

SPETSIALISTILT SPETSIALISTILE.

SISEKLIIMA JA MÕÕDETUD ÕHUVAHETUS VÄIKEELAMUTES

MÕÕDETUD ÕHUVAHETUS PALKELAMUTES

JA KAASAJASTAMISE NÄIDE.

10. NOVEMBER 2022, KOLU KÕRTS

Üllar Alev

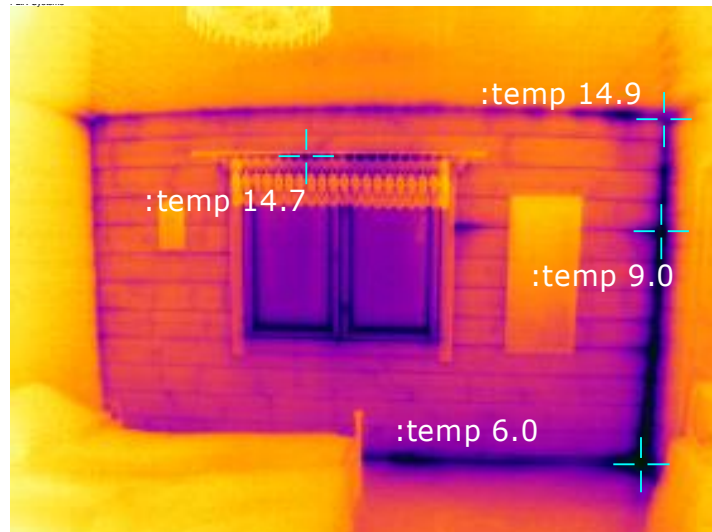
Ehituse ja keskkonnatehnika doktor

ullaralev@gmail.com / +372 53 449 051

1

SISSEJUHATUS: ÕHULEKE SUURENDAB ÕHUVAHETUST

- **Hoonepiirete** ebapiisav **õhupidavus** väljendub planeerimatus ja kontrollimatus õhuvoolus läbi pragude ja ebatiheduste hoone piiretes.
- Õhu infiltratsioon ja tema mõju sõltub:
 - hoonepiirete õhupidavusest;
 - lekkekohtade paiknemisest;
 - õhurõhkude erinevusest kahel pool piiret;
 - kasutatavate materjalide omadustest ja
 - kliimatingimustest.



ÕHUPIDAVUSE MÕJU

- Hoonete energiatõhusus;
- Niiskustehnilised probleemid, hallituse teke, niiskuse kondenseerumine;
- Hallituse, õhusaaste ja radooni levik põrandaalusest ruumist siseruumidesse, õhusaaste liikumine garaažist või katlaruumist eluruumidesse, ebasoovitavate lõhnade liikumine ruumide vahel;
- Piirdepindade alajahtumine;
- Sisekliima kvaliteet, tuuletõmbus;
- **Ventilatsioonisüsteemide toimivus;**
- Müraprobleemid;
- Tuleohutus.

UURINGU EESMÄRK

- Mõõta traditsiooniliste palkelamute õhuleke õhulekketestiga;
- Tuvastada peamised õhulekkekohad;
- Mõõta õhuvahetus hoone tavalise kasutuse käigus pikema aja jooksul;
- Analüüsida tavapärase õhuvahetuse ja hoone piirete õhupidavuse sõltuvust.

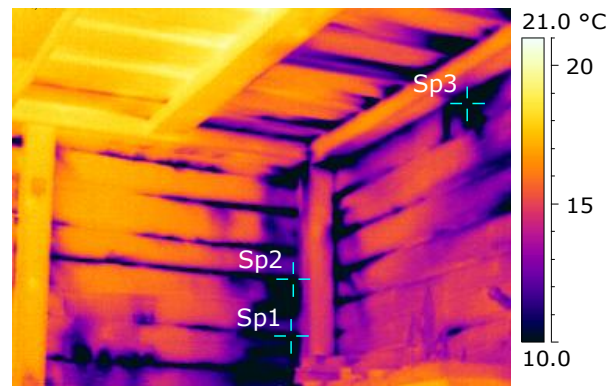


Mõõdetud õhuvahetus palkelamutes ja kaasajastamise näide - Üllar Alev

10. november 2022

MEETODID: ÕHULEKKETEST

- Hoonepiirete õhupidavus
 - **õhulekkestest** (EVS EN 13829)
 - **õhulekkekohtade kaardistamine termograafia mõõtmisega**
- Lekkeõhu hulk 50Pa juures jagatakse:
 - piirete pindalaga, saadakse **õhulekkearv** q_{50} , $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$
 - sisekubatuuriga, saadakse **õhuvahetuskordsus** n_{50} : 1/h



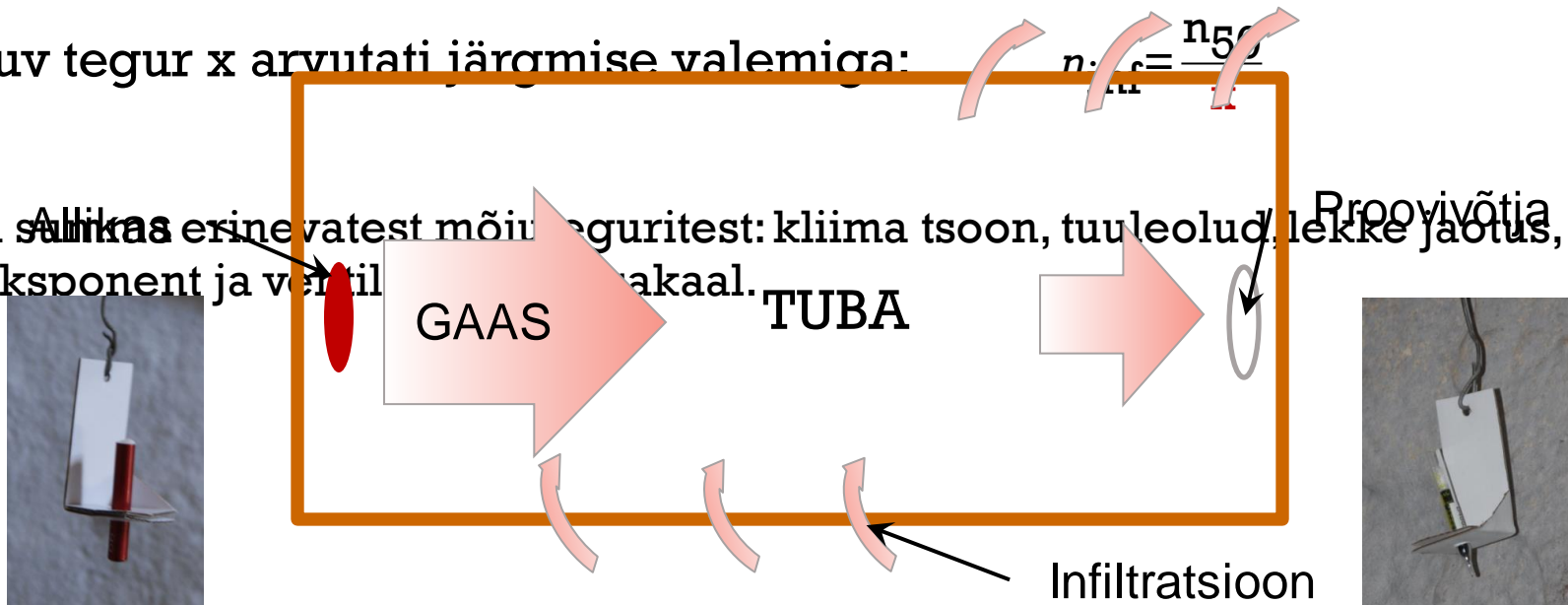
- Hoone välispiirete õhupidavust iseloomustab **õhulekkearv** q_{50} $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$: õhulekkestestiga 50 Pa rõhkude erinevusel mõõdetud lekkeõhu vooluhulk välispiirete ruutmeetri kohta.

MEETODID: INFILTRATSIOON

- Infiltratsiooni mõõtmine passiivse märkegaasiga:
 - Õhu keskmine vanus mõõdetakse anduritega (õhuvahetuse pöördväärtus);
 - Mõõtmine kestis keskmiselt 3 nädalat (10 elamut);
 - 2 mõõteperioodi: suvel ja talvel;
 - Iga ruum mõõdeti eraldi (tulemustes hoone keskmine).

- Oludest sõltuv tegur x arvutati järgmise valemiga:

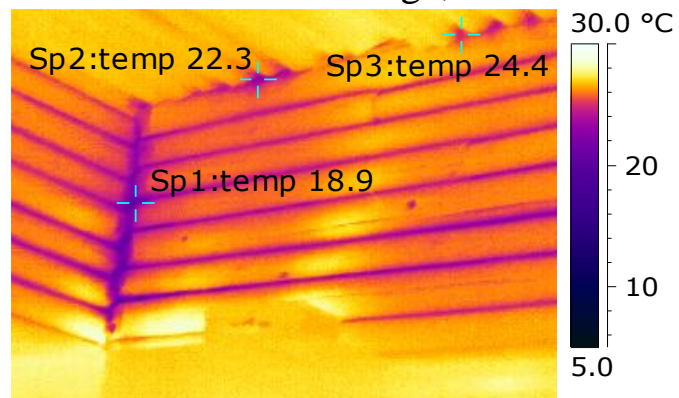
- Tegur x on saadud erinevatest mõõteteguritest: kliima tsoon, tuuleloolus, lekke jaotus, korruste arv, õhuvoolu eksponent ja ventilatsioonikaal.



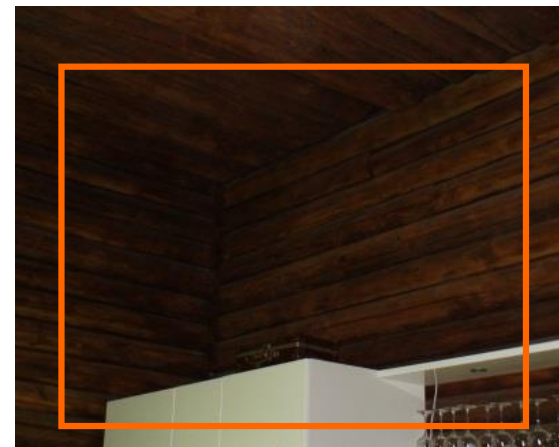
MEETODID: TERMOGRAFEERIMINE

- Õhulekkekohtade tuvastamine infrapuna kaameraga

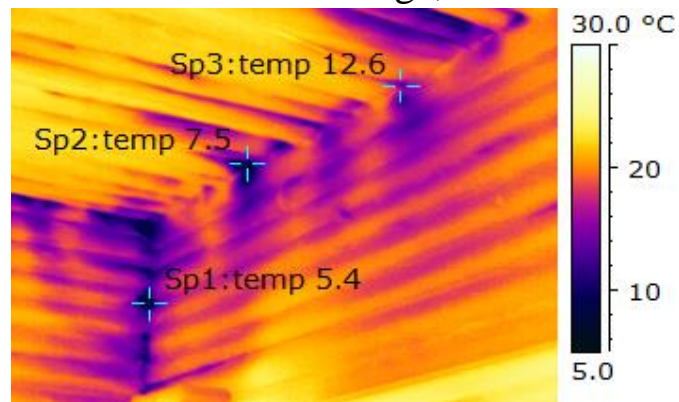
Termocam image, $\pm 0\text{Pa}$



Photo



Termocam image, -50Pa



Outdoor temperature +1.5 °C

Indoor temperature +27.1 °C

Measured surface temperatures

Sp1 ($\pm 0\text{Pa}$) 18.9 °C

Sp2 ($\pm 0\text{Pa}$) 22.3 °C

Sp3 ($\pm 0\text{Pa}$) 24.4 °C

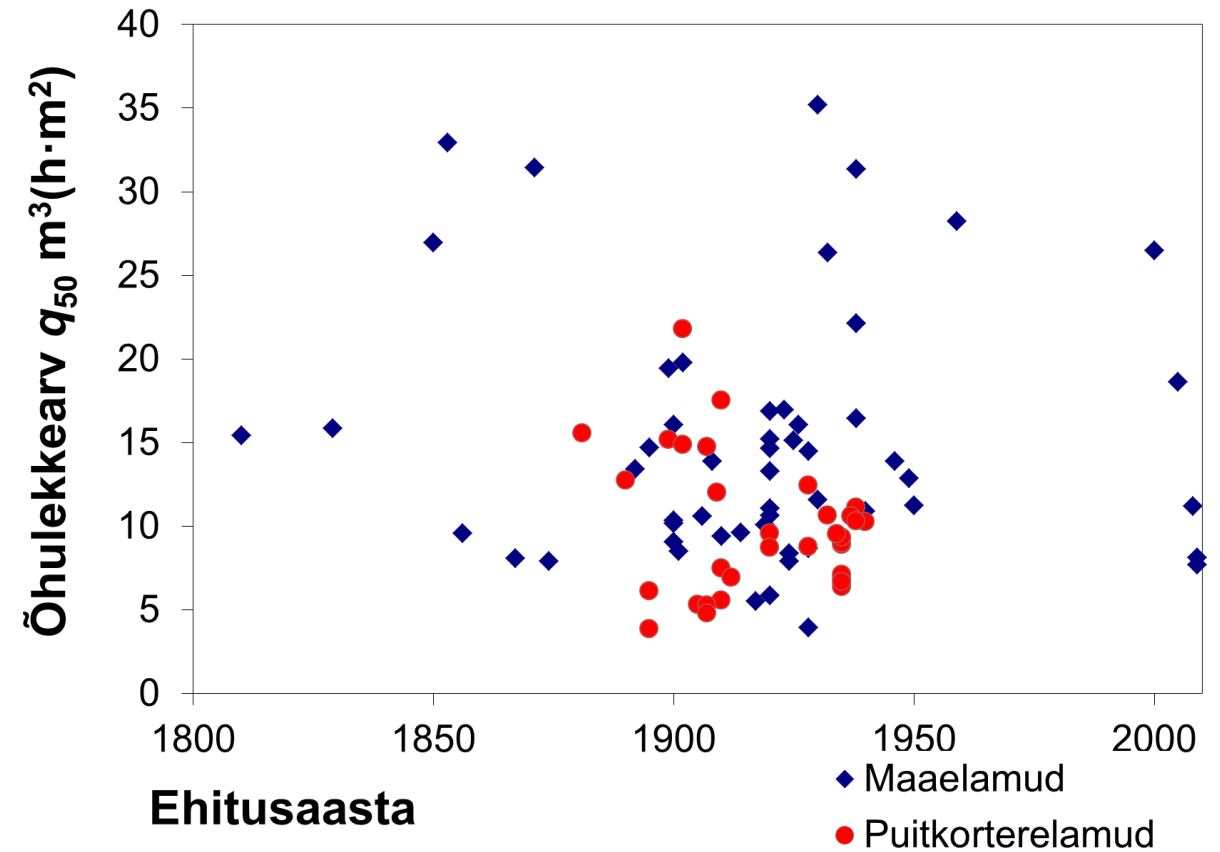
Sp1 (-50Pa) 5.4 °C

Sp2 (-50Pa) 7.5 °C

Sp3 (-50Pa) 12.6 °C

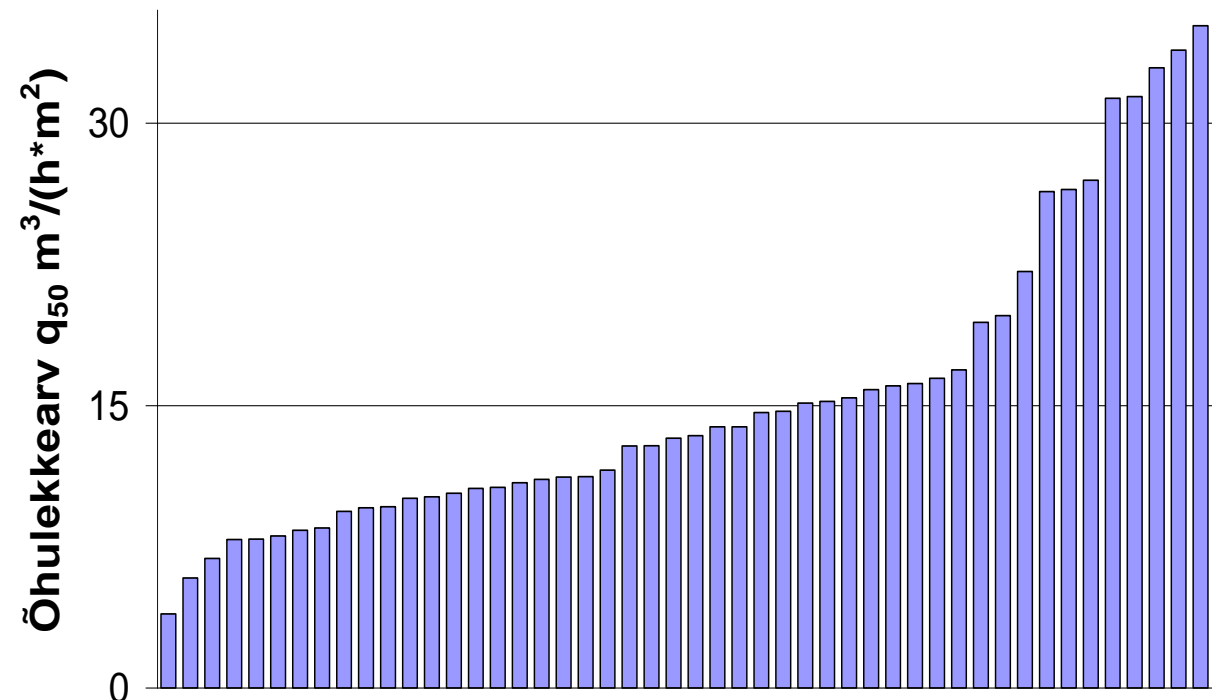
ÕHUPIDAVUSE MÕÕTMISTULEMUSED

- Õhupidavust mõõdeti 48 elamus (rehemajad ja lihtsamad palkelamud);
- Õhulekkearv ei sõltu hoone ehitusaastast



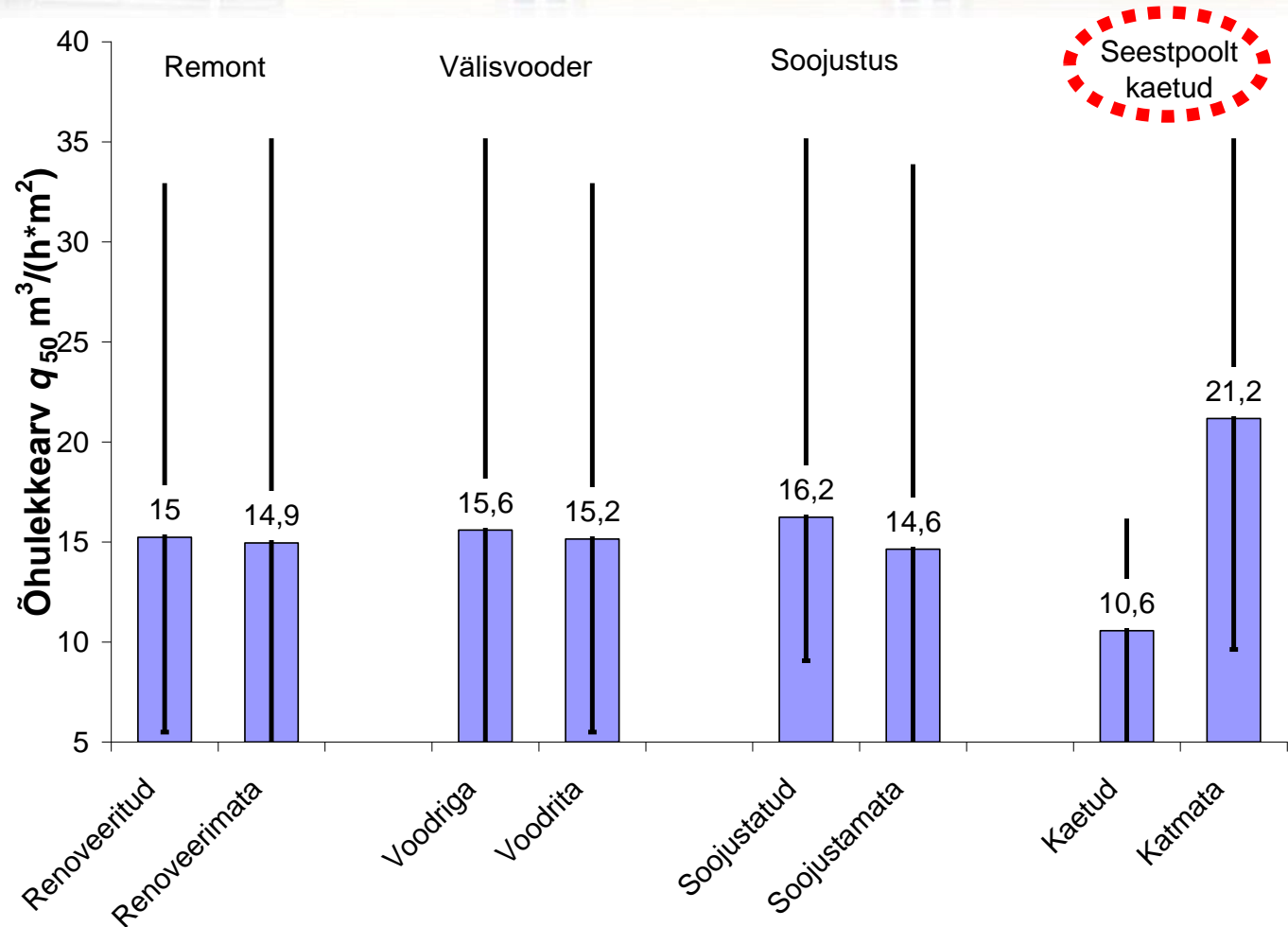
ÕHUPIDAVUSE MÕÕTMISTULEMUSED

- Õhupidavust mõõdeti 48 elamus (rehemajad ja lihtsamad palkelamud);
- Kõigi mõõdetud elamiseks kasutatud elamute keskmine:
 - õhulekkaarv $q_{50} = 15 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, (min. 3,9; maks. 35 $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$),
 - õhuvahetus 50 Pa juures $n_{50} = 22 \text{ h}^{-1}$, (min. 5,1; maks. 56 h^{-1}).
- Energiaarvutusteks kasutatav õhulekkaarvu baasväärtus (normaaljaotuse järgse valiku 50 % fraktiili 95 % tõenäosus)
 - õhulekkaarv $q_{50} = 17 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$,
 - õhuvahetus 50 Pa juures $n_{50} = 25 \text{ h}^{-1}$.



ÕHUPIDAVUSE MÕÖTMISTULEMUSED

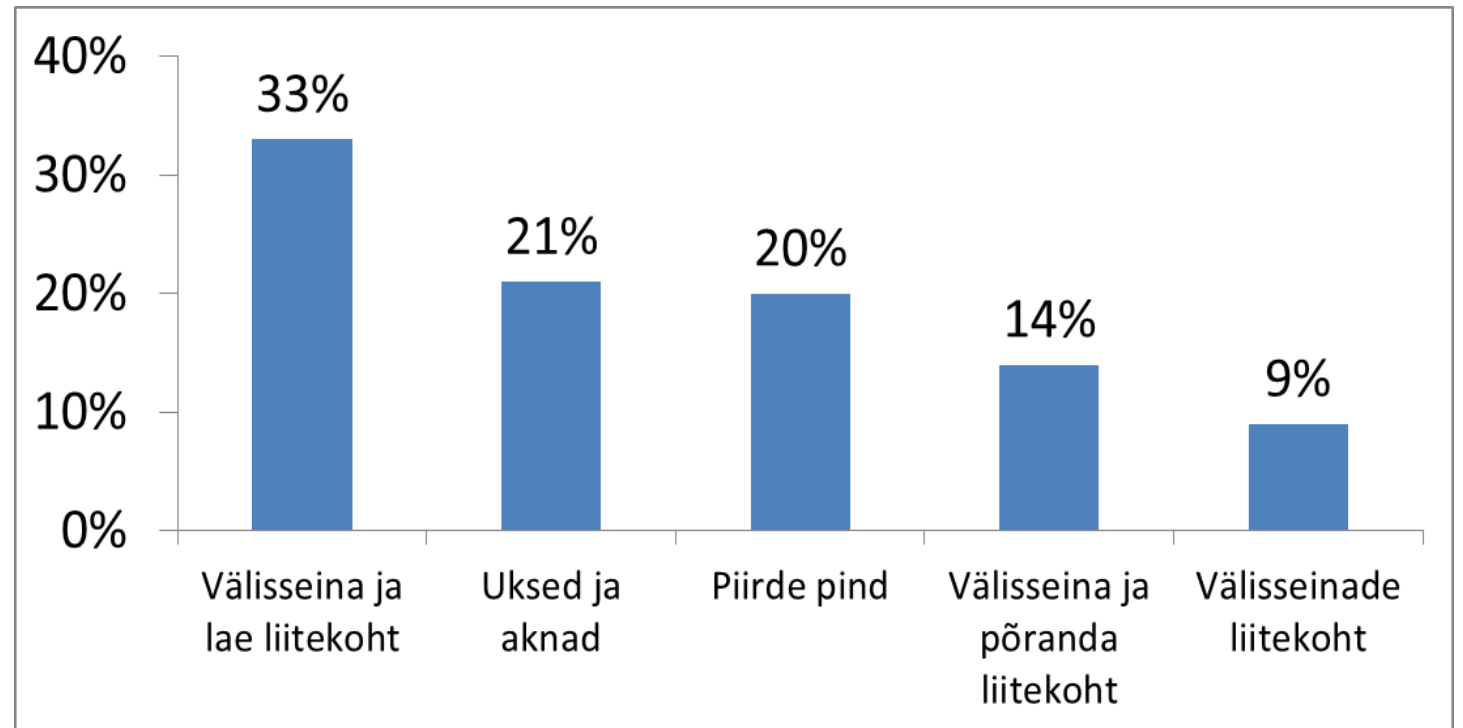
Palkseina krohvimine või vooderdamine vähendab õhuleket



TULEMUSED

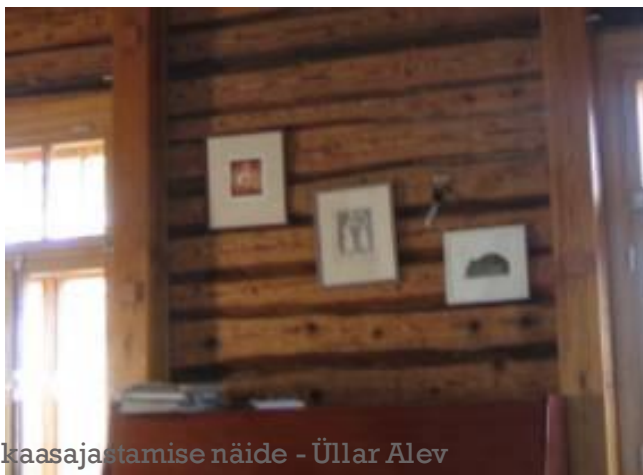
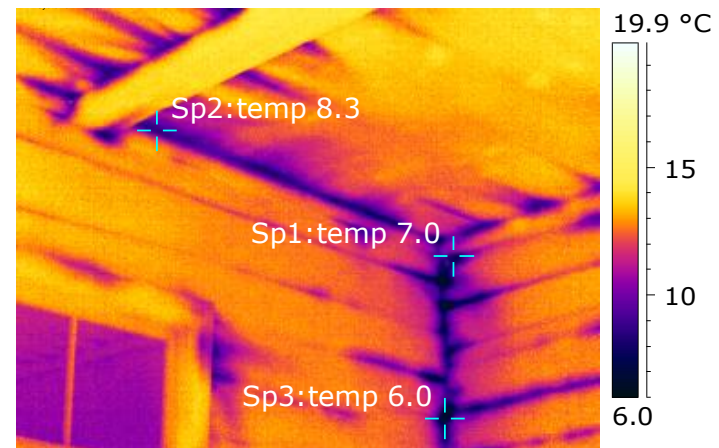
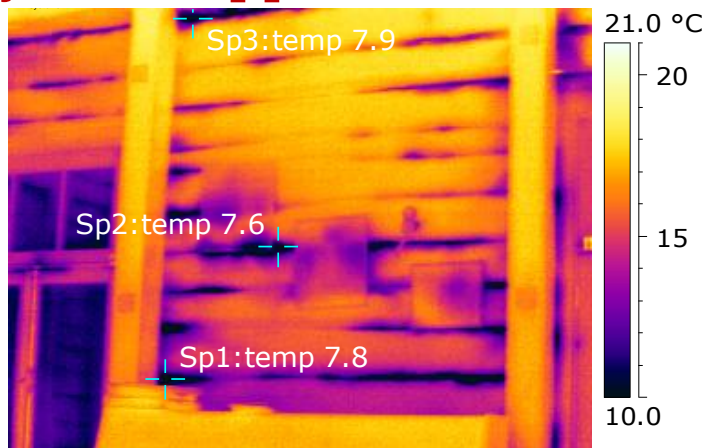
Tüüpilised õhulekkekohad:

- laetalade läbiviigud välisseinast,
- akna- ja ukseleengide ümbrus
- nurgatapid,
- palkide vahed seinas.



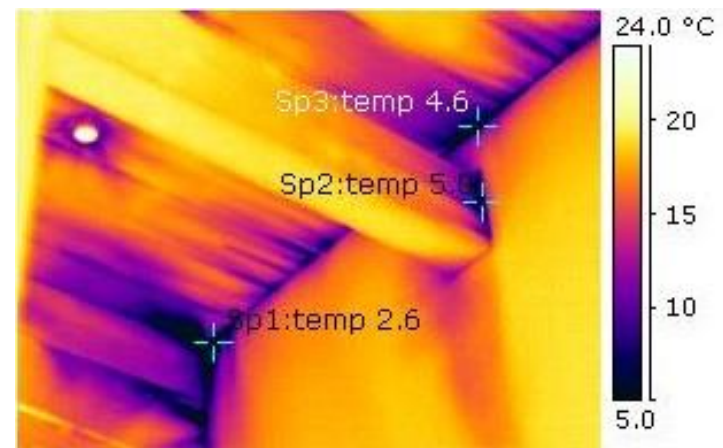
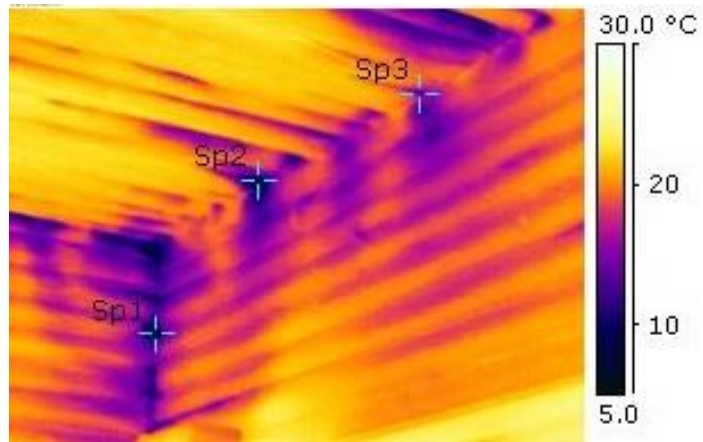
ÕHULEKKEKOHAD

- Õhuleke läbi **seinte** ja seinatappide



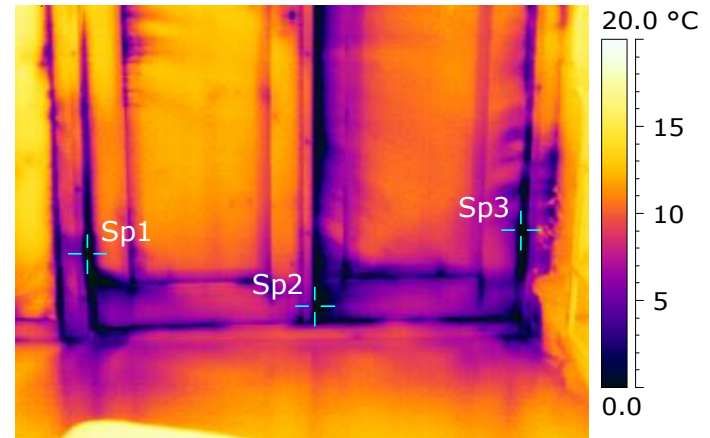
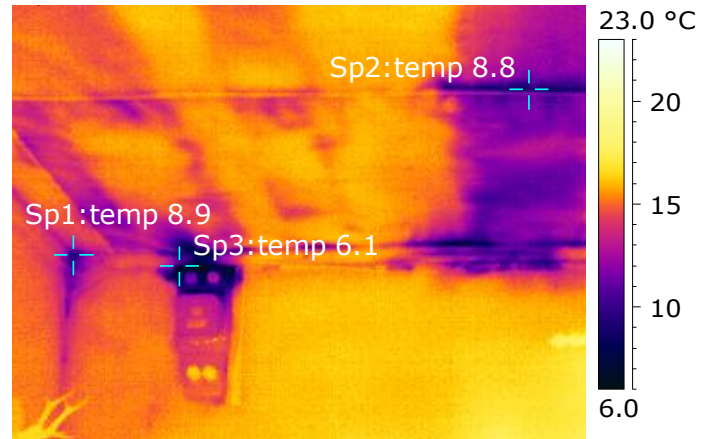
ÕHULEKKEKOHAD

- Õhuleke läbi välisseina ja lae liitekohta



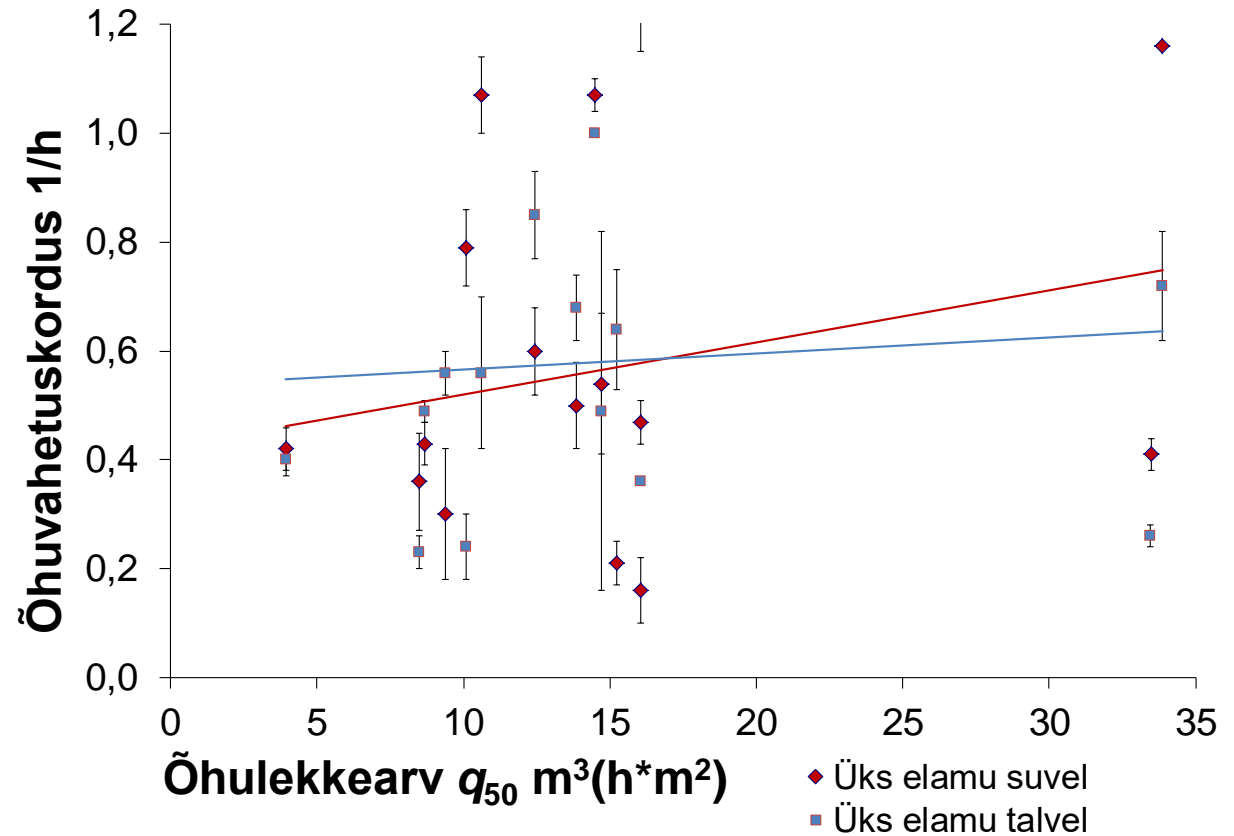
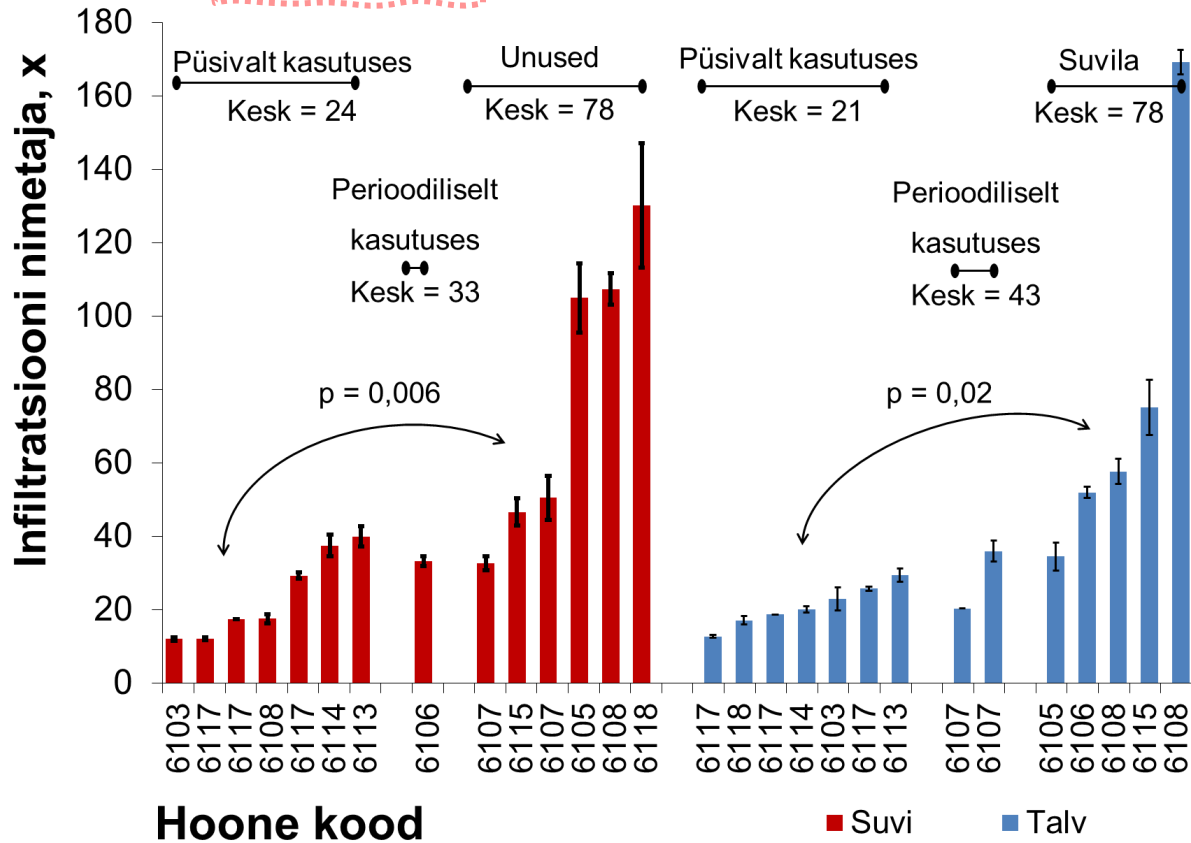
ÕHULEKKEKOHAD

- Õhuleke läbi välisseintest läbiviikude ja uste-akende



INFILTRATSIOONI JA PIIRETE ÕHULEKKE SÕLTUVUS

$$n_{inf} = \frac{n_{50}}{x}$$



KOKKUVÕTE

- Vanad palkmajad kuuluvad kõige suurema õhulekkega hoonete hulka ($q_{50} = 15 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$)
- Keskmiselt ligi kaks korda väiksema õhulekkega olid elamud, mis olid seestpoolt krohvitud (või küllaltki õhutihedalt vineeriga kaetud);
- Elamu vanus, renoveerimine (ehituskvaliteet?) ja välisvooder uuritud elamute põhjal hoonepiirete õhupidavust oluliselt ei mõjutanud.
- **Keskmine õhuvahetus (infiltratsioon) $0,57 \text{ h}^{-1}$**
 - keskmine väärtus suvel ja talvel oli sama,
 - minimaalne ja maksimaalne ($0,16 \text{ h}^{-1}$ ja $1,22 \text{ h}^{-1}$) õhuvahetus mõõdeti samas majas erinevatel aastaegadel.
- Hoone kasutus oli kõige olulisem tegur, mis mõjutas õhuleket tavatingimustes:
 - **tegur x on püsivalt kasutatavates elamutes rohkem kui kolm korda väiksem kui suvilates**
⇒ loomulik infiltratsioon suvilates on kolm korda väiksem kui püsivalt kasutuses elamutes
 - Aastaajad mõjutavad õhuleket vähesel määral: talvel on loomulik infiltratsioon veidi suurem kui suvel.

UURINGUTULEMUSTE RAKENDAMINE

- Vanemate palkelamute õhuleke on suur $q_{50} = 15...18 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$:
energiaarvutustes tuleb see suurem õhuleke eraldi arvesse võtta
⇒ üldjuhul renoveeritavatel eramutel $q_{50} = 9 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$
- Välispiirete õhulekete vähendamine vähendab energiakulu. Koostöös tihendamisega tuleb lahendada ka elamu kontrollitud õhuvahetus (tuulutuspilud ja/või mehaaniline ventilatsioon).
- Palkelamud moodustavad eramutest vaid ühe osa. Teistsuguste piirdekonstruktsioonidega väikeelamute infiltratsioonist Eestis ülevaade puudub
⇒ võimalik uurimisprojekt teadlastele
- Suure õhulekkega maja tähendab:
 - piisavat õhuvahetust (loomulik ventilatsioon);
 - suuremat küttekulu ehk kehva energiatõhusust;
 - tuuletõmbusest tulenevat ebamugavust.



ELAMU RENOVEERIMISE NÄIDE

Tihe ja energiatõhus
A-energiaklassi hoone

Vaade põhjast, kõrval
tiheda liiklusega tänav

VENTILATSIOONISEADE TEHNORUUMI LAES

**2018 esimene lahendus
(Systemair SAVE VSR 300)**



2021 lisatud CO2 andur ja mürasummuteid



DETAILE Ehitusest

Sissepuhe magamistoas



Väljatõmbe toru teipimine aurutõkkega



DETAILE E HITUSEST

Agregaadi kohal lae peal



Torud soojustuse sees, aurutõke



KÜTTEKOLDED

Keskküttekamin elutoas



Puupliit soemüüriga köögis

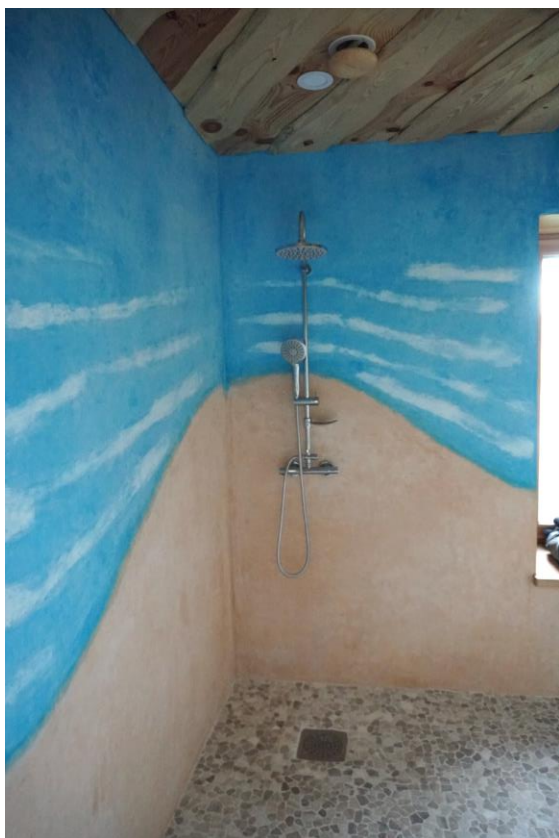


Pelletikatel tehno ruumis



VENTILATSIOONIPLAFOONID

Duširuum



Pool elutoast



ÕHUVÕTUAVA TREPI KOHAL PEIDUS

Lõpetamata lahendus



Möödetud õhuvahetus palkelamutes ja kaasajastamise näide - Üllar Alev

Lõpetatud kujul






Trepil suitsetamine keelatud!

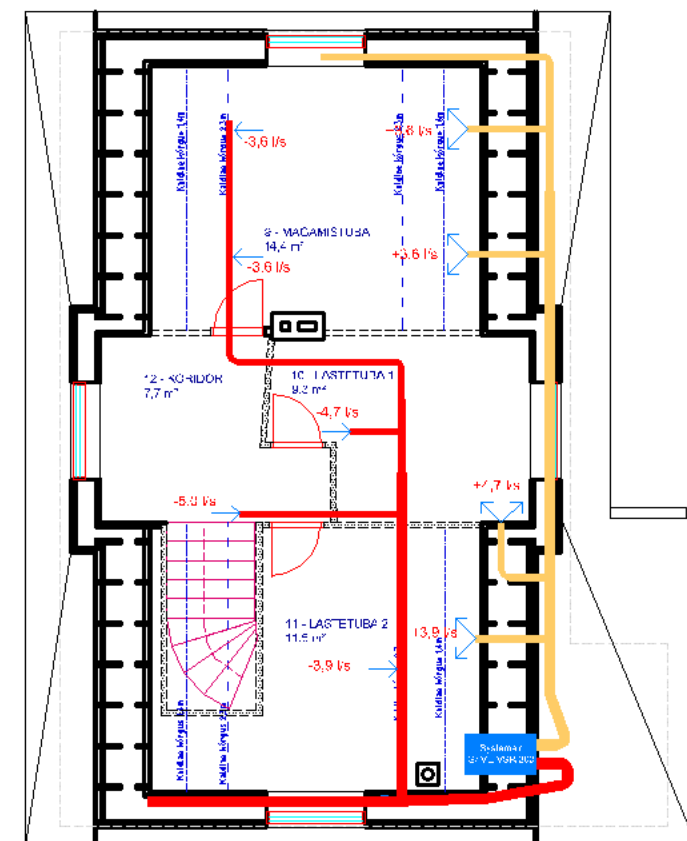
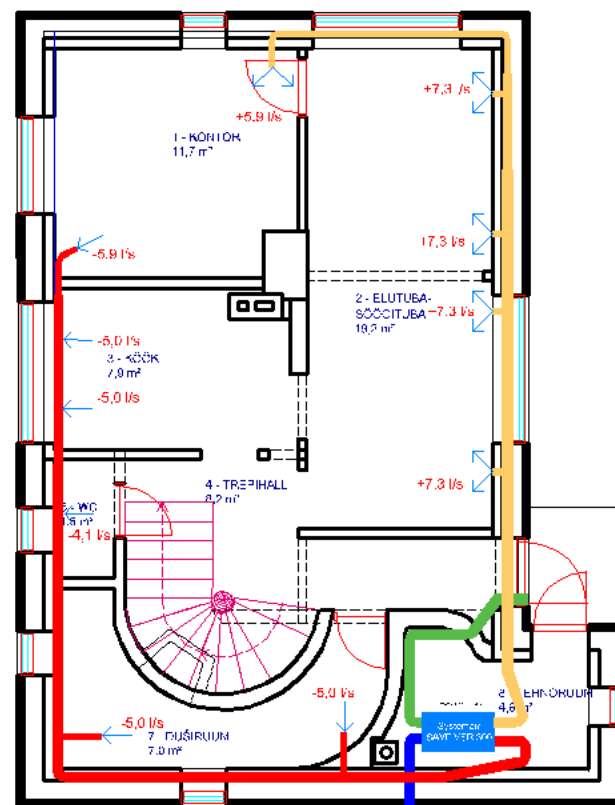
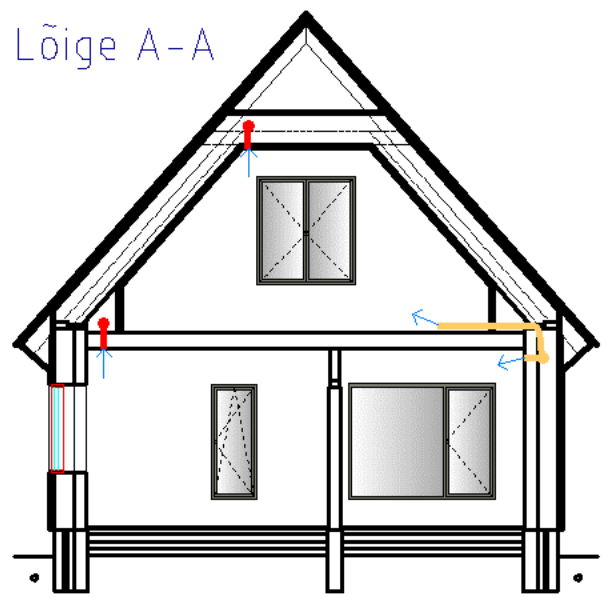
10. november 2022

VENTILATSIOONI SKEEM

1. korruse põhiplaan

2. korruse põhiplaan

- TINGIMUSED
-  Korraldus: vahetuse
 -  -Altkon - ruumal k.a 0,1 m
 -  -Altkon
 -  -Altkon



PÖÖNINGU TUULUTUSLAHENDUS

Pööningu tuulutusrestid



Otsavaade

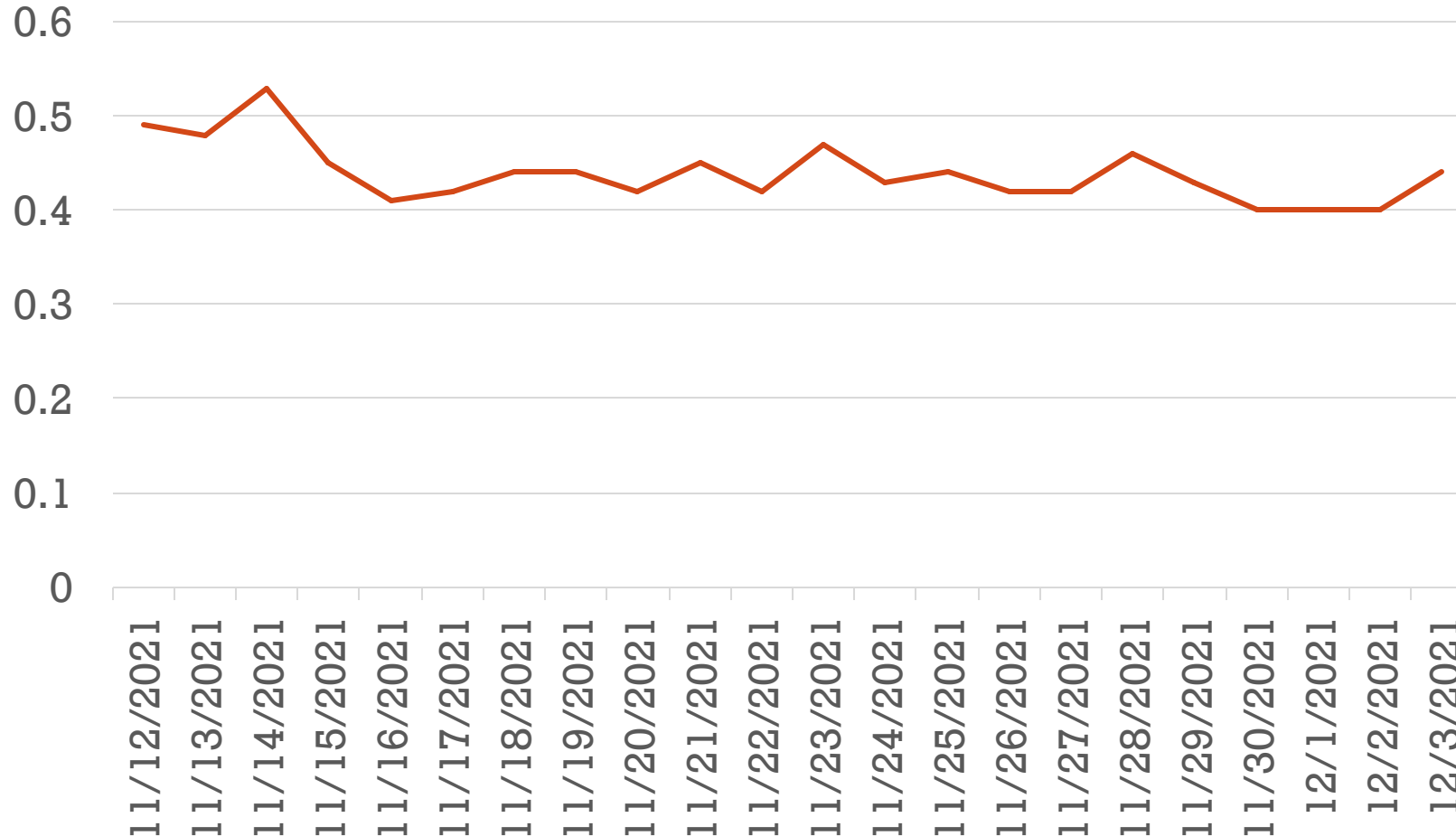




MUSTAD VENTILATSIOONI FILTRID

Igal aastal tuleb vahetada ja soovitavalt vahepeal puhtaks kloppida.

Ventilatsiooniagregaadi elektrikulu, kWh/päevas

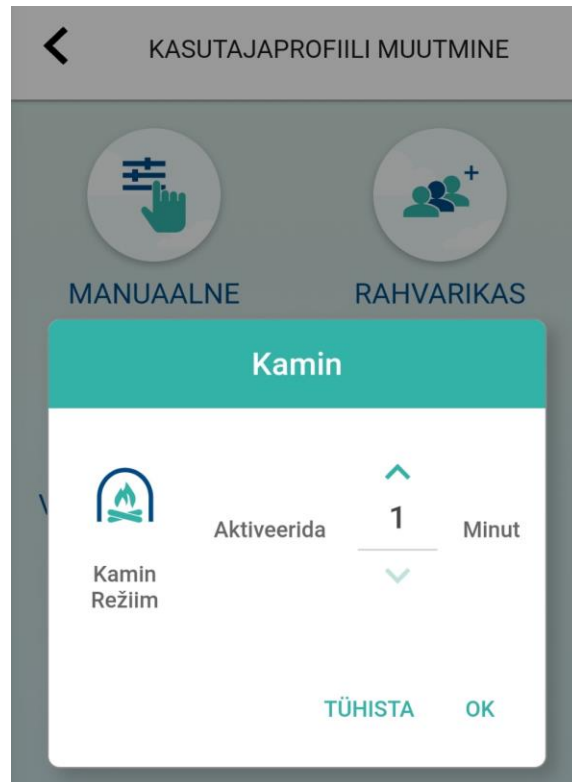
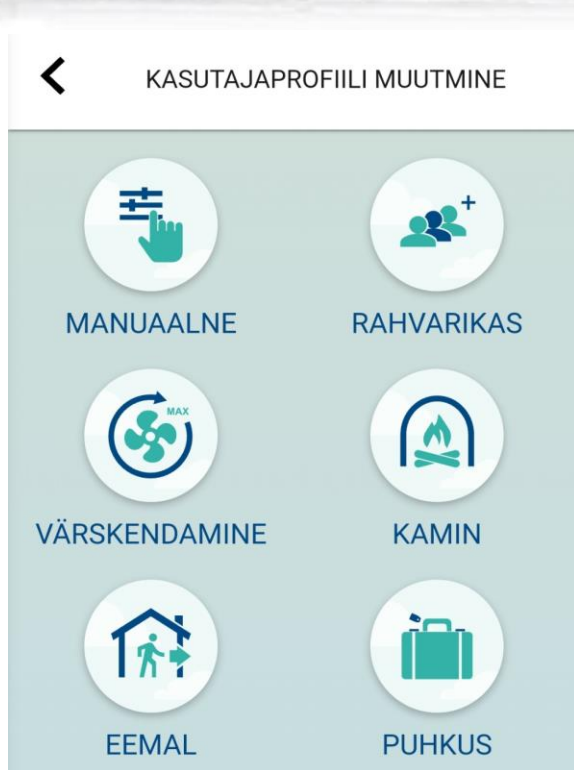


ELEKTRIKULU PÄEVAS

Küttekeha välja lülitatud, hõlmab vaid ventilaatorite (2 tk) ja rootori elektrikulu – keskmise 0,44 kWh/päevas.

Võrdluseks külmik tarbib 1..1,5 kWh/päevas (keskmise 1,25 kWh/päevas)

JUHTIMINE: MOBIILIVAARDE / JUHTPULT



↑ **Kasutusrežiimid**

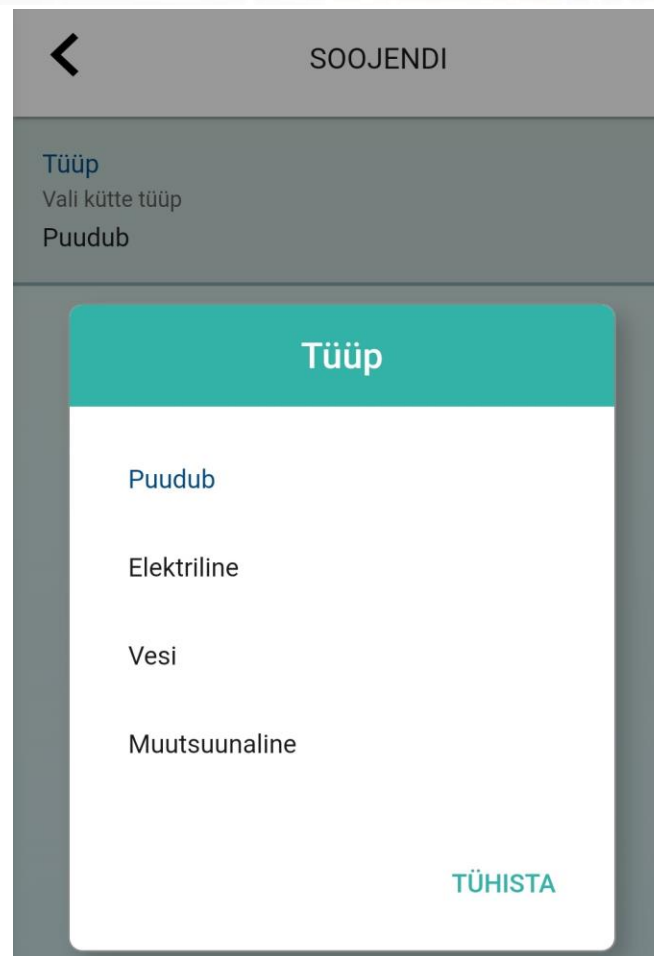
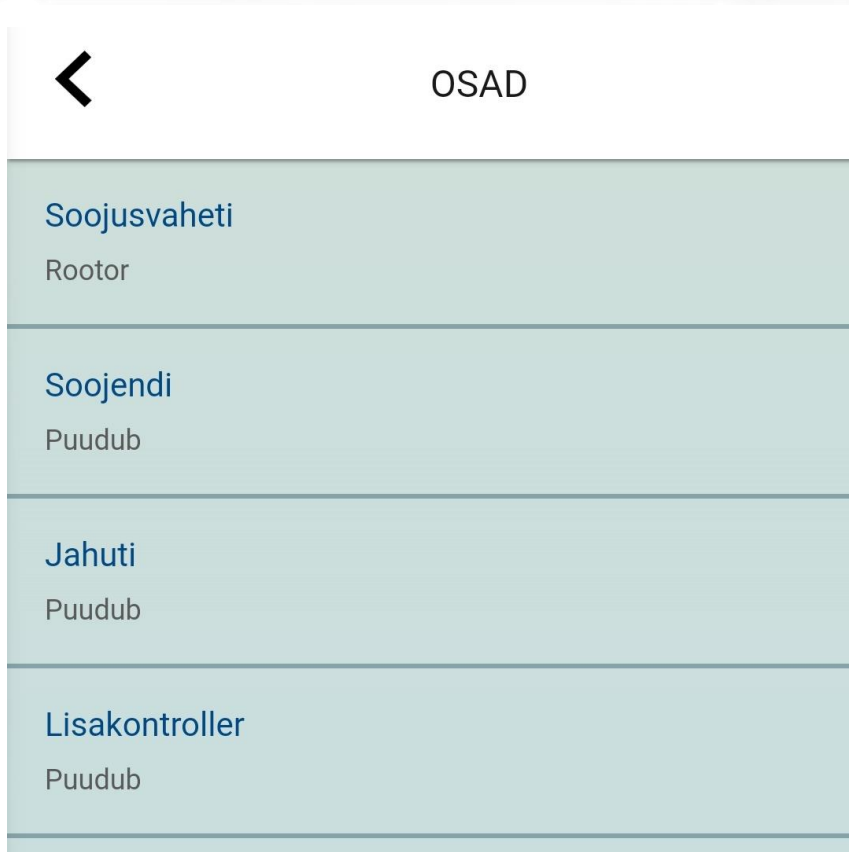
Avakuva →

Möödetud õhuvahetus palkelamutes ja kaasajastamise näide - Üllar Alev

10. november 2022

29

JUHTIMINE: MOBIILIVAARDE / JUHTPULT

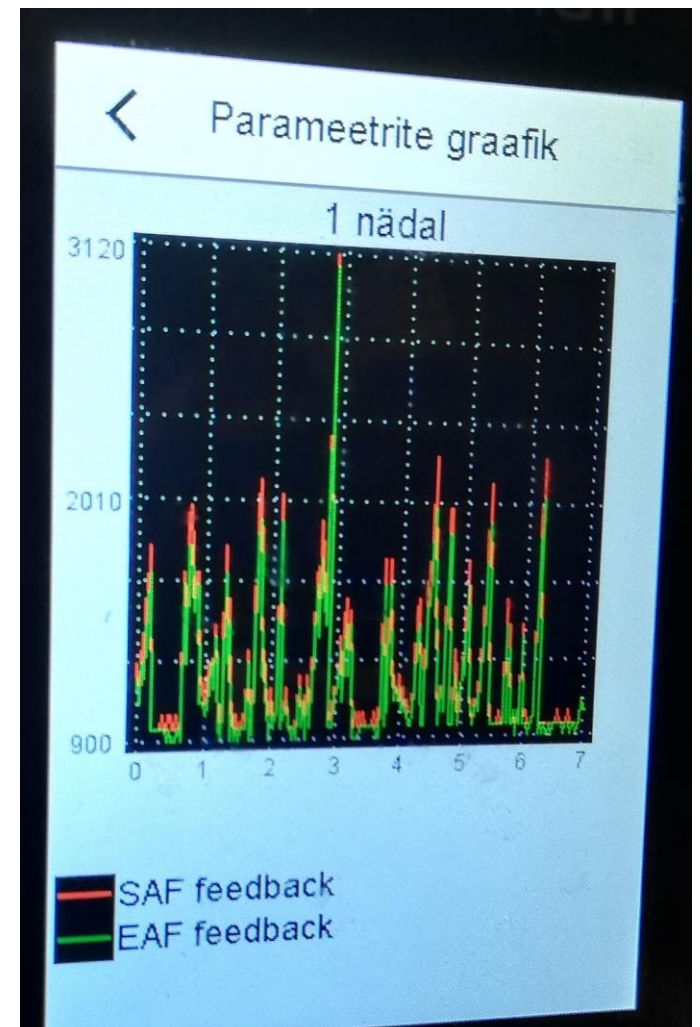
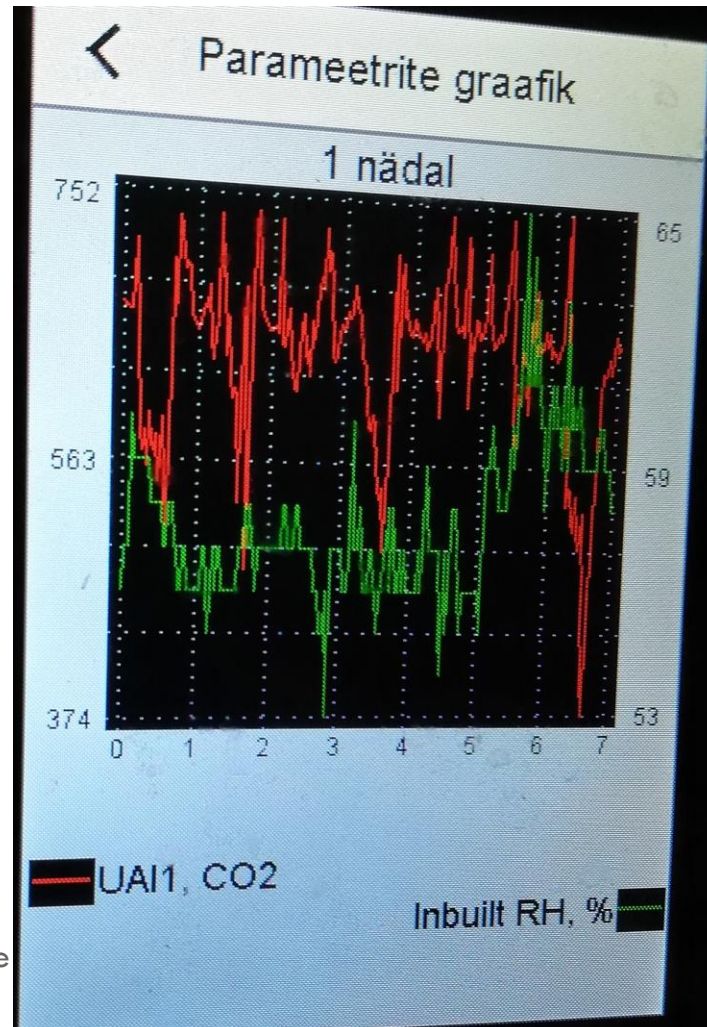
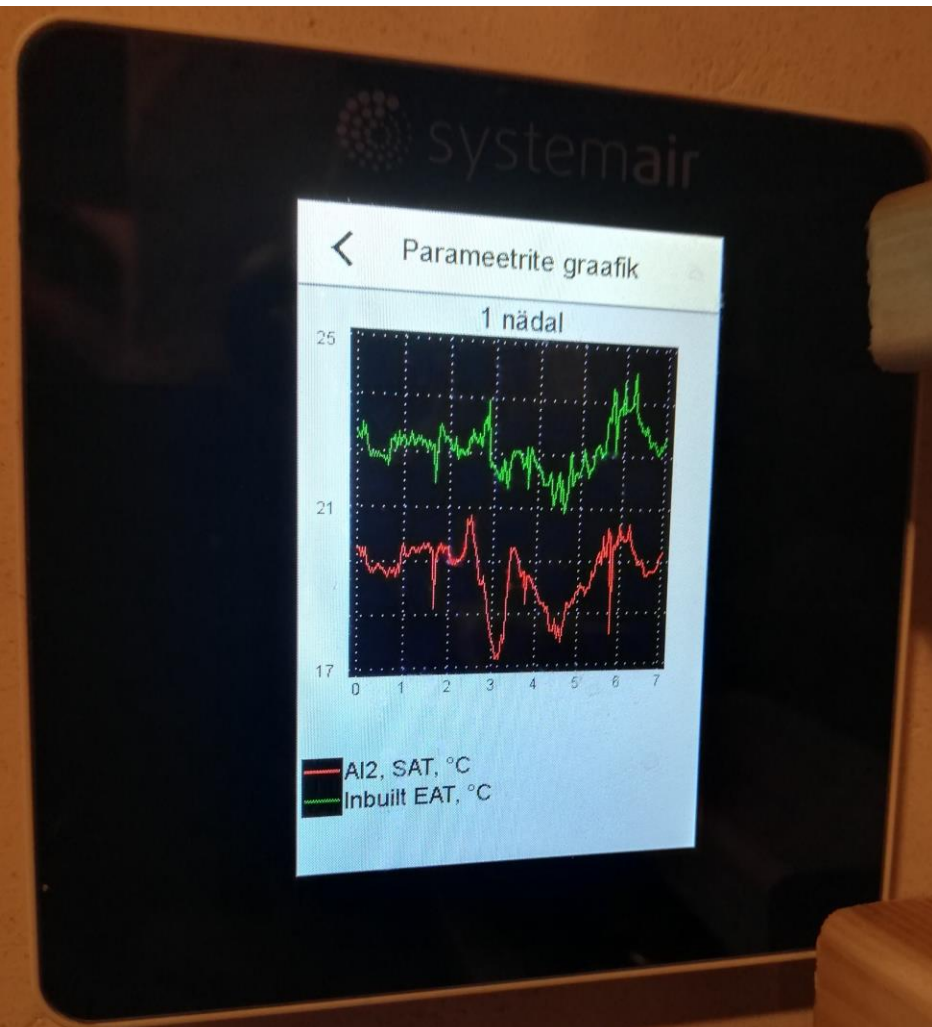


↑ **Küte välja lülitatud**

Möödetud õhuvahetus palkelamutes ja kaasajastamise näide - Üllar Alev

JUHTIMINE: JUHTPULT - LOGID

↓ Juhtpult seinal: SAT – sissepuhe; EAT – väljatõmme; CO₂; RH; SAF/EAF – ventilaatori kiirused



KOGEMUSED

- Ehitusmaksumus umbes 3000€ (2017-2018, 2021), s.h. 1742,77€ (2017) agregaat koos laekinnituse ja internetimooduliga, +188,4€ CO2 andur (2021)
- Ventilatsiooni käivitasin kohe kui majal „karp kinni“ – hädavajalik kuivatamiseks (suhtelise niiskuse alandamiseks).
- Hoolduskulu aastas: 2021 filtrikomplekti hind 38,64€, vahetus ise tehtav
- Tolmuste tööde ajaks seade välja lülitada (ja avad katta)!
- Kui suhteline niiskus ruumis oli üle 60% (ehitusniiskus), siis kogunes ka veidi kondensaati, kondensaadi toru pole paigaldanud.
- 2021 hakkas üks ventilaator lärmi tegema, müüja vahetas laagri ära garantiikorras
- Alguses oli probleeme tarkvaraga – peale elektrikatkestust unustas andurid ja seaded, viimasel paaril aastal peale tarkvarauuendusi pole esinenud.

MÜRA

Alguses

- Sissepuhkel ja väljatõmbel alguses jäik D160-50-1200 mürasummuti
- Öisel vaikselt ajal häiris eelkõige sissepuhke suund
- Heli levis piki torustikku ruumide vahel



2021 uuenduse järel

- Lisatud D160-1200 paindub sissepuhkele ja D160-600 väljatõmbele
- Lisatud D100-600 magamistubade sissepuhkele 4 tk – vaikus ja heli ei levi enam
- Suurtel kiirustel kuuldav duširuumis (agregaadi kõrvalruumis)
- Heli levib väljatõmbes köögi ja pesuruumi vahel – pole probleem
- Jäigal ja painduval erinevad karakteristikud madalatel sagedustel (paindub parem)

VENTILATSIOONI TASEMED JA RÕHUD

Olukord	Rõhk Pa	Kommentaar
25% sisse-välja	-2	Madal tase
60% sisse, 56% välja	0...-3	Keskmine
82% sisse, 80% välja	0...-3	Kõrge tase
	0	Aken lahti
16% sisse, 100% välja	-10...-13	Suitsulõhn
16% sisse, 60% välja	-4...-7	
16% sisse, 30% välja	-2...-3	
<u>Kaminarežiim</u> 90% sisse 16% välja	5...7	Positiivne rõhk

Õhulekkearv $q_{50} = 2,5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$

Kubu Gorenje DK63CLI (max 214 l/s – spetsifik.)

Systemair VSR 300 (max 78 l/s – mõõdetud)

Halvad olukorrad (<i>kütta ei saa!</i>)	Rõhk Pa
16% sisse, 60% välja + aken tuulutus (4tk) + kubu max kiirusel	-14
16% sisse, 60% välja + aknad kinni + kubu max kiirusel	-25
16% sisse, 100% välja , kubu max kiirusel	-34
16% sisse, 100% välja , kubu keskmine kiirus	-28
16% sisse, 100% välja , kubu madal kiirus	-23
16% sisse, 100% välja , kubu väljas	-9
60% sisse, 56% välja, madal asend kubu	-8
60% sisse, 56% välja, keskmine asend kubu	-13
60% sisse, 56% välja, kõrge asend kubu	-15

VENTILATSIOONISÜSTEEMI HOOLDUS

- Ventilatsiooniagregaadi filtreid tuleb puhastada või vahetada vähemalt kaks korda aastas (alati õietolmuperioodi järel). Filtreid puhastada näiteks tolmuimejaga ja/või suruõhujoaga.
- Filtrid vahetatakse uute samasuguste vastu, kui filtri saastumine hakkab vähendama õhuvoolu. Filtri saastumine suurendab rõhukadusi ja energiakulu, vähendab õhuvoolu, nõrgendab soojustagastuse kasutegurit ja halvendab siseõhu kvaliteeti.
- Soojustagasti kärg või rootor eemaldatakse ja pestakse veega iga 2-3 aasta tagant. Pesuvette võib lisada veidi nõudepesuvahendit.
- Seadmete hooldusest saab täpsemaid juhiseid tootja kasutus- ja hooldusjuhendist. Ventagregaadid tuleb alati hoolduse ajaks elektrivõrgust välja lülitada.
- Ventiilide õhupiludesse kogunenud tolm imetakse ära igal aastal. Eriti vajavad puhastamist niiskete ruumide väljatõmbeventiilid. Vajadusel võib ventiili maha võtta ja põhjalikumalt puhastada. Ventiilide seadet (asendit) ei ohi muuta, et ruumide rõhusuhted ei muutuks.
- Õhuvahetuskanaleid tuleb puhastada vähemalt iga 10 aasta tagant.
- Katuse läbiviikude seisukorda ja veetihedust tuleb kontrollida igal aastal.

TEHKE JÄRGI!

Mul ei ole vaja:

- ✓ õhuvärskendajaid;
- ✓ aknaid talvel avada – tuba tuulutada;
- ✓ süsteemi reguleerida – töötab vastavalt vajadusele (CO₂);
- ✓ tulekollete süütamisel tõmmet parandada – olemas kamina režiim.

VÄRSKE ÕHK ja energiatõhus kodu

Täna tähelepanu eest!

