 58 (111)                  | 57 (92)                   | 48 (15)      | 73 ( 8)                  |
| In winter                          | 64 (130)                  | 65 (105)                  | 55 (17)      | 55 ( 6)                  |
| Daily noise disturbance related to |                           |                           |              |                          |
| Traffic or industry                | 28 (52)                   | 18* (26)                  | 7 ( 2)       | 18 ( 2)                  |
| Ventilation, plumbing etc.         | 12 (22)                   | 18 (26)                   | 21 ( 6)      | 30 (3)                   |
| <u>Lithuania</u>                   |                           |                           |              |                          |
| Satisfied with the dwelling        | 19 (9)                    | 35 (9)                    | 22 (2)       | -                        |
| Satisfied with indoor air quality  | 20 (9)                    | 33* (9)                   | 13 (1)       | -                        |
| Suitable indoor temperature        |                           |                           |              |                          |
| In summer                          | 45 (23)                   | 56 (15)                   | 44 (4)       | -                        |
| In winter                          | 31 (16)                   | 78* (21)                  | 44 (4)       |                          |
| Daily noise disturbance related to |                           |                           |              |                          |
| Traffic or industry                | 49 (19)                   | 26* ( 6)                  | 57 (4)       |                          |
| Ventilation, plumbing, etc.        | 7 ( 2)                    | 0 ( 0)                    | 20 (1)       | -                        |

<sup>a</sup> before retrofit

<sup>b</sup> after retrofit

\* $p < 0.05$  for the difference between first and second assessments

# Peamised energiarenoveerimise mõõtmistulemused (INSULAtE projekti näitel)

- Leedu korterelamute termilised tingimused paranesid oluliselt, samas suurenes ka õhuniiskus.
- Soome korterelamuse sisetemperatuur ületas kütteperioodi maksimaalset soovitatavat temperatuuri (23°C) umbes 40% ajast nii enne kui pärast renoveerimist. Ka õhuniiskus oli tihti alla soovitusliku soovitulikku miinimumtaset ( $RH < 20\%$ ).
- Siseõhu kvaliteet paranes hoonetes, kus kasutati mehaanilist ventilatsiooni, samas loomuliku ventilatsiooni puhul oli märgata vastupidist trendi.

**Elanike poolt tunnetatud sisekliima võib erineda mõõtmistulemustest.**

## Küsitlustulemus

- Energiarenoveerimine suurendas elanike rahulolu sisekliimaga.

# Täna tähelepanu eest!

Mihkel Kiviste

Ehitusmaterjalide dotsent, PhD

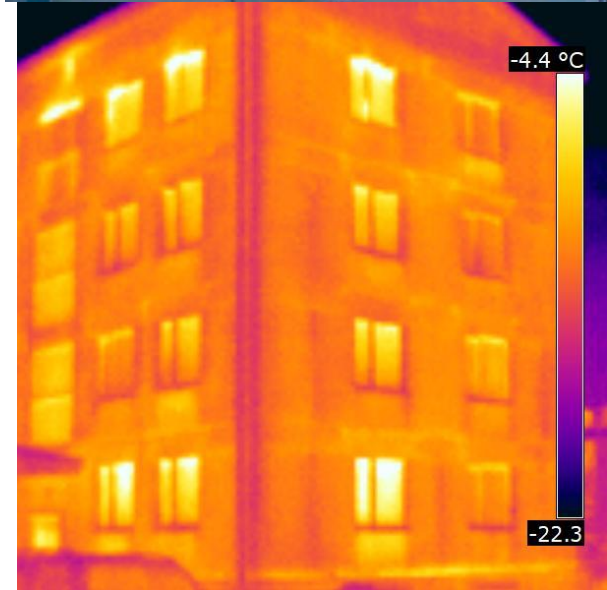
Eesti Maaülikool

Maaehituse ja veemajanduse õppetool

[mihkel.kiviste@emu.ee](mailto:mihkel.kiviste@emu.ee)

Mobiiltel. +372 51 96 9960

Autoriõigused: Mihkel Kiviste 2018



www.emu.ee  
**Eesti Maaülikool**  
Estonian University of Life Sciences