

# Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiakasutus – mida näitavad 2017 valminud uuringu „Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiakasutuse analüüs“ tulemused

**Uuringu teostajad:**

**Targo Kalamees, Anti Hamburg, Alo Mikola**

Liginullenergiahoonete uurimisrühm

**Tallinna Tehnikaülikool**

EESTI KORTERIÜHISTUTE XX FOORUM



# Uuritud hooned

Hoone kood	Hoone asukoht	Korterite arv	Suletud netopindala m <sup>2</sup>	Välisseina soojustus	Ventilatsioon (sp = sissepuhe, vt = väljatõmme)	Akna asukoht seinas (Joonis 5.1)
Rekonstrueerimistöde maksumusest 25% toetust saanud hooned						
1.1	Tartu	27	1 665	Krohvitud soojustus (EPS)	Meh. väljatõmme	Algses asukohas
1.2	Harjumaa	18	1 673	Krohvitud soojustus (EPS)	Meh. väljatõmme	Algses asukohas
1.3	Harjumaa	18	1 592	Krohvitud soojustus (MW)	Meh. väljatõmme	Algses asukohas
Rekonstrueerimistöde maksumusest 40% toetust saanud hooned						
2.1	Tartumaa	12	1 029	Krohvitud soojustus (MW +EPS)	Tsentraalne sp./vt.	Välisseina välispinnas
2.2	Tartumaa	18	1 490	Krohvitud soojustus (MW+EPS)	Tsentraalne sp./vt.	Soojustuse tasapinnas
2.3	Tartumaa	18	1 508	Krohvitud soojustus (EPS)	Tsentraalne sp./vt.	Soojustuse tasapinnas
2.4	Tartumaa	24	1 370	Krohvitud soojustus (EPS)	Tsentraalne sp./vt.	Soojustuse tasapinnas
2.5	Tartumaa	18	1 306	Krohvitud soojustus (MW)	Tsentraalne sp./vt.	Soojustuse tasapinnas
2.6	Tartumaa	18	1 306	Krohvitud soojustus (MW)	Tsentraalne sp./vt.	Soojustuse tasapinnas
2.7	Tartu	18	1 180	Krohvitud soojustus (MW +EPS)	Tsentraalne sp./vt.	Soojustuse tasapinnas
2.8	Tallinn	18	886	Krohvitud soojustus (MW)	Tsentraalne sp./vt.	Soojustuse tasapinnas
2.9	Harjumaa	12	903	Krohvitud soojustus (EPS)	Tsentraalne sp./vt.	Algses asukohas
2.10	Tartu	55	3 378	Krohvitud soojustus (EPS)	Meh. vt. + soojuspump	Välisseina tasapinnas
2.11	Tallinn	32	1 505	Krohvitud soojustus (EPS)	Meh. vt. + soojuspump	Välisseina välispinnas
2.12	Tallinn	50	3 904	Krohvitud soojustus (EPS)	Meh. vt. + soojuspump	Algses asukohas

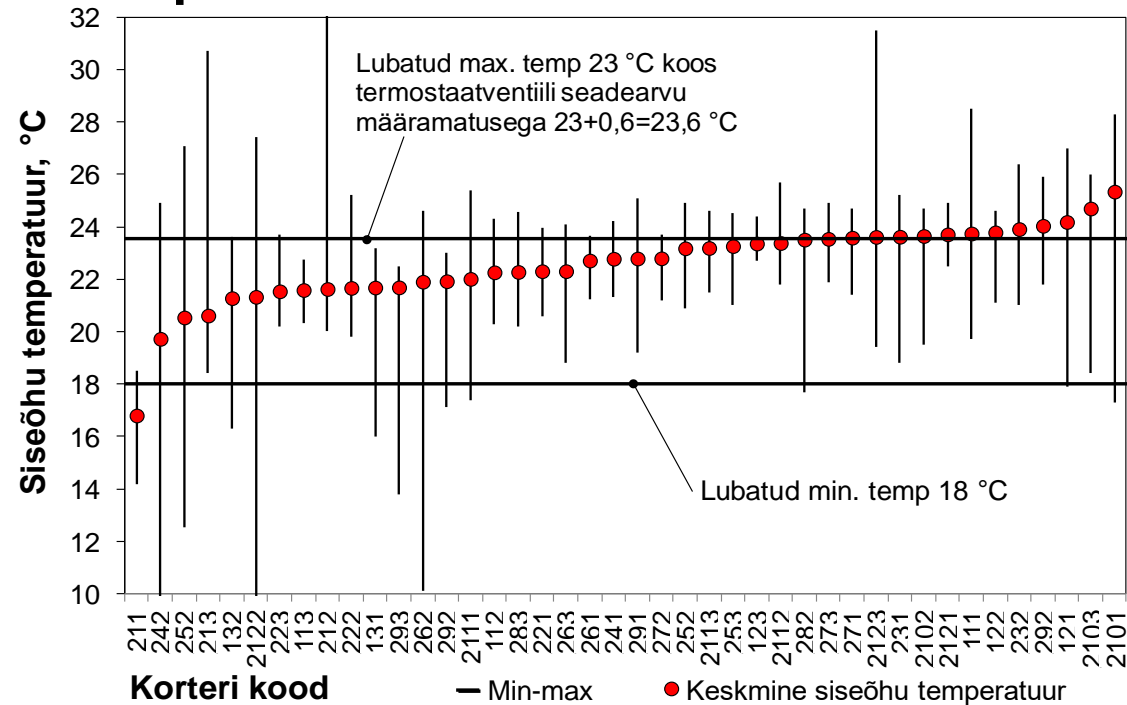


# Teostatud uuringud

- Energiatarbe monitooring (soojus ja elekter)
  - küte,
  - ventilatsiooniõhu soojendamine,
  - tarbevee soojendamine,
  - olmeelekter,
  - kaalutud energiakasutus (enne KEK, projektlahenduse ETA, pärast KEK)
- Sisekliima monitooring talvel
  - temperatuur,
  - suhteline niiskus, niiskuslisa
  - süsihappegaas,
  - ventilatsiooni õhuvooluhulgad,
  - ventilatsioonisüsteemi müratase,
- Tsentraalsete vent. külmumisprobleemide analüüs
- Termograafia abil aken-välissein liitekoha temperatuuriindeks
- Elanike hinnag rekonstrueerimistöode, sisekliima kvaliteedi ja energiatarbe kohta



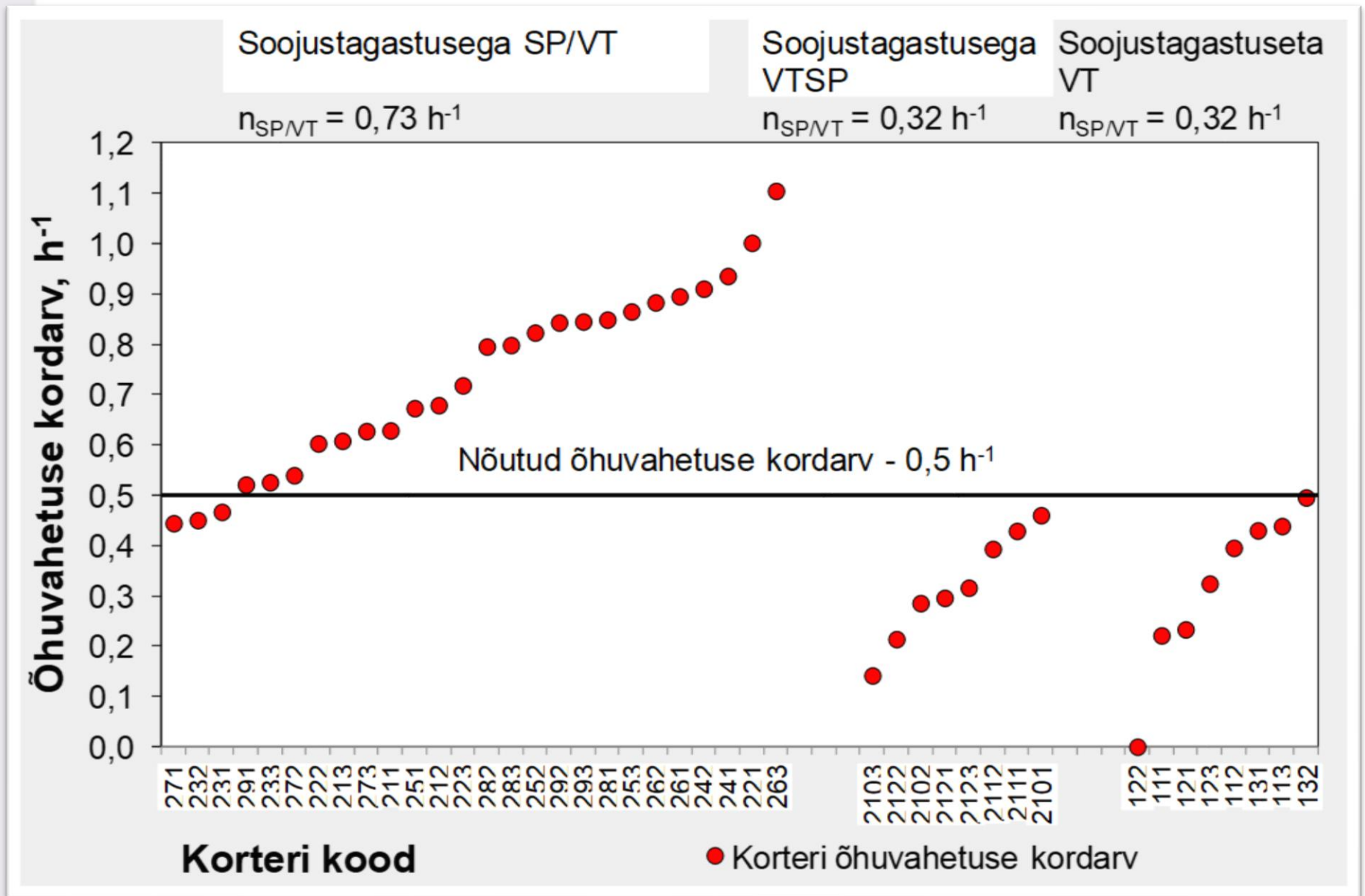
# Siseõhu temperatuur



- Kõigi korterite mõõteperioodi keskmine temperatuur oli 22,6 °C
- Soojustagastusega SP/VT ventilatsioonisüsteemi puhul on kõikide mõõdetud korterite siseõhu temperatuuri keskväärtus 22,3 °C
- Soojustagastusega väljatõmbeõhu soojuspumbaga hoonete keskväärtus on 23,3 °C
- Soojustagastuseta VT süsteemiga hoonete keskmine siseõhu temperatuur on 22,7 °C



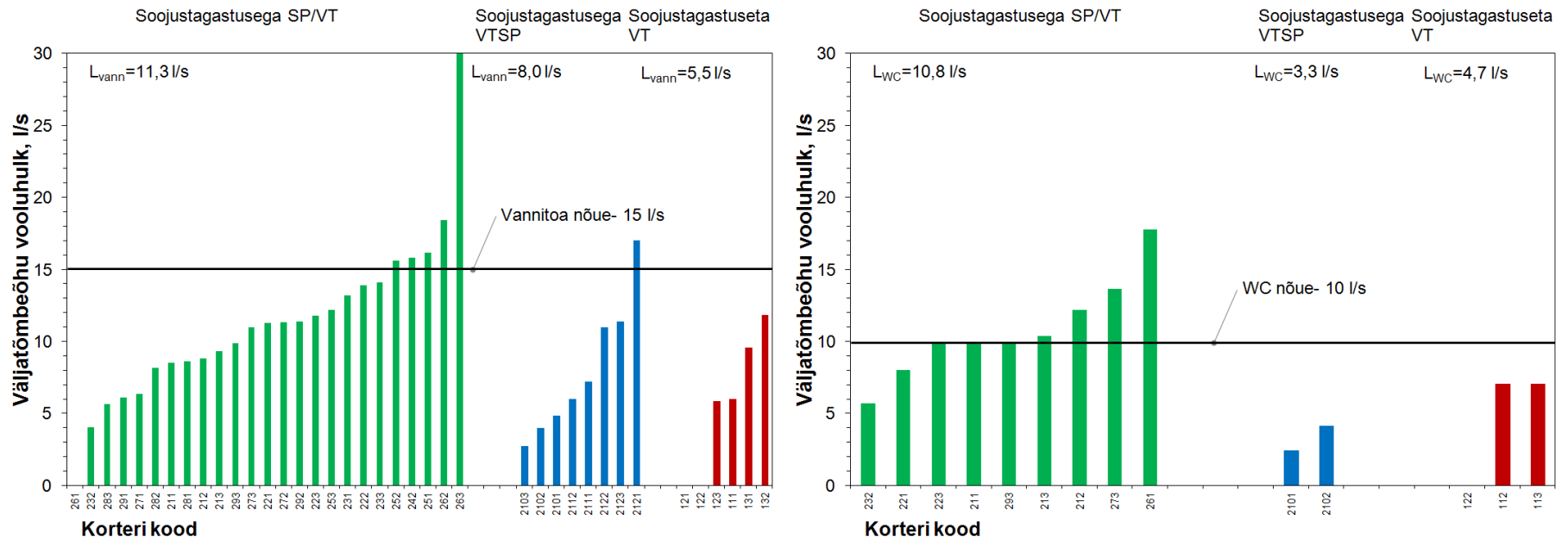
# Mõõdetud õhuvahetus







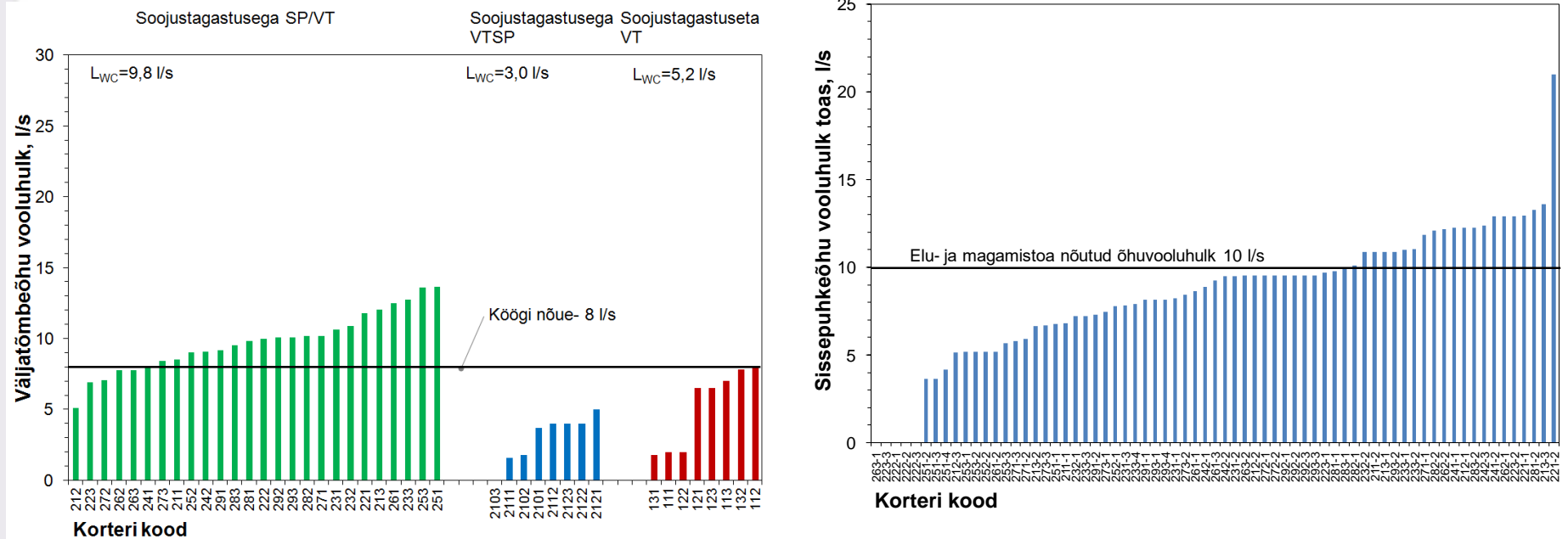
# Väljatõmbe õhuvooluhulgad



- Keskmised väljatõmbeõhuvooluhulgad vannitubadest:
  - Soojustagastusega SP/VT - 11,3 l/s
  - Soojustagastusega VTSP - 8,0 l/s
  - Soojustagastuseta VT 5,5 l/s.
- Keskmised väljatõmbeõhuvooluhulgad WC-dest:
  - Soojustagastusega SP/VT - 10,8 l/s
  - Soojustagastusega VTSP - 3,3 l/s
  - Soojustagastuseta VT 4,7 l/s.



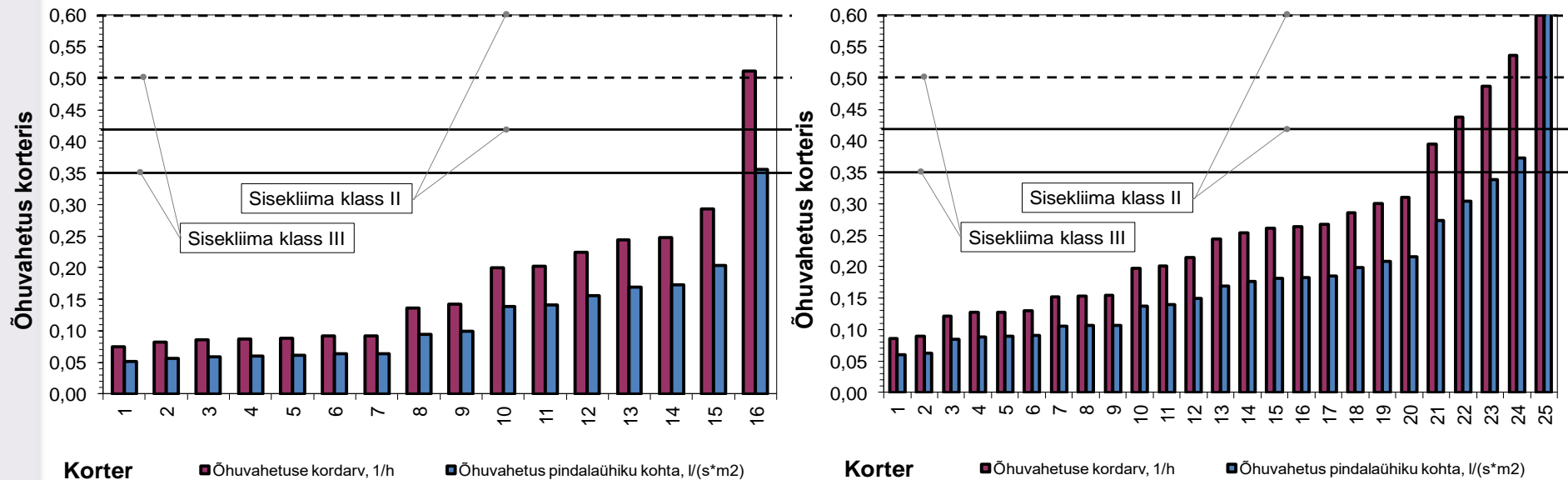
# Sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulgad



- Keskmised väljatõmbeõhuvooluhulgad köökidest:
  - Soojustagastusega SP/VT - 9,8 l/s
  - Soojustagastusega VTSP - 3,0 l/s
  - Soojustagastuseta VT 5,2 l/s.
- Elu- ja magamistubade keskmine sissepuhke õhuvooluhulk oli 9 l/s
- Arvestades õhuvooluhulkade mõõtemääramatust, vastas õhuvahetus toodud piirväärtusele 61% korteritest
- Keskmine õhuvahetus inimese kohta oli 6 l/(s\*in.)

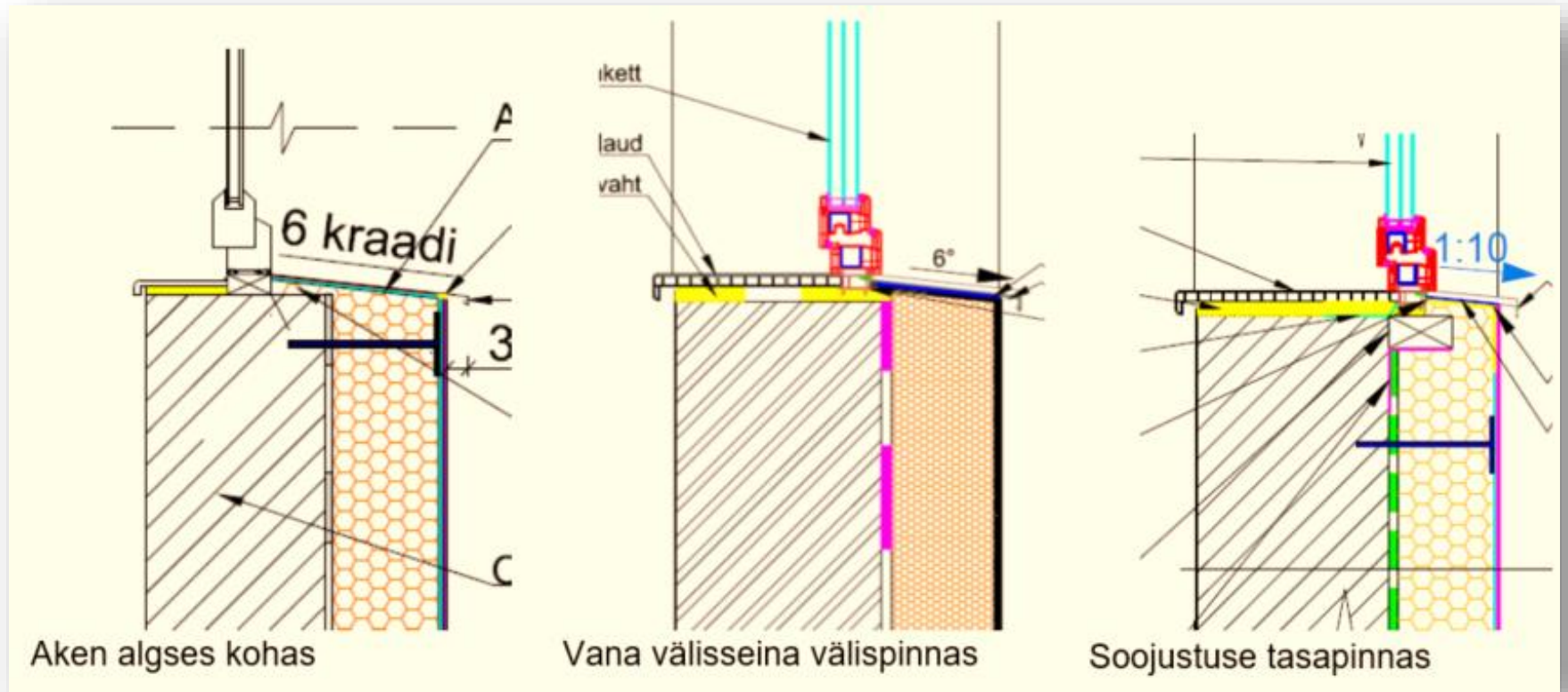


# Eelmise uuringu aegne tase



- Korterite keskmine õhuvahetuse kordarv (**praegune uuring**):
  - soojustagastusega SP/VT korral 0,73 h<sup>-1</sup>
  - soojuspumpsüsteemi korral 0,32 h<sup>-1</sup>
  - mehaanilise VT süsteemi puhul 0,32 h<sup>-1</sup>
- Korterite keskmine õhuvahetuse kordarv (**eelmine uuring**):
  - loomuliku ventilatsioonisüsteemi korral 0,08 h<sup>-1</sup>
  - ruumipõhiste regeneratiivse soojustagastiga seadmete korral 0,18 h<sup>-1</sup>
  - mehaanilise VT süsteemi puhul 0,27 h<sup>-1</sup>





## AKNA-VÄLISSEINA LIITEKOHA SOOJUSLIK OLUKORD



# Meetodid

- Thermocam B640
- Korteritavatingimustes (et leida külmasillad ja õhulekke mõju normaaltingimustes)
- Sise- ja välistemperatuuri erinevus 25K
- Mõõtmised süstemaatiliselt 5 erinevast kohast (~200):

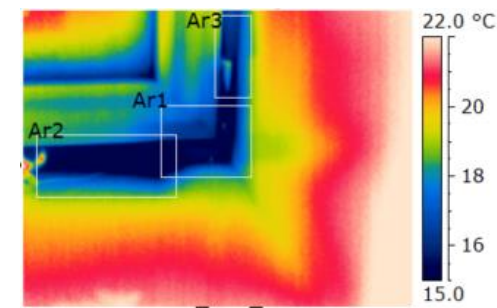
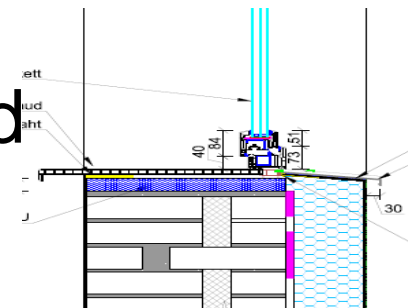
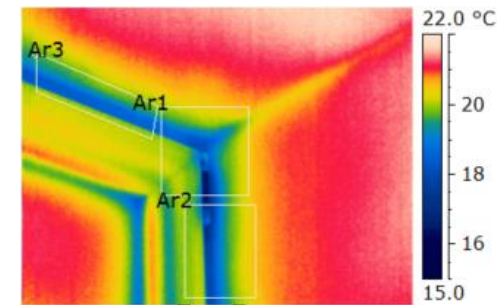
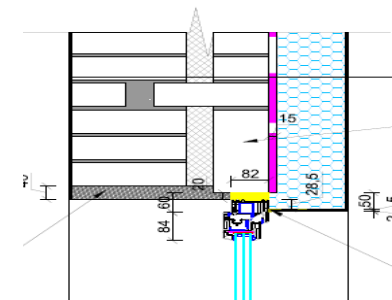
- akna alumine nurk,
- akna alumine serv,
- akna ülemine nurk,
- akna ülemine serv,
- akna külg.

- Külmasilla temperatuuriind

$$- f_{Rsi} \geq 0,8$$

$$- f_{Rsi} \geq 0,7$$

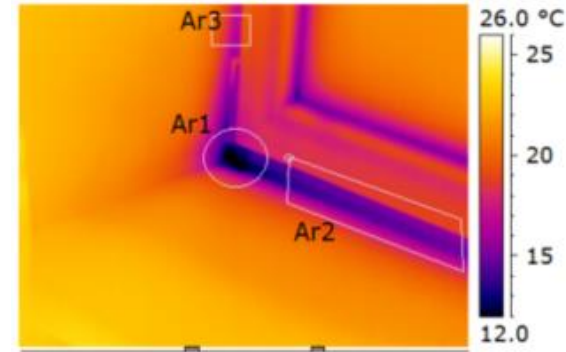
$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e}$$



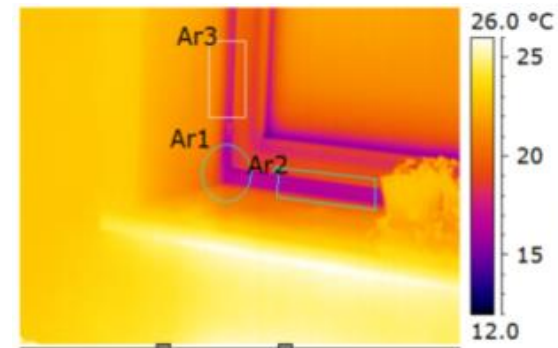
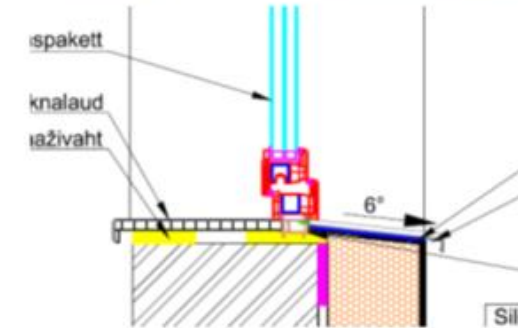


# Tulemused

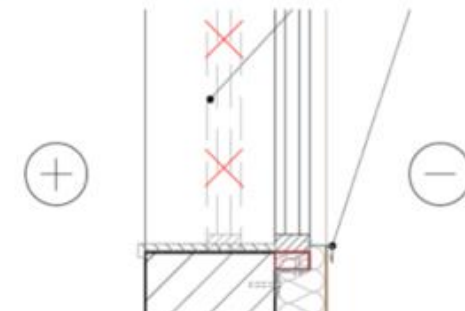
- Projektlahendus ei seleta kõiki termopiltidel olevaid madalaid temperatuure
- Vaja on teada tegelikult väljaehitatud lahendust
- Soovitav on:
  - akna ja välisseina liitekoha uuringut jätkata
  - ehitajal alati teha teostusjoonis ja fotod



Sisetemperatuur	22,8 °C
Välistemperatuur	-3,8 °C
Ar1 min. temp.	10,7 °C
Ar2 min. temp.	14,4 °C
Ar3 min. temp.	16,1 °C
$f_{Rsi}$ Ar1 min. temp.	0,55
$f_{Rsi}$ Ar2 min. temp.	0,68
$f_{Rsi}$ Ar3 min. temp.	0,75



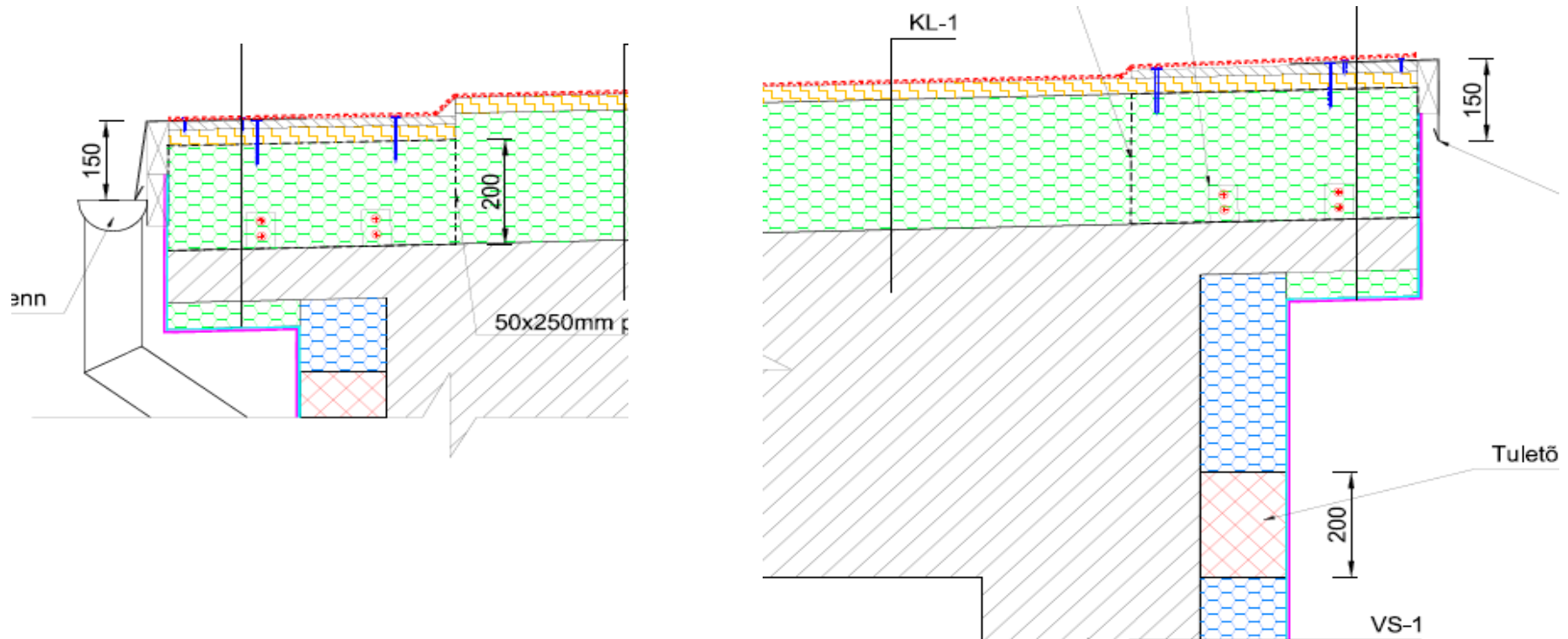
Sisetemperatuur	22,7 °C
Välistemperatuur	-3,0 °C
Ar1 min. temp.	15,5 °C
Ar2 min. temp.	16,1 °C
Ar3 min. temp.	17,5 °C
$f_{Rsi}$ Ar1 min. temp.	0,72
$f_{Rsi}$ Ar2 min. temp.	0,74
$f_{Rsi}$ Ar3 min. temp.	0,80





# Külmasillad lisasoojustatud piirdetarindites

- Tarindite liitekohtadesse on sisse jäetud külmasillad





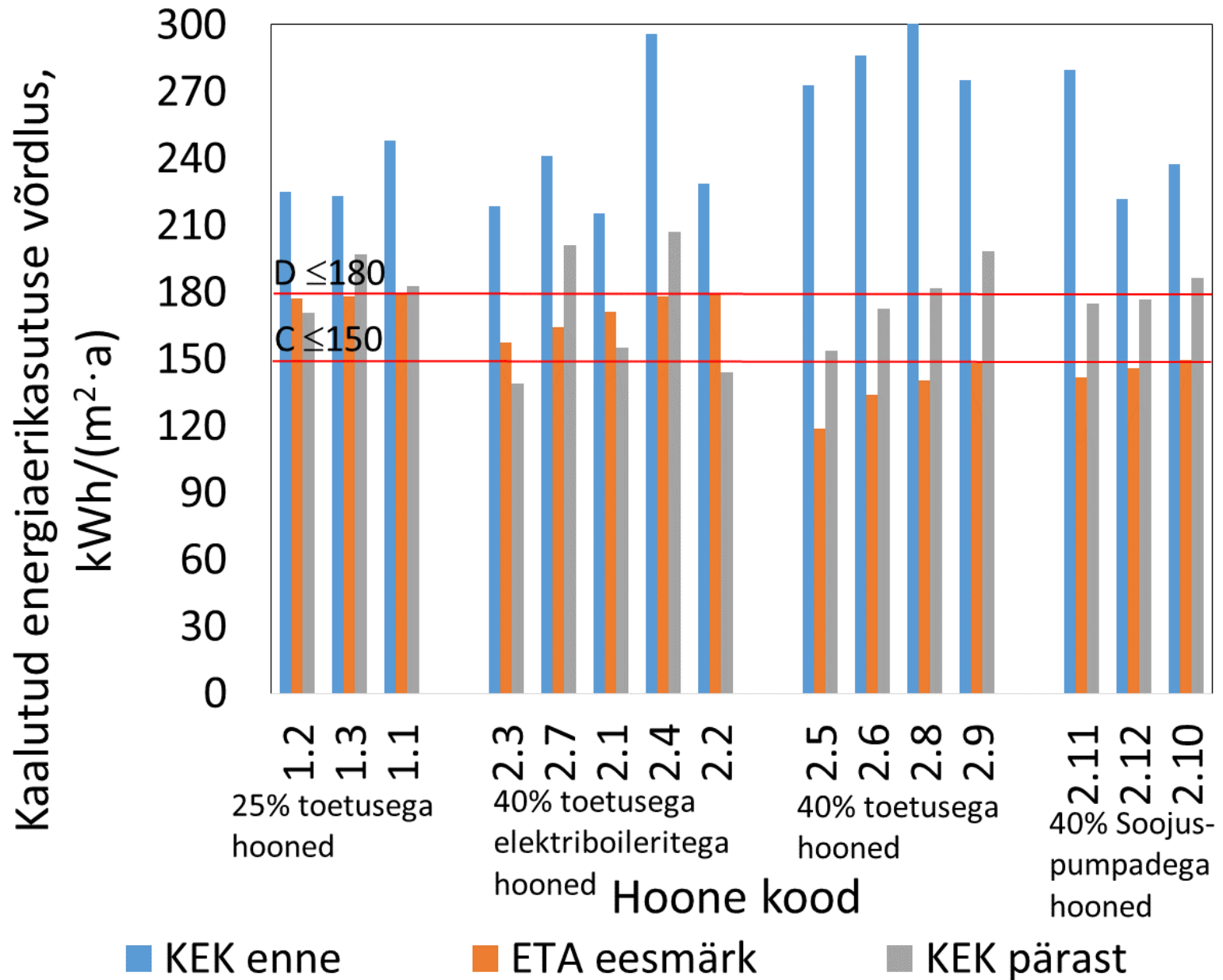
# Energiatarbe uuringu eesmärk ja meetodid

- Eesmärk
  - Võrrelda renoveerimisjärgseid energiakuluandmeid energiamärgise arvutuslike väärtustega
  - Analüüsida arvutusliku ja mõõdetud energiakulude erinevust
- Meetodid
  - 12 hoonet 40% toetus (7 tk. C energiaklass, 5 tk. D energiaklass)
  - 3 hoonet 25% toetus (D energiaklass)
  - Mõõteperiood 03.2016 - 03.2017 (+ det.mõõtmised talvel)
  - Eraldi energia mõõtmine: soojus, elekter, soe tarbevesi
  - Soojusallikad: kaugküte (12 tk), soojuspump + kaugküte (3tk)
  - Ventilatsioon: mehaaniline soojustagastiga, mehhaaniline soojustagastuseta





# Energiatõhususarvu ja kaalutud energiaerikasutuse võrdlus





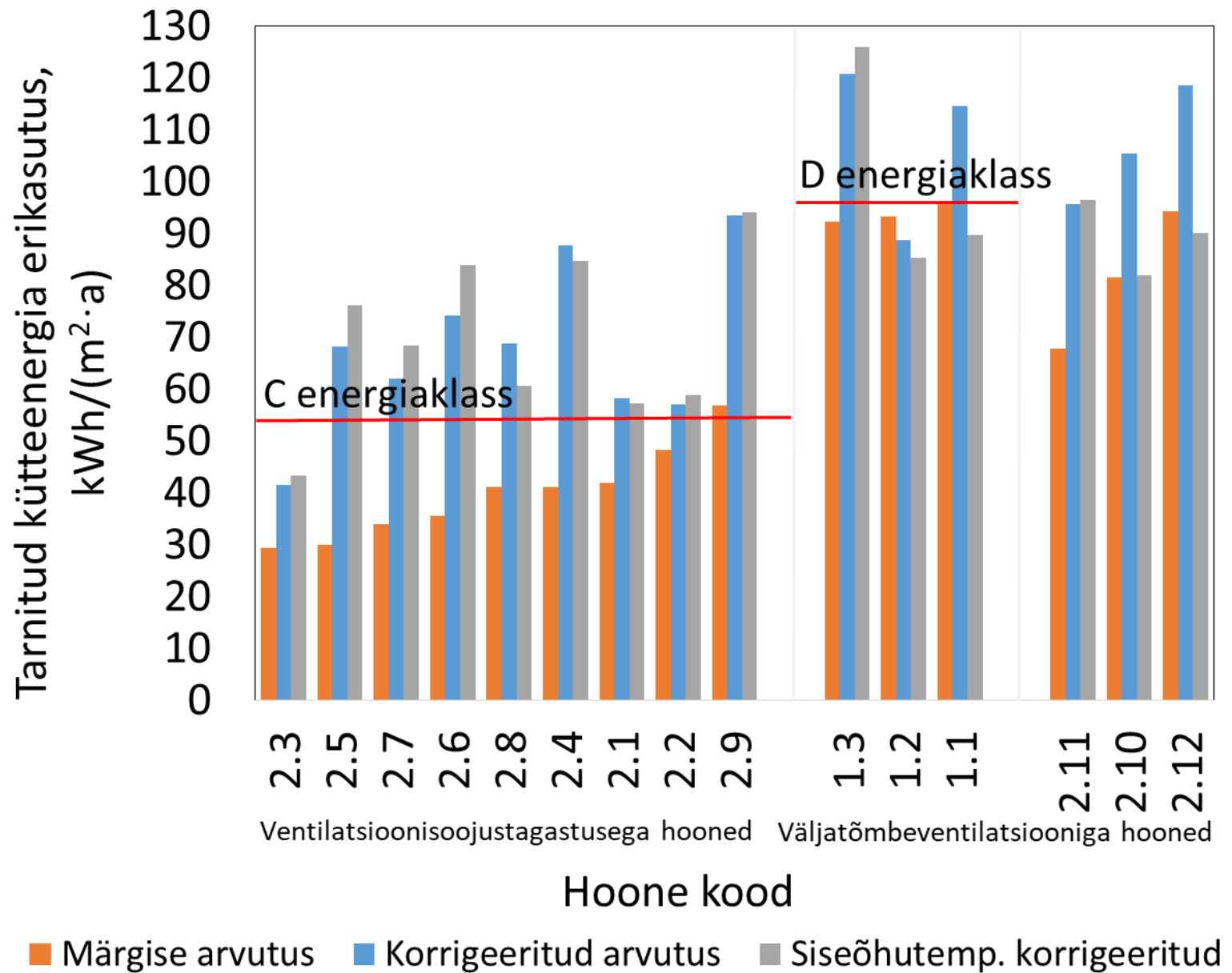


# Erinevuste peamised põhjused

- Hoone soojuskadod olid tegelikkuses suuremad kui arvutustes eeldatud.
  - Olemasolevate piirdetarindite soojusläbivus?
  - Lisasoojustatud piirdetarindite soojusläbivuse ebatäpne, vigane, lihtsustatud arvutus
  - Piirdetarindite liitekohtade joonsoojusläbivuse arvutused olid tegemata ja/või arvutustes esines vigu.
- Vabasoojused olid arvestatud liiga suurena (!viga arvutustarkvaras?).
- Keskmise sisetemperatuur oli kõrgem kui standardkasutuse järgne 21 °C.

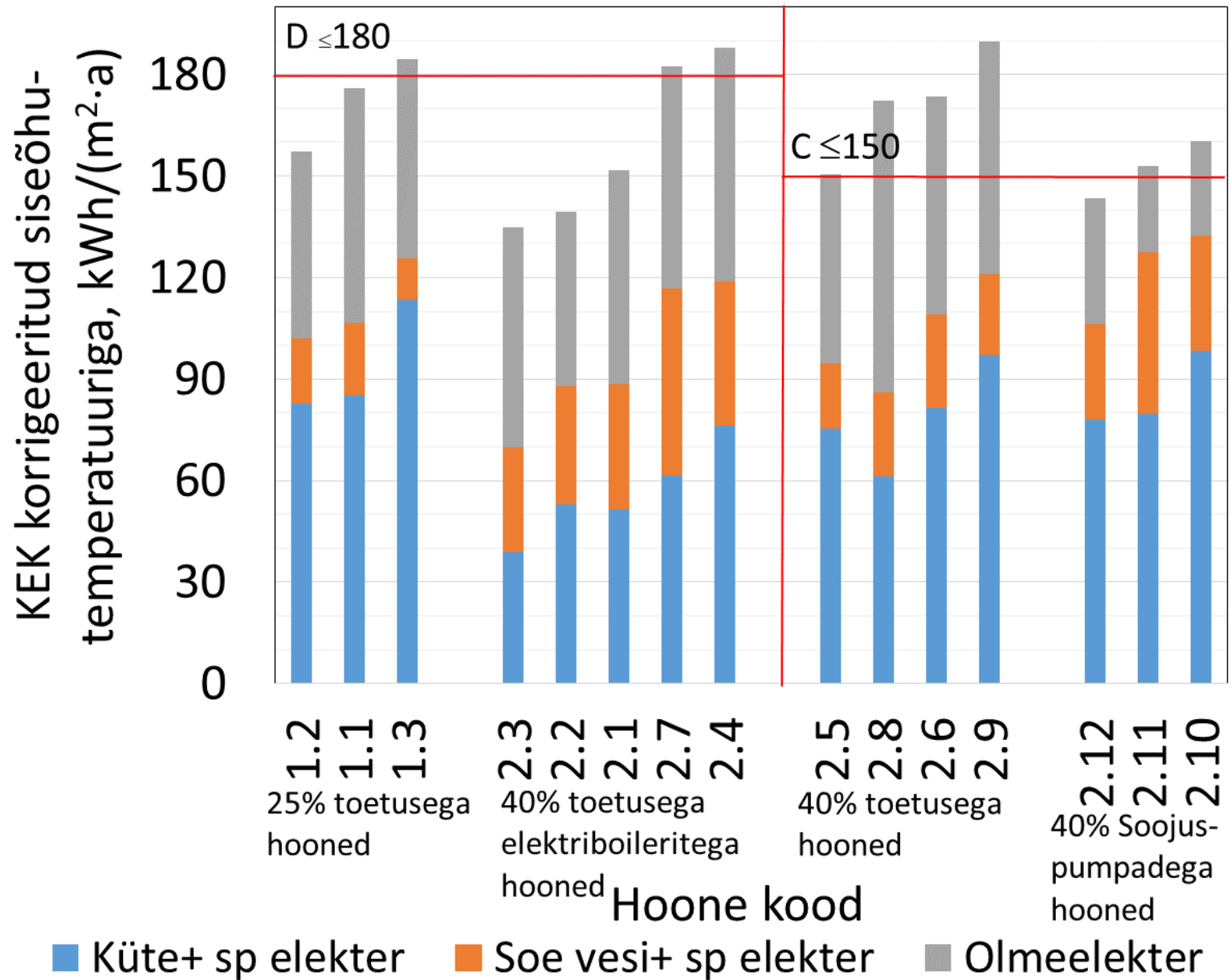


# Korrigeeritud kütteenergia tarbimine





# KEK<sub>pärast</sub> korrigeeritud siseõhutemp.ga





# Järeldused

- Ühe tsooniga mudelit kasutades tuleb keldrilae soojusläbivus arvutada vastavalt standardile (EVS 13370), kõigi hoonete keldrilae soojusläbivus oli märgisel teistsugune kui kontrollarvutustes saadud tulemused
- Olemasolevaid vahetatud avatäiteid hinnatakse liialt optimistlikult näitamaks saavutatavat energiatõhususarvu paremana
- Arvutustes kasutati võrreldes määrusega „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika“ erinevaid joonsoojusläbivusi, millel puudusid arvutused või viited läbi arvutatud väärtustele
- BV2 teostatud küttenegiakulu arvutused ülehindavad päikese vabasoojuse mõju



# Järeldused

- Rekonstrueerimisprojekti ja märgise arvutamise vigade tõttu on hoonete a C-energiatõhususklassi saavutamine raske.
- Kontrollarvutused andsid valede lähteandmete ja vabasoojuste kasutamise tõttu kuni  $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ -ühikut suurema energiatõhususarvu
- C energiatõhususklassi saavutamiseks peab standardkasutusel kaugküttega ventilatsiooni soojustagastiga hoonel (ventilaatorite elektrienergia erikasutuse  $1,8 \text{ W}/(\text{l/s})$  õhuvahetuse  $0,5 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ) olema summaarne kütteks ja ventilatsiooniõhu soojendamiseks kuluv kütteenergia kasutus väiksem kui  $52 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .



# Ettepanekud esmasteks valikuteks C- energiatõhususklassi saavutamisel

- $U_{\text{välissein}} \leq 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ( $\geq 200 \text{ mm}$  ( $\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ )).
- $U_{\text{katus}} \leq 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ( $\geq 300 \text{ mm}$ , ( $\lambda = 0,04 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$ )).
- $U_{\text{keldrilagi}} \leq 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (EVS 13370), mis on saavutatav, kui keldriseinte soojustuse paksus on sama mis välisseintel. I korruse põranda „soojusliku mugavuse“ soojustuseks  $\geq 50\text{-}100 \text{ mm}$ , ( $\lambda = 0,04 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$ ).
- $U_{\text{aken}} \leq 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (3x, 2klaasiga kl.pakett, argoon,  $U_f \leq 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) ja aknad tõsta ol.olevast välisseinast välja, lisasoojustuse kihti:  $\Psi \leq 0,05 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  ja  $f_{\text{Rsi}} \geq 0,80$ .
- Ventilatsioonisüsteem:
  - erivõimsus SFP peab olema väiksem kui  $\leq 1,8 \text{ W}/(\text{l/s})$
  - soojustagasti temperatuuri suhtarv  $\geq 75\%$ .
- Väljatõmbeõhu soojuspumbaga hoonetes peab päikesepaneelidega tootma vähemalt  $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  elektrienergiat.



***Ettekanne põhineb SA KredEx poolt tellitud uuringul  
„Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe  
analüüs“***

***Uuring on leitav KredEx-i kodulehel:***

***[http://kredex.ee/public/Uuringud/Rekonstrueeritud korterelamute  
sisekliima ja energiakasutuse analuus.pdf](http://kredex.ee/public/Uuringud/Rekonstrueeritud_korterelamute_sisekliima_ja_energiakasutuse_analuus.pdf)***

***Anti Hamburg***

***[anti@tktk.ee](mailto:anti@tktk.ee)***

***Liginullenergiahoonete uurimisrühm***

***Tallinna Tehnikaülikool***