



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

Perioodil 1940 - 1990 ehitatud ühepereelamute tellis-kergseinte renoveerimislahendused

Renovation solutions for brick masonry wall of residential buildings built between 1940-1990 MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Mihhail Suvalov
Üliõpilaskood: 165292EAEI
Juhendaja: Targo Kalamees,
ehitusfüüsika professor
Kaasjuhendaja: Siim Lomp, ekspert

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"19. detsember" 19.12.2022

Autor: Mihhail Suvalov

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"19. detsember" 19.12.2022

Juhendaja: Targo Kalamees

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Mihhail Suvalov (sünnikuupäev: 13.11.1997)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
Perioodil 1940 - 1990 ehitatud ühepereelamute tellis-kerkseinte renoveerimislahendused,

mille juhendaja on *Targo Kalamees*

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

_____ (allkiri)

19.12.2022

Ehituse ja arhitektuuri instituut
Liginullenergiahoonete uurimisrühm

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Mihhail Suvalov, 165292
Õppekava, peeriala: EAEI02/17 - Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine
Juhendaja(d): Targo Kalamees, professor
Siim Lomp, ekspert

Lõputöö teema:

(eesti keeles) *Perioodil 1940-1990 ehitatud tellis-kerkseintega ühepereelamu renoveerimise lahendused*

(inglise keeles) *Renovation solutions for brick masonry wall of residential buildings built between 1940-1990*

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Selgitada välja II. maailmasõja järgse perioodi tellisseintega eramute ja korterelamute ehitustehniline olukord
2. Hinnata seniseid renoveerimislahendusi ning nende tegelikku toimuvust ja vastupidavust
3. Hinnata renoveerimisvajadust ning pakkuda tüüphoonete baasil renoveerimislahendused energiatõhususe „A“, „B“ ja „C“ klassi saavutamiseks

Lõputöö etapid ja ajakava:

| Nr | Ülesande kirjeldus | Tähtaeg |
|-----------|---|----------------|
| 1. | Lõputöö struktuur esialgse sisukorrana, kirjanduse ülevaade ja lõputöö meetodite kirjeldus | 10.10.22 |
| 2. | 75% lõputööst on valmis, on analüüsitud hoonete seisukord enne renoveerimislahenduste rakendamist | 24.10.22 |
| 3. | Lõputöö esitamine | 19.12.22 |

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 19.12.2022 a

Üliõpilane: Mihhail Suvalov 19.12.2022a
/allkiri/

Juhendaja: Targo Kalamees
"....."201....a
/allkiri

Konsultant:
"....."201....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

| | |
|---|-----------|
| Sisukord | 5 |
| Eessõna | 8 |
| 1 Sissejuhatus | 9 |
| 1.1 Eesti kliimaeesmärgid | 9 |
| 1.2 Energiatõhususe miinimumnõuded | 9 |
| 1.3 Uurimistöö eesmärk | 10 |
| 1.4 Uuritavad telliseseinte tüübid | 11 |
| 1.4.1 Gerardi sein | 11 |
| 1.4.2 Roloksein | 12 |
| 1.4.3 Nopsasein | 12 |
| 1.4.4 Harju sein | 14 |
| 1.5 Miljööväärtusega alad | 14 |
| 1.6 Piirdetarindite soojustehnilist toimivust mõjutavad tegurid | 15 |
| 1.6.1 Õhulekked | 15 |
| 1.6.2 Külmasillad | 15 |
| 1.7 Piirdetarindite niiskustehnilist toimivust mõjutavad tegurid | 17 |
| 1.7.1 Niiskuslisa | 17 |
| 1.7.2 Materjalide kriitiline niiskus | 18 |
| 1.8 Energiatõhususe parandamisviisid | 20 |
| 1.8.1 Välisseinte seespoolne soojustamine | 20 |
| 1.8.2 PUR vahu süstimine | 21 |
| 1.8.3 Akende väljavahetamine | 21 |
| 1.8.4 Kütte- ja ventilatsioonisüsteemine uuendamine | 22 |
| 1.8.5 Õhupidavuse parandamine | 23 |
| 1.8.6 Päikesepaneelide kasutamine | 23 |
| 2 Meetodid | 25 |
| 2.1 Uurimisobjektid | 25 |
| 2.1.1 Uurimisobjektide valimine | 25 |
| 2.1.2 Süvauuringu objektid | 27 |
| 2.2 Uuringud | 28 |
| 2.2.1 Elanike ankeetküsitlus | 28 |
| 2.2.2 Õhulekketest | 28 |
| 2.2.3 Termograafia | 30 |
| 2.2.4 Piirdetarindite soojusläbivuse mõõtmine | 30 |
| 2.3 Arvutused | 33 |
| 2.3.1 Soojuskadude arvutused | 33 |
| 2.3.2 Energiatõhususe arvutused | 34 |
| 2.3.3 Mõõtetulemuste seire/olukorra mudeldamine | 36 |
| 2.4 Renoveerimislahenduste väljatöötamine | 37 |
| 2.4.1 Kombinatsioonitabelite koostamine | 38 |
| 3 Tulemused | 40 |
| 3.1 Telliseseina PUR vahuga süstimine Tartu 34a, Võru korterelamu näitel | 40 |
| 3.2 Osaliselt renoveeritud ja renoveerimata hoonete energiatõhussusarvu võrdlus | 43 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.2.1 | Lodjapuu 9a | 43 |
| 3.2.2 | Seljaku 12 | 44 |
| 3.2.3 | Edu 24 | 44 |
| 3.2.4 | Matka tee 6 | 45 |
| 3.2.5 | Rohula 47 | 45 |
| 3.2.6 | Villardi 30 | 45 |
| 3.2.7 | Ümera 8 | 46 |
| 3.2.8 | Järve 8 | 46 |
| 3.2.9 | Tartu 34a | 46 |
| 3.2.10 | Järeldused | 47 |
| 3.3 | Soojusvooplaatidest saadud tulemused | 48 |
| 3.3.1 | Tartu 34a, Võru | 48 |
| 3.3.2 | Ümera 8, Tartu | 49 |
| 3.3.3 | Rohula 47, Tallinn | 51 |
| 4 | Tulemuste hindamine | 52 |
| 4.1 | Nopsaseina renoveerimislahendused | 52 |
| 4.1.1 | Väljaspoolne soojustamine | 52 |
| 4.2 | Harju seina renoveerimislahendused | 54 |
| 4.2.1 | Väljaspoolne soojustamine | 54 |
| 4.2.2 | Seespoolne soojustamine | 55 |
| 4.3 | Gaasbetoonplokkidest sein | 56 |
| 4.3.1 | Väljastpoolt soojustamine | 56 |
| 5 | Järeldused | 59 |
| | Kokkuvõte | 60 |
| | Summary | 61 |
| | Kasutatud kirjanduse loetelu | 62 |
| | Lisad | 65 |
| Lisa 1 | Küsitlusankeet eramu tehnilise seisukorra kohta | 66 |
| Lisa 2 | Uuritavate hoonete kirjeldused | 70 |
| L2.1. | Lodjapuu 9a, Tallinn | 70 |
| L2.2. | Seljaku 12, Tallinn | 71 |
| L2.3. | Edu 24, Tallinn | 72 |
| L2.4. | Matka tee 6, Tallinn | 73 |
| L2.5. | Rohula 47, Tallinn | 74 |
| L2.6. | Villardi 30, Tallinn | 75 |
| L2.7. | Ümera 8, Tartu | 76 |
| L2.8. | Järve 8, Tõrva | 77 |
| L2.9. | Tartu 34a, Võru | 78 |
| Lisa 3 | ETA tabelite alusel saadud küttevajaduste võrdlus mõõdetud küttekuluga | 79 |
| L3.1. | Lodjapuu 9a, Tallinn | 79 |
| L3.2. | Edu 24, Tallinn | 80 |
| L3.3. | Matka tee 6, Tallinn | 81 |
| L3.4. | Rohula 47, Tallinn | 82 |
| L3.5. | Villardi 30, Tallinn | 83 |
| L3.6. | Ümera 8, Tartu | 84 |
| L3.7. | Tartu 34a, Võru | 85 |
| Lisa 4 | Uuritavate hoonete kombinatsioonitabelid | 86 |
| L4.1. | Lodjapuu 9a, Tallinn | 86 |

| | |
|---|------------|
| L4.1.1. Renoveerimata hoone piirväärtused | 86 |
| L4.1.2. Renoveerimata hoone C – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid | 87 |
| L4.1.3. Renoveerimata hoone B – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid | 91 |
| L4.2. Edu 24, Tallinn | 91 |
| L4.2.1. Renoveerimata hoone piirväärtused | 91 |
| L4.2.2. Renoveerimata hoone C – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid | 93 |
| L4.2.3. Renoveerimata hoone B – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid | 96 |
| L4.3. Järve 8, Tõrva | 97 |
| L4.3.1. Renoveerimata hoone piirväärtused | 97 |
| L4.3.2. Renoveerimata hoone C – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid | 99 |
| L4.3.3. Renoveerimata hoone B – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid | 101 |
| L4.4. Tartu 34a, Võru | 103 |
| L4.4.1. Renoveerimata hoone piirväärtused | 103 |
| L4.4.2. Renoveerimata hoone C – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid | 105 |
| L4.4.3. Renoveerimata hoone B – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid | 109 |
| L4.5. Ümera 8, Tartu | 111 |
| L4.5.1. Renoveerimata hoone piirväärtused | 111 |
| L4.5.2. Renoveerimata hoone C – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid | 113 |
| L4.5.3. Renoveerimata hoone B – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid | 117 |
| Lisa 5 Tartu 34 temperatuuri ja suhtelise niiskuse graafikud | 120 |
| 121 | |
| GRAAFILINE OSA | 122 |

EESSÕNA

Käesoleva magistritöö teema oli pakutud juhendaja Targo Kalamehe poolt. Uurimistöö on osaks *LIFE IP BuildEST* programmist, mille eesmärk on muuhulgas täita Euroopa Liidu poolt kehtestatud kliimaeesmärgid ning renoveerida ja muuta energiatõhusamaks olemasolevat hoonefondi Eestis. Töö käigus uuriti tellis-kergseintega hooneid asukohaga Harjumaal, Võrumaal ja Tartumaal. Uuringute tulemuste alusel töötati välja tüüplahendused hoonete renoveerimiseks ja energiatõhususklasside „A“, „B“ ja „C“ saavutamiseks.

Uuringuobjektide otsimisel, õhulekketestide läbiviimisel ning hoonete uuringuankeetide koostamisel oli suureks abiks lõputöö juhendaja Targo Kalamees ja kaasjuhendaja Siim Lomp. Elanike küsitlustega ja nende käest täiendava informatsiooni saamisega aitas Kateriin Ambrozevits. Täiendavate mõõtmiste teostamisel objektidel aitasid Karl Kimmel, Jette Paat ja Markus Uuetoa.

Avaldan tänu uurimistöö uuritud elamute elanikke ja korteriühistute esimehi oma panuse eest uurimistöö õnnestumisesse.

1 SISSEJUHATUS

1.1 Eesti kliimaeesmärgid

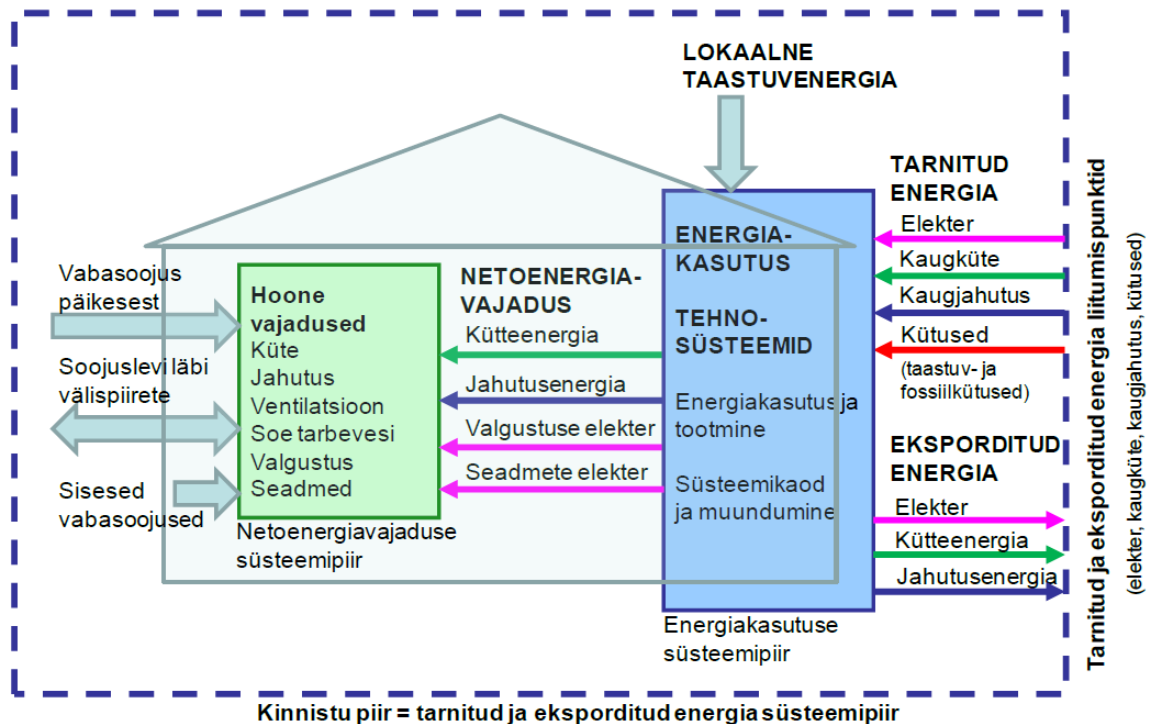
Euroopa Liidu (EL) liikmena on kohustatud Eesti oma energiasüsteemi ümber korraldada selliselt, et vähendada süsihappegaasi teket märkimisväärselt. Energiatootmine ja -kasutamine moodustab 75% Euroopa Liidu kasvuhoonegaaside heitest[1] ning hoonete energiatarbimine moodustab 40% Euroopa Liidu energiatarbimisest [2] ning 36% kasvuhoonegaaside heitest[3]. Seega kavandas Euroopa Liit pikaajalise strateegia CO₂-neutraalsuse saavutamiseks 2050. aastaks.

Eestis omakorda töötati välja oma strateegiat, et saavutada Euroopa Liidu poolt kehtestatud kliimaeesmärgid. Strateegia eesmärgiks on aastaks 2050 renoveerida 54 miljonit ruutmeetrit olemasolevat elupinda, mis hõlmab 100 000 üksikelamut, 14 000 korterelamut ja 27 000 mitteeluhoonet. Peale renoveerimist peab kogu hoonefond saavutama vähemalt „C“ energiaklassi. [4]S

1.2 Energiatõhususe miinimumnõuded

Eesti hoonete energiatarbimise vähendamiseks on kehtestatud määrus nr 63. „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded“. Määrust rakendatakse nii eluhoonetele kui ka mitteeluhoonetele ning energiatõhususarvu arvutamisel võetakse arvesse ka sellele hoonele kuuluvaid lokaalseid energiasüsteeme (näiteks päikesepaneelid, päikesekollektorid). [5]

Energiatõhususarv on summaarne väärtus kõikidest energia vajavatest süsteemidest (ruumide küte, vee soojendamine, elektriseadmed, valgustus, ventilatsioon ja jahutus), mis on arvutatud hoone kätava pinna ruutmeeri kohta.[5]



Joonis 1.1 Tarnitud ja eksporditud energia süsteemi piir

Energiatõhususarvu (ETA) või kaalutud energiakasutus (KEK) klassi määratakse kindlaks hoone energiatõhususarvu ja hoone kasutamise otstarbe alusel. [6]

Tabel 1.1 Energiatõhususarvude piirväärtused[6]

| Hoone | Energiatõhususarv, kWh/(m ² *a) | | |
|--|--|-----------|-----------|
| | A - klass | B - klass | C - klass |
| 1) väikeelamu koetava pinnaga < 120 m ² | 145 | 165 | 185 |
| 2) väikeelamu koetava pinnaga 120-220 m ² | 120 | 140 | 160 |
| 3) väikeelamu koetava pinnaga > 220 m ² | 100 | 120 | 140 |
| 4) korterelamu | 105 | 125 | 150 |

1.3 Uurimistöö eesmärk

Uurimistöö eesmärk on:

- Selgitada välja II maailmasõja järgse perioodi tellisestega eramute ehitustehniline olukord;
- Hinnata seniseid renoveerimislahendusi ning nende tegelikku toimuvust ja vastupidavust;

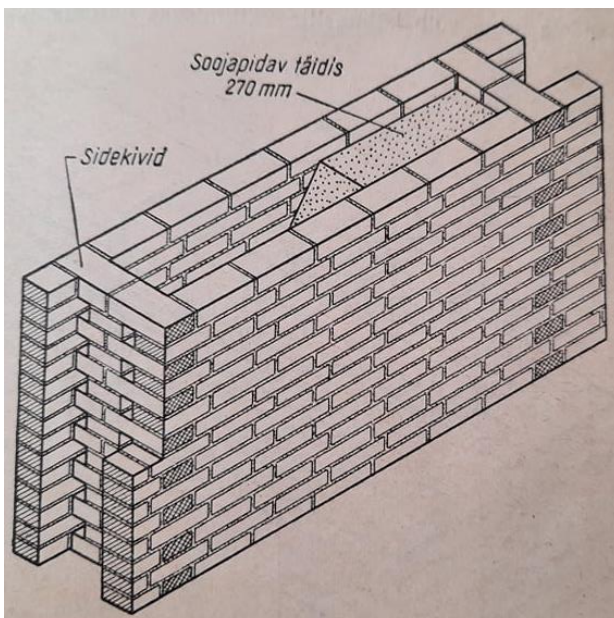
- Pakkuda tüüpelamute baasil renoveerimislahendused energiatõhususe „A“, „B“ ja „C“ klassi saavutamiseks.

1.4 Uuritavad tellisseinte tüübid

Enamus eramutest Eestis olid ehitatud vahemikus 1940 – 1990 a. Selle perioodi eripäraks oli see, et paljud eramud olid sama konstruktsioonitüübiga, mis võimaldab ühe uuringuga hõlmata suur osa elamufondist. Tellisseintega elamuid on Eesti elamufondis üle 35%. [7]

1.4.1 Gerardi sein

Gerardi sein koosneb kahest tellisekihist, mille vahel asub urbne täidis. Kahe tellisekihi omavaheliseks sidumiseks kasutatakse püstsideseinasid või traatsideankruid. Seejuures püstsideseinte samm on tavaliselt 1,5 kuni 2 m, sideankurdus on teostatud iga 4 kuni 6 m tagant. Kuna mõlemad sidumisviisid moodustuvad külmasilla, siis osad Gerardi seinad on ehitatud piilaritega sammuga 1,5 kuni 2 meetrit. Müüri ladumise ajal, enne soojustuse paigaldamist, asetatakse sisemise tellisekihi välimisele pinnale tõrvapapp, et vältida niiskuse levikut siseruumist konstruktsiooni. [8], [9]

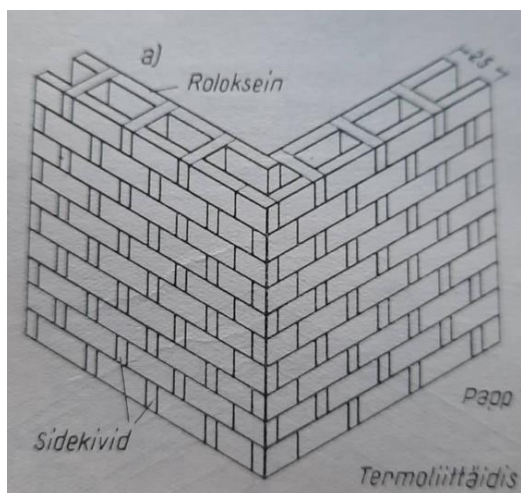


Joonis 1.2 Gerardi sein

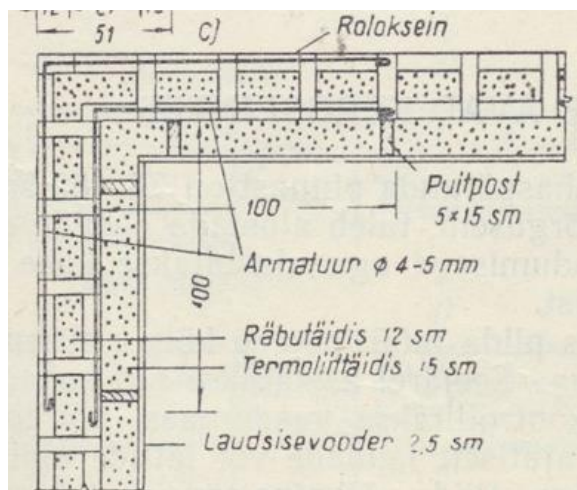
1.4.2 Roloksein

Roloksein on laotud servitellistest ning tema paksuseks on 1 kivi paksus. Kaks tellisekihti on iga kivi tagant omavahel seotud ning kahe kihi vahel asub soojustus. Rolokseina kogu paksus on 25cm, mis ei anna piisavalt soojustakistust, seega rolokseina soojustatakse täiendavalt seestpoolt kas TEP plaadiga või ehitatakse seinale peale puitkarkass, mille vahele läheb täiendav soojustus. [8], [9]

Kuna antud ladumisviis



Joonis 1.3 Roloksein välispind

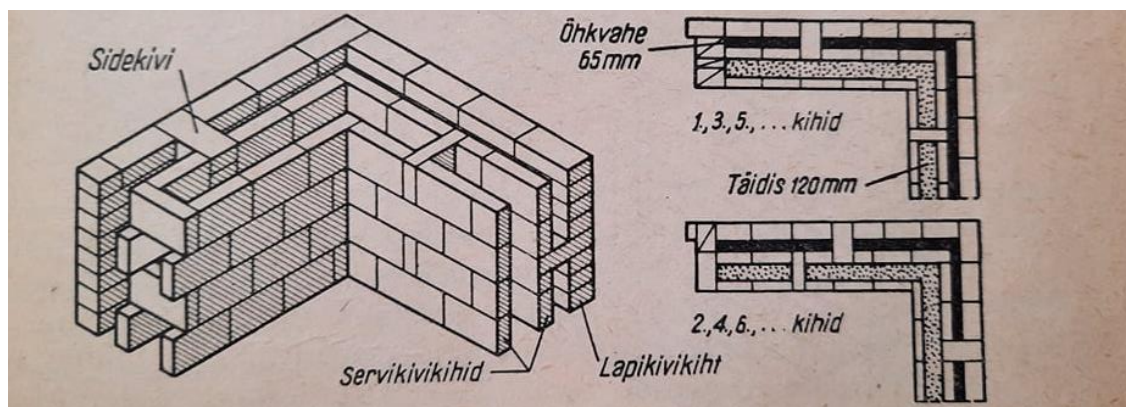


Joonis 1.4 Laudsiveoodriga rolokseina nurk

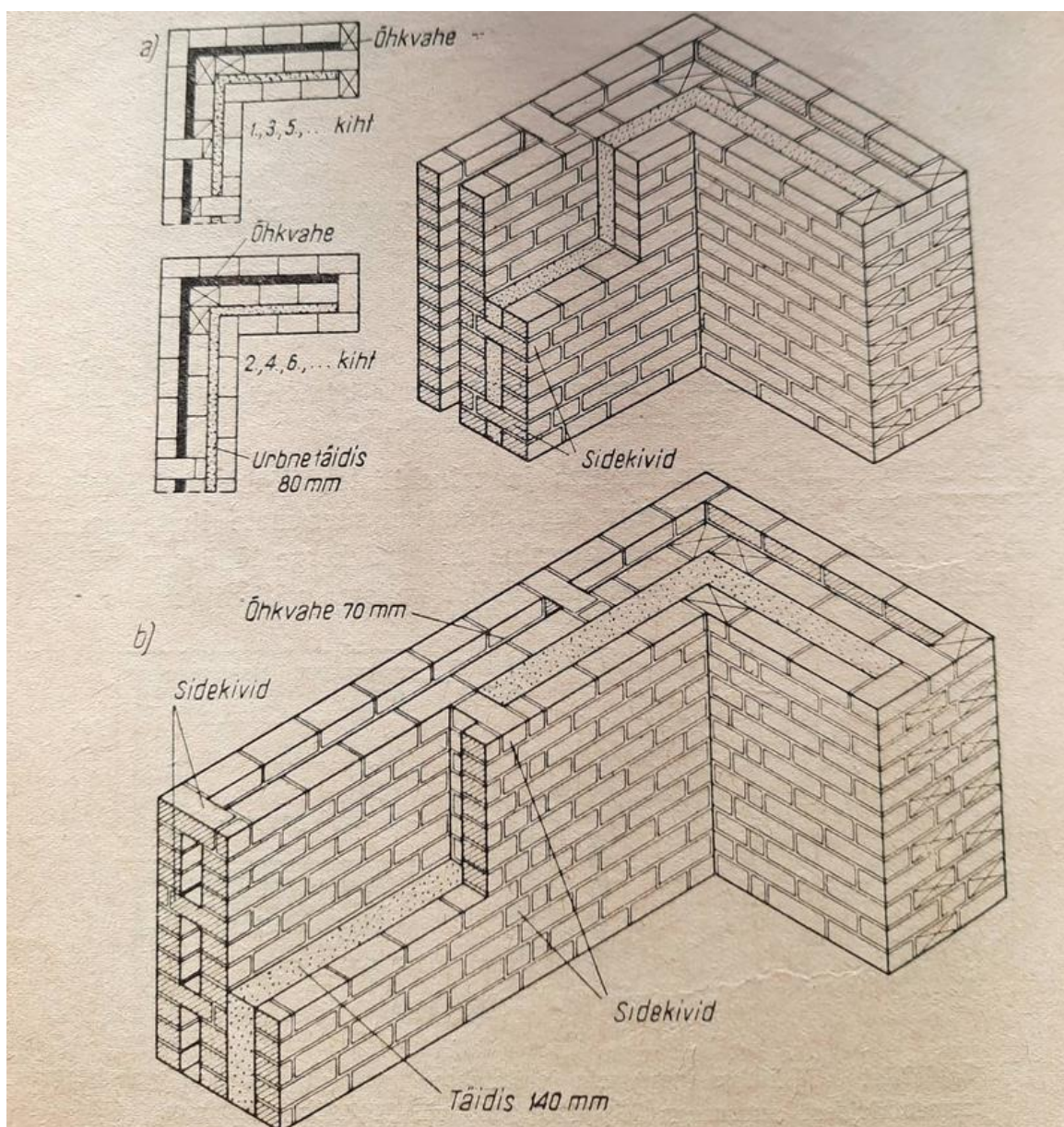
1.4.3 Nopsasein

Nopsasein sarnaselt rolokseinaga koosneb servitellistest sellise erinevusega, et see on laotud kolmes kihis, mis on omavahel seotud sidekividega iga nelja kivi tagant. Nopsaseina on võimalik laduda ka kolmest lapikihist. Sellega saavutatakse seinale suurema tugevuse, mis võimaldab kasutada antud seinale ka kortermajade ehitamisel. Nopsaseina sisemine vahe on üldjuhul täidetud termoliit täidisega, välimine aga jäetud täitmata ja peab kaitsma termoliiti täidist niiskuse eest. Parema soojapidavuse saavutamiseks on ka nii tehtud, et välimist vahet täiendatakse räbutäidisega. [8], [9]

Enamasti siiski on kõige levinum selline variant, kus välimine vahe jääb täitmata. Selle ventilierimata õhkvahe



Joonis 1.5 Lapikivst väliskihiga nopsasein

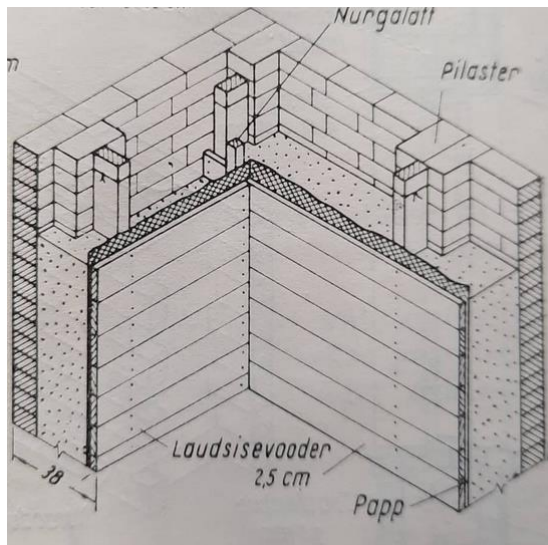


Joonis 1.6 Lapikivist laotud nopsasein. a - 80-mm-se täidiskihiga nopsasein, b - 140-mm-se täidiskihiga nopsasein

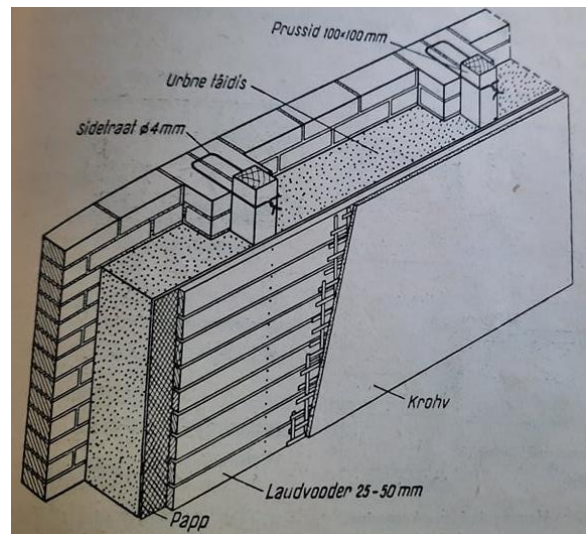
1.4.4 Harju sein

Harju seina väliskiht on laotud kas serviti või lapiti tellistest ning seina sisekiht on puit- või TEP-plaat-sisevooder. Sellisel seinatüübil on kandvaks osaks on välimine tellis. Kui tellisekiht laotatakse lapiti, siis seina tugevdamiseks iga kolmanda kivi järel laotatakse ka pilaster.

Pilastrite külge kinnitatakse sidumistraadi abil puitroovid. Pilastri kogupikkuse ulatuses vuugi sisse müüri ladumise ajal müüritakse kolm – neli sidumistraati. Kui katus on peal, kinnitatakse puitpostid pilastrite külge. Puitpostide tüüpiliseks ristlõikeks on 50x100 mm ja 100x100 mm.



Joonis 1.7 50x100-mm-se ristlõikega prussiga Harju sein



Joonis 1.8 100x100-mm-se ristlõikega prussiga Harju sein

1.5 Miljööväärtusega alad

Paljude uuritavate hoonete puhul on esialgse välisilme säilitamine väga oluline. Ajaloolistel hoonetel on tavaliselt loetletud väärtuslikud tunnused ja omadused, mida tuleb hoonete renoveerimisel säilitada.[10] Hoonete fassaadid, katuse kalded, hoonete mahud, akende ja uste kuju, lisaks ka kasutatud materjalid - kõigil on kultuuriväärtus. Renoveerimislahenduste väljatöötamisel tuleb arvestada sellise asjaoluga, et välistarindite algset viimistlust ei pruugi lubada muuta. Seega väljastpoolt soojustamine visuaalselt sobiva väljanägemisega võib osutada väga keeruliseks.[11]

1.6 Piirdetarindite soojustehnilist toimivust mõjutavad tegurid

1.6.1 Õhulekked

Õhulekete kaudu liigub õhk sõltuvalt sise- ja välisrõhu erinevusest kas hoonest väljapoole või sissepoole. Õhurõhkude erinevust kahel pool välispiiret võib näiteks põhjustada tuul, temperatuuride erinevused, sissepuhe ja väljatõmme seadmed. Õhulekked alandavad temperatuuri tarindi sees, tarindi sisepinnal ja ühtlasi ka siseruumides. See toob kaasa suhtelise niiskuse taseme suurendamist ja seeläbi ka kondenseerumisohtu tekkimist. Suhtelise niiskuse 80% taseme ületamisel võivad tarindis hakata tekkima hallituse osakesed ja veeauru kondenseerumisel võivad esineda tarindi sees külmakahjustused.

Õhutiheduse saavutamiseks tuleb kasutada tarindis õhutihedaid materjale. Vastavalt määrusele „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded“ ei tohi hoone välispiirde keskmine õhulekke arv olla suurem väärtusest, mida on kasutatud energiaarvutustes. Energiaarvustes tuleb kasutada saadud õhulekkearvu või kui tegelik õhulekkearv ei ole mõõdetud, siis tuleb kasutada Tabel 1.2 toodud baasväärtusi. [5]

Tabel 1.2 Hoone õhulekkearvu baasväärtused välispiirde ruutmeetri kohta[6]

| Kasutusotstarve | Õhulekkearvu baasväärtus m ³ /(h·m ²) | |
|-----------------|--|-------------------------------------|
| | Uus hoone, oluline rekonstrueerimine | Rekonstrueerimine, olemasolev hoone |
| Väikeelamu | 4 | 6 |
| Muu hoone | 2,5 | 4 |

Hoonete õhupidavust hinnatakse õhulekkearvu q_{E50} abil. Õhulekkearv näitab kui suur õhuvooluhulk läbib 1 ruutmeetri pindalaga piiret ühe tunni jooksul, kui kahel pool piiret on õhurõhkude erinevus reeglina 50 Pa.

$$q_{E50} = \frac{q_{50}}{A_E},$$

kus q_{50} - õhulekke vooluhulk rõhuvahel 50 Pa, m³/h,
 A_E - hoone piirdetarindite pindala, m².

1.6.2 Külmasillad

Külmasillad suurendavad hoonete energiakulu. Külmasild on välispiire osa, kus soojuslähivus võrreldes kogu tarindi ühtlase soojuslähivusega on lokaalselt suurem.

Vastavalt EVS-EN ISO 10211:2017 „Külmasillad hoones. Soojusvoolud ja pinnatemperatuurid. Detailsed arvutused“ eristatakse kaks tüüpi külmasildu – joonkülmasild ja punktkülmasild. [12]

Kõige levinumad külmasillad on näiteks välisseinte liitumine, katuse ja välisseina liitumine, pörandi ja välisseina liitumine ja aknasõlm.

Oluline näitaja külmasildade mõju hindamiseks on sisepinna temperatuuriindeks, mis võrdub sisepinna temperatuuri ja välisõhutemperatuuride vahe, jagatud siseõhu temperatuuri ja välisõhutemperatuuri vahega.[13]

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

- kus f_{Rsi} – temperatuuriindeks;
 θ_{si} – sisepinna temperatuur, °C;
 θ_e – välisõhu temperatuur, °C;
 θ_i – siseõhu temperatuur, °C.

Seejuures temperatuuriindeksi arvutamisel tuleb kõigil valgust mitteläbilaskvatel pindadel kasutada sisepinna soojustakistuseks 0,25 m²*K/W. Sellega arvestatakse mööbliga, kardinatega ja muude asjadega, mis võivad uuritava pinna kõrval olla.[14]

Vastavalt standardile EVS-EN ISO 13788:2012 „Hoone elementide ja piirdetarindite soojus- ja niiskustehniline toimivus“, hoonete ehitamisel ja renoveerimisel tuleb lähtuda Tabel 1.3 ja Tabel 1.4 toodud väärtustest.

Tabel 1.3 Temperatuuriindeksite piirsuurused Eestis hoonete projekteerimisel ja soojusliku kvaliteedi hindamisel[13]

| Niiskusklass | Temperatuuriindeksi piirsuurus $f_{Rsi,min}$ | |
|--------------|--|---|
| | Uued ja rekonstrueeritud hooned | Enne 2000. aastat ehitatud või rekonstrueeritud hooned olemasoleva olukorra hindamiseks |
| 3 | 0,8 | 0,8 |
| ≤2 | 0,8 | 0,65 |

Tabel 1.4 Temperatuuriindeksite piirsuurused Eestis hoonete projekteerimisel aknaraamile veeauru kondenseerumise vältimiseks[13]

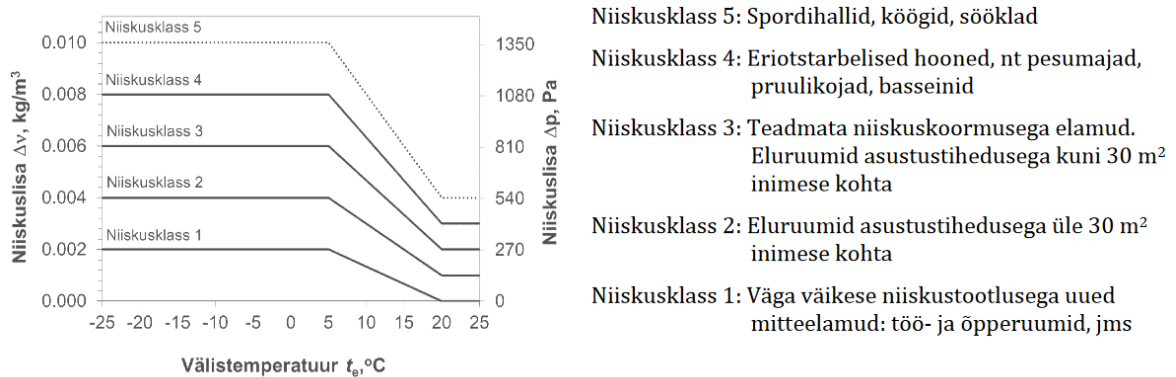
| Niiskusklass | Temperatuuriindeksi piirsuurus $f_{Rsi,min}$ |
|--------------|--|
| 3 | ≥0,7 |
| ≤2 | ≥0,55 |

1.7 Piirdetarindite niiskustehnilist toimivust mõjutavad tegurid

1.7.1 Niiskuslisa

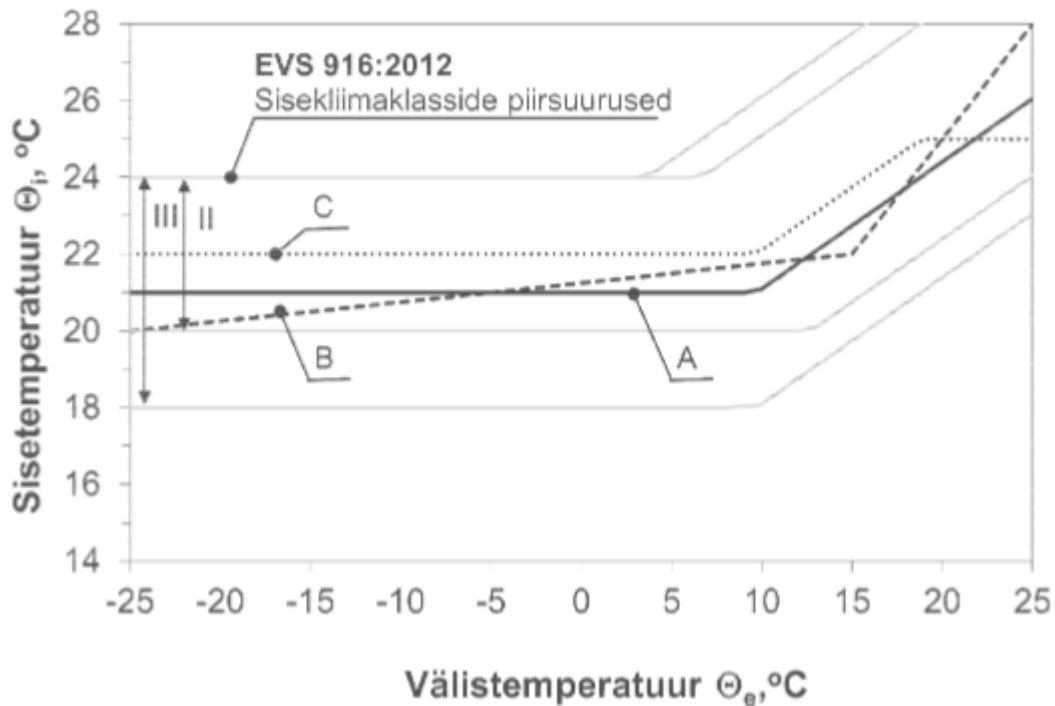
Niiskuslisa koosneb inimtegevusega seotud niiskuse tekkimisest, näiteks hingamisest ja higistamisest või pesu kuivatamisest ja põrandate pesemisest, ning niiskuslisa vähendatakse hoone õhuvahetuse ehk ventilatsiooniga. Kuna suvel inimesed reeglina tuulutavad oma maju, seega on eeldatud, et suveperioodil on niiskuslisa väiksem ja talveperioodil suurem. [13]

Sõltuvalt niiskuskoormusest vastavalt standardile EVS-EN ISO 13788:2012 „Hoone elementide ja piirdetarindite soojus- ja niiskustehniline toimivus“ eristatakse 5 niiskusklassi, mis on esitatud Joonis 1.9.



Joonis 1.9 Arvutusliku niiskuslisa sõltuvus välistemperatuurist Eesti hoonetel

Niiskustehniliste arvutuste teostamisel vastavalt standardile EVS-EN ISO 13788:2012 „Hoone elementide ja piirdetarindite soojus- ja niiskustehniline toimivus“ lähtutakse kolmest arvutuslikust temperatuurist, mis on esitatud Joonis 1.10.[13]



Joonis 1.10 Arvutusliku sisetemperatuuri sõltuvus välitemperatuurist Eesti elamutes

- Olukord A - Välitemperatuuri abil juhitud keskküttesüsteem vanemates (nt ehitusaasta < 2000.a) elamutes;
- Olukord B - Lokaalne küte;
- Olukord C - Välitemperatuuri abil juhitud elamute keskküttesüsteem uuemates (nt 2000. a või hiljem ehitatud) elamutes + jahutus.

1.7.2 Materjalide kriitiline niiskus

Kriitiline niiskus on suhtelise niiskuse väärtus, mille ületamisel hakkavad erinevates materjalides toimuma niiskuskahjustused. Nende hulgast võib näiteks eristada niiskuse kondenseerumist ja sellest tulenevalt materjalide omaduste halvenemist, mikrobioloogilise elu teke materjalides, sealhulgas hallituse teke, metalli korrosioon jms. Kriitilise niiskuse tase sõltub materjali omadusest ning see on reeglina antud materjali tootja poolt. [15]

Kriitilise niiskuse arvutamiseks on A. Hukka ja H. A. Viitanen poolt koostatud valem[16]:

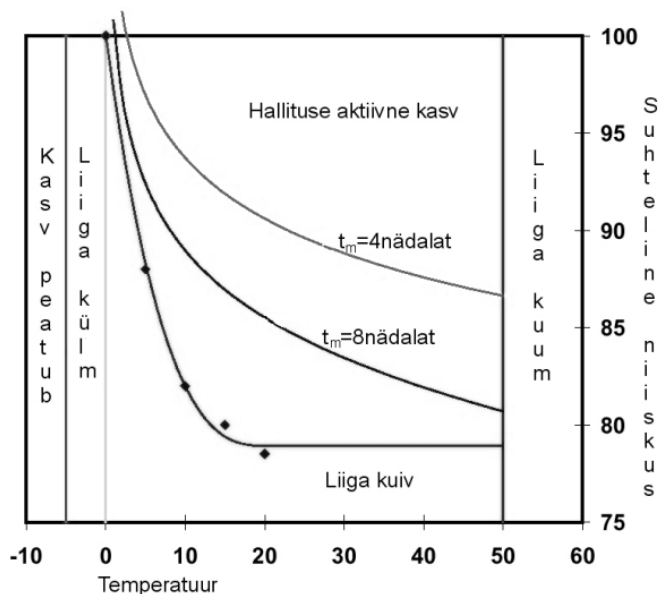
$$RH_{crit} = \begin{cases} -0.00267T^3 + 0.160T^2 - 3.13T + 100.0, & \text{kui } T \leq 20 \\ RH_{80\%} & \text{kui } T > 20 \end{cases}$$

kus RH_{crit} – kriitiline niiskus;
 T – temperatuur Kelvinites;
 RH_{min} – materjali põhine minimaalne suhteline niiskus, mille juures on võimalik hallituse tekke.

Tabel 1.5 Hallituse indeksid modelleerimise ja katsete läbiviimiseks

| Kasvu kiirus | | | |
|---------------------|---|-------------------|------------------------|
| 0 | Hallituse kasvu ei esine | Mikroskoopne tase | Visuaalselt tuvastatav |
| 1 | Väikesed hallituse kogused pinna peal | | |
| 2 | Mitu lokaalset hallitusekolooniat pinna peal | | |
| 3 | Visuaalselt nähtav hallitus pinna peal, <10% katvust, või <50% katvust mikroskoobi all | | |
| 4 | Visuaalselt nähtav hallitus pinna peal, 10%-50% katvust, või >50% katvust mikroskoobi all | | |
| 5 | Rohkelt kasvu pinna peal, visuaalselt >50% kaetud | | |
| 6 | Massiivne ja tihe hallituse kasv, visuaalne katvus 100% lähedal | | |

Joonis 1.11 on esitatud hallituse kasvu sõltuvus temperatuurist ja suhtelisest niiskusest.



Joonis 1.11 Üldised soodsad tingimused hallituse tekkeks puidus matemaatilise mudelina[17]

1.8 Energiatõhususe parandamisviisid

1.8.1 Välisseinte seespoolne soojustamine

Sisemine lisasoojustus võib olla variandiks juhul kui hoone asub miljööväärtuse- või muinsuskaitsealas või kui soovitakse säilitada hoone välisilm. Sisemise lisasoojustuse puhul langeb olemasoleva konstruktsiooni temperatuur ning suhteline niiskus tõuseb, mistõttu võib varem toimunud tarind muutuda mikrobioloogilistele organismidele soodsaks kasvulavaks. Seespoolne soojustamine eriti Eesti kliimas vajab alati põhjalikku analüüsi, kuna sellega võivad kaasneda mitu olulist riski[11]:

- Lisasoojustusest väljapoole jääva tarindi temperatuur langeb, ja suhteline niiskus tarindis kasvab, mis võib põhjustada ja hallituse teket kondenseerumist tarindis;
- Olemasolevas tarindis pooride sulgemine, mis võib takistada niiskuse väljakuivamist;
- Tuginedes kahel eelneval punktil on oht, et külmumis-sulamistsüklite toimel võivad tarindid laguneda;
- Lisaks sellele niiskuse mitteväljakuivamise ja kondenseerumise pärast suureneb külmasildade osakaal.

Hallituse tekke vältimiseks oli uuritud[18] nii kapilaaraktiivsete materjalide – kaltsium-silikaat (CaSi) ja autoklaavne poorbetoon (*autoclaved aerated concrete* – AAC) kui ka tihedaid materjale – PIR soojustus ehk jäik polüuretaanvaht. Uuringu käigus selgus, et kuigi külmumis-sulamistsüklite erinevus kõikidel materjalidel oli samas järgus, niiskussisaldus tarindis oli PIR soojustuse puhul 1,4 korda kõrgem kui kapilaaraktiivsete materjalide puhul. See omakorda tähendas suurema hallituse riski tarindis. Lisaks uuringus oli toodud, et PIR soojustust kinnitati mehaaniliste kinnitustega, mis võib põhjustada lisaohu hallituse tekkeks, eriti suure niiskuskooormusega ruumides. Paberi kasutamine tõstab kriitilist niiskust mis suurendab ohtu hallituse tekkeks.[19][20]

Sama teemat on uuritud ka David Antolinc , Katarina Černe and Zvonko Jagličić poolt [21], kus oli tõestatud, et külmas kliimas osutub kõige mõistlikumaks just tihedate materjalide kasutamine. Uuringu käigus tõestati, et kapilaaraktiivsete materjalide kasutamisel kasvas niiskussisaldus kogu tellisseinas niivõrd palju, et peaaegu kogu seinas eksisteeris kondenseerumisoht ning osa vaba veest jäätus. See omakorda viitas sellele, et külmumis-sulamistsüklite toimel võib hakata sein lagunema.

Oli uuritud ka aerogeeli ning vaakumsoojustuspaneelide ehk VIP-soojustuse rakendamist seespoolse soojustusena. [22] Uuringu käigus katsetati tellisseina

paksusega 51cm, ning lisaks soojustuse paigaldamisele kaeti osaliselt tellisseina välispinda veeaurutiheda värviga. Tulemuste tõlgendamisel toodi välja, et VIP-soojustuse kasutamisel on kogu välisseina soojusläbivus on 0,060 W/(m²K) ja aerogeeli puhul 0,273 W/(m²K). Vaatamata sellele, et soojusläbivus oli märkimisväärselt parandatud, niiskustehniline toimivus ei olnud kummagi lahenduse puhul tagatud. Suhteline niiskuse tase tellisseinas oli pidevalt üle 90% ning mitmete kuude jooksul 100%.

1.8.2 PUR vahu süstimine

Polüuretaanvaht ehk PUR vaht on jäik kahekomponentne soojustusmaterjal, mille omadused sõltuvad segunemisel kasutatud polümeeri omadusest. Struktuuri põhiselt eristatakse kaks tüüpi: avatud pooridega PUR vaht ja suletud pooridega PUR vaht. Vastavalt suletud pooride osakaalule saab kvalifitseerida mitmetesse klassidesse. [23]

Tabel 1.6 Suletud pooride sisalduse klassid[23]

| Klass | Suletud pooride sisaldus |
|-------|--------------------------|
| CCC1 | < 20% |
| CCC2 | 20% kuni 80% |
| CCC3 | > 80% kuni ≤ 89% |
| CCC4 | ≥90% |

PUR vahu üks eeliseks on see, et selle omadused on võimalik koostisosadega reguleerida ning avatud pooridega PUR vahtu on võimalik muuta veel rohkem kapillaaraktiivseks materjaliks. Antud teadmine rakendasid E J de Place Hansen, T K Hansen and V Soulios omas töös[24]. Töö käigus renoveeriti 145 aastane kivimaja muuhulgas soojustades välisseinu seestpoolt PUR vahuga, millele oli lisatud kaltsium-silikaat. Uuringute käigus selgus, et kui lisasoojustuse paigaldamise alguses paigaldada kohe ka aurutõke, siis tarindi sees olev niiskus hakkab välja kuivama. Seejuures aurutõkke ära jätmisel tarindi suhtelise niiskuse tase püsis stabiilselt üle 90%.

1.8.3 Akende väljavahetamine

Vanade akende puhul on soojuskao osakaal on keskmiselt 25 – 35% kogu soojuskadude mahust.[10]

Vastavalt Taani ja Rootsi uurimisinstituutides teostatud laborimõõtmistele on tõestatud, et vana kahekordse klaasiga puitakent on võimalik restaureerida selliselt, et tema soojusläbivus on märkimisväärselt alandatud. Nii oli uuritud kahekordse klaasiga aken,

mille aknasoojuslähivus on $U_w = 2,3 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Peale kõikide restaureemistõid õnnestus selle soojuslähivust alandada $2,3 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ pealt $1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ peale ja ilma täiendava klaaspaketi lisamiseta.[10]

Tänapäevased uued puitraamiga kolmkordse klaaspakettiga akendega on võimalik saada aknasoojuslähivuseks $U_w = 0,7 \text{ (W}/\text{m}^2\cdot\text{K})$.

1.8.4 Kütte- ja ventilatsioonisüsteemine uuendamine

Küttesüsteemide väljavahetamisega on võimalik saada keskmiselt 17% säästu energiatarbimisest. [10] Vanade hoonete põhiline küttesüsteem on reeglina ahjuküte, osades hoonetes esineb ka keskküte. Tihti peale on need küttesüsteemid nii vananenud ja kulunud, et nende tõhusus on märkimisväärselt alanenud.

Tabel 1.7 Soojusallika kasutegur kütuse tarbimisaine alumise kütteväärtuse alusel

| Soojusallikas | Kasutegur |
|----------------------------|-----------|
| Kaugkütte soojussõlm | 1,0 |
| Õli- või gaasikatel | 0,85 |
| Õli, kondensatsioonikatel | 0,90 |
| Gaas, kondensatsioonikatel | 0,95 |
| Pelletikatel | 0,85 |
| Muu tahkekütuse katel | 0,75 |
| Elekterküttega katel | 1,0 |
| Ahi | 0,6 |

Tabel 1.7 on näha, et ahiküttel on kõige madalam kasutegur, ning seda tuleb kindlasti energiatõhususe parandamiseks asendada muu küttesüsteemiga. Samuti on ka võimalusi ahjukütet küttesüsteemina hoones säilitada ning uuendada, mis muudab kasuteguri 0,6 pealt 0,8 peale. [10] Vastavalt määrusele nr. 70 „Hoonete tehnosüsteemidele esitatavad nõuded“ uue ning asendatava kütteseadme kasutegur ei tohi olla alla 0,8.

Vanade hoonete õhuvahetus on reeglina tagatud infiltratsiooniga. See toimub avatäidete ja piirdetarindite konstruktsioonides esinevate ebatiheduste tõttu. Infiltratsiooni puhul on vahetatava õhu kogus, kiirus ja suund on kontrollimatud.[10] Piirdetarindeid renoveerides ning seeläbi õhutihedust suurendades kaob ära suur osa loomulikust õhuvahetusest ning tuleb rajada mehaaniline ventilatsioon.

Soojustagastusega ventilatsiooni rakendamine elamus võimaldab säästa kuni 33% energiatarbimisest küttele. Soojustagastusega ventilatsiooni on kolm tüüpi: rootorsoojusvaheti, plaatsoojusvaheti ja kestaga toru soojusvaheti. [25]

1.8.5 Õhupidavuse parandamine

Vanade hoonete tüüpiliseks probleemiks on ebapiisav õhupidavus, mis väljendub massiivsetes õhuleketes piirdetarindite ebatiheduste ja pragude kaudu. Õhuliikumine läbi tarindi on kontrollimatu ning see tekitab näiteks rõhkude erinevusest maja sees ja väljas, tuulest või tarindites kasutatud materjalide omadustest. [26]

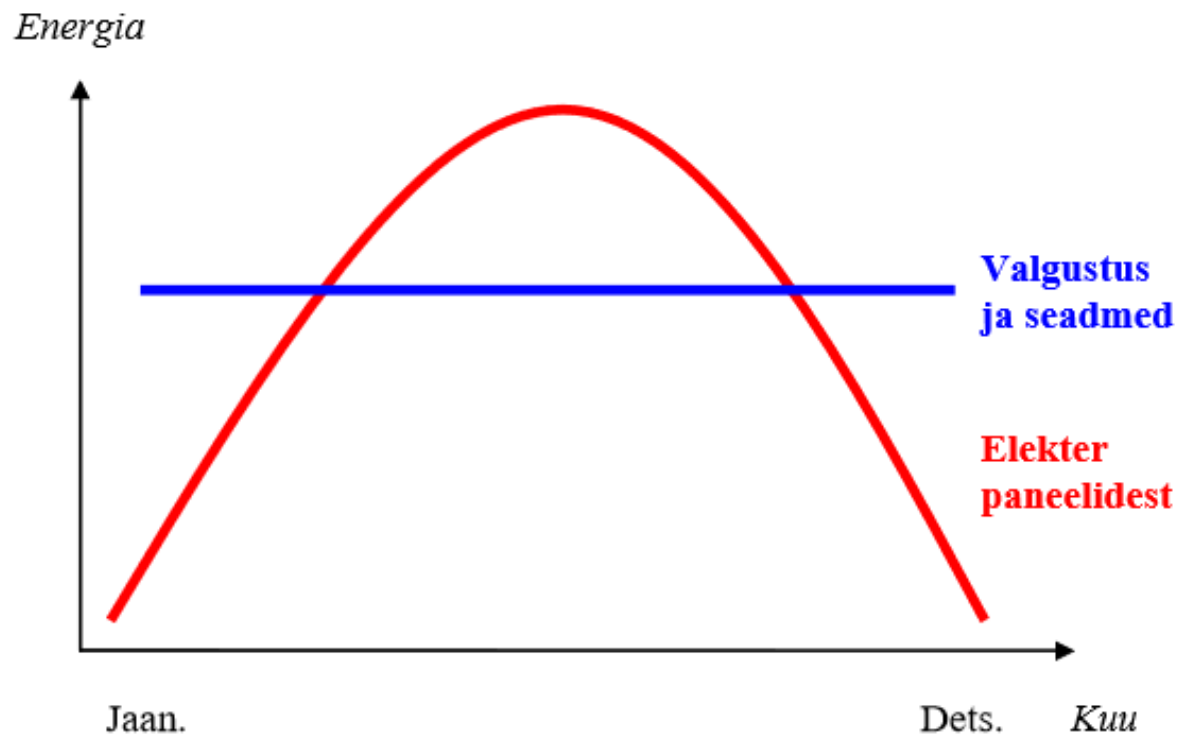
Piirdetarindis, kus on palju ebatihedusi, pääseb ka niiske õhk tarindisse, ning jõudes külma pinnani, tõstab suhtelise niiskuse taset. See omakorda suurendab hallituse tekkimise ohtu. [26]

Suuremad õhulekkekohad on avatäidete kaudu, mida annab parandada akende ja välisuste väljavahetamisega ja liitekohtade tihendamistega. Samuti suur osakaal õhuleketes, mis toimuvad läbiviikude kaudu, mis pole üldse või pole piisavalt tihendatud. Seega läbiviikude tihendamise on võimalik õhulekkearvu samuti vähendada. Valdavas enamuses majades on puudu ka tuuletõke, seega renoveerimise käigus õhupidavuse parandamiseks tuleb neid samuti paigaldada.

1.8.6 Päikesepaneelide kasutamine

Üks oluliseks meetmeks hoone jaoks saada „A“ energiatõhususklassi on kasutada lokaalselt toodetud taastuvat energiat. Kõige levinum viis selleks on päikesepaneelide (PV-paneelide) kasutamine. PV-paneelide kasutegur, mis näitab kui palju paneelipinnale langenud päikeseenergiat konverteeritakse elektriks, on keskmiselt 11...17%. [26]

Tuleb silmas pidada, et PV-paneelide tootlikkus on kõige suurem suveperioodil ja kõige väiksem talvel (vt. Joonis 1.12). Suvel ületoodetud elektrit saab kas akudesse salvestada ja hiljem ära kasutada või müüa seda elektrit elektrivõrku. [26]



Joonis 1.12 Väikeelamu elektrikasutus standardtingimustel ja PV-paneelide tootlikkus aasta jooksul[26]

2 MEETODID

2.1 Uurimisobjektid




2.1.1 Uurimisobjektide valimine

Uurimisobjektide valimine toimub *LIFE IP BuildEST* programmi raames koostöös kohalike omavalitsuste ning linnavalitsustega. Analüüsitakse ≈8-10 tellisestega eramut hoonet (≈4-5 renoveerimata ja ≈4-5 renoveeritud) eelistatult kahest ajajärgust:

- 1941-1970
- 1971-1990

Nende uurimisobjektide hulgas on esitatud ka 2 korterelamut, mille seinatüüp sobib antud lõputöösse. Kõikide uuritavate hoonete lühikirjeldused on esitatud Tabel 2.1. Põhjalik kirjeldus iga hoone kohta on esitatud peatükis Lisad.

Tabel 2.1 Uuritavate hoonete lühikirjeldused

| Hoone aadress ja lühikirjeldus | 1941-1970 | 1971-1990 |
|--|--|---|
| Järve 8, Tõrva Ehitusaasta – 1980 Välisseinatüüp - väikeplokk Hoones ei elata mitu aastat, osad piirdetarinditest on silmnähtavalt vigastatud, katus laseb vett läbi. | |  |
| Seljaku 12, Nõmme, Tallinn Ehitusaasta – 1961 Välisseinatüüp – Nõmme sein Hoone on osaliselt renoveeritud, tööd veel käivad. Välisseinad on osaliselt täiendavalt soojustatud. |  | |
| Edu 24, Nõmme, Tallinn Ehitusaasta – 1961 Välisseinatüüp – Roloksein Miljööväärtusega hoone, mille soojustamine väljastpoolt on vähetõenäoline. Eramu on TEP plaadiga seestpoolt soojustatud |  | |

Rohula 47, Nõmme, Tallinn

Ehitusaasta – 1963

Välisseinatüüp – Harju sein

Hoone on põhjalikult renoveeritud, seinad PUR vahuga soojustatud, aknad vahetatud

Lodjapuu 9a, Tallinn

Ehitusaasta – 1992 (oletuslik)

Välisseinatüüp – väikeplokk, välimine külg on lapiti laotud silikaattelistest

Hoone on väljastpoolt lisaks soojustatud



Matka tee 6, Tallinn

Ehitusaasta – 1957

Välisseinatüüp – Gerardi sein/Nopsasein

Vana soojustusega välisseinad, tugeva tuulega on tunda, kuidas õhk pressib sisse läbi välisseina



Tartu 34a, Võru

Ehitusaasta – 1953

Välisseinatüüp – Lapikivist laotud Nopsasein

Vana soojustusega Nopsasein, tugeva tuule puhul elanikud tunnevad kuidas õhk pressib korteritesse.



Villardi 30, Tallinn

Ehitusaasta – 1940

Välisseinatüüp – Lapikivist laotud Nopsasein

Ainult ühes korteris on aknad vahetatud, teistes korterites ei elata pidevalt



Ümera 8, Tartu

Ehitusaasta – 1980

Välisseinatüüp – Harju sein

Välisseinad PUR vahuga soojustatud,
katus täiendavalt soojustatud



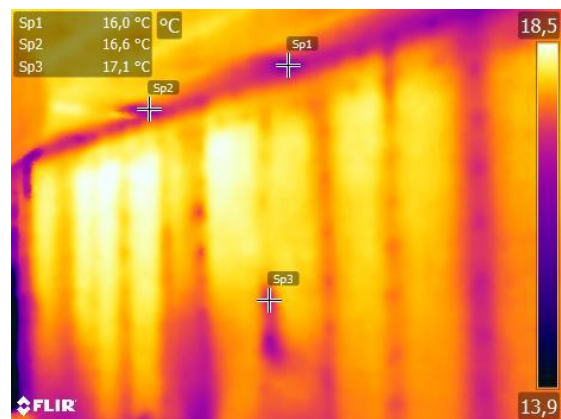
2.1.2 Süvauuringu objektid

Kolme hoone põhjal viikase läbi süvauuringud renoveerimislahenduste väljatöötamise aluseks. Parim variant on leida mõõtmiseks hoone, mis on lähiajal renoveerimisse võetav kuna see võimaldab paremat võrdlust arvutusega enne ja pärast renoveerimist. Sein peab koosnema vähemalt kahest tellisekihist ning nende vahel olevast soojustusest.

Uurimuse eesmärk on kindlaks määrata tarindi konstruktsioon ning selle alusel valida (T ja RH) andurite asukohad. Termokaamera abil määrata ära külmasildade asukohad. Võimalik, et urbane soojustus telliste vahel on aja jooksul vajunud ning akende kohal ja seinä ülaosas on tellisekihtide vaheline osa kohati tühi, mis suurendab külmasilla soojuslähivust ning temperatuuriindeksi f_{rsi} on langust, mille tõttu siseõhu niiskus võib kondenseeruda. Kui hoones on ala- või ülerõhk siis on termokaameraga tuvastatavad ka õhulekete asukohad. Allolevate joonistel on esitatud termokaameraga tehtud pildid õhulekkest ja külmasillast.



Joonis 2.1 Massiivne õhuleke katuse ja välisseina liitekohas



Joonis 2.2 Külmasillad postide kohal

Uurimise ajend - on võimalik olukord, kus niiskus pääseb suhteliselt vabalt siseruumist seinä läbi sisemise tellisekihi, nt. läbi praod, kuid selle välja kuivamine võib olla

raskendatud tiheda välise telliskihi tõttu. Niiskus akumulereub soojustuses ning saavutab kriitilise niiskuse.

2.2 Uuringud

2.2.1 Elanike ankeetküsitlus

Ankeetküsitlusega kaardistatakse:

- Hoone ehitustehniline olukord;
- Elaniku hoone kasutuse praktika;
- Elaniku valmisolek renoveerida hoonet ja elaniku poolne täiendava teabe vajadus (mille kohta on lisainfot vaja, et hoonet hästi renoveerida).

Ankeedi abil analüüsitakse ka hoones esinevad niiskuskoormuseid, üldist tehnosüsteemide seisukorda, uuritakse elanike sojuslikku mugavust, peamist sojusallikat ja viimase kalendriaasta küttekulu. Küsitluse ajal suudavad elanikud viidata nendele asjaoludele ja probleemidele, millele uurimisrühm ei pruugi tähelepanu pöörata ja arvesse võtta. Ankeedi näidis on esitatud peatükis Lisad.

Lisaks elanike ankeetküsitlusele uuritakse hoonete projektid, mis tööd on tehtud ja mis materjalidega. Visuaalse vaatluse teel märgistatakse projektist erinevad lahendused, tekkinud praod.

2.2.2 Õhulekketest

Ventilaatoriga survestamise meetodi abil on võimalik määrata katsetavas hoones või selle osas esinevaid õhulekkeid. Meetodit kasutatakse õhuvooluhulga mõõtmiseks, mis läbib hoone piirdetarindeid seest välja ja väljast sisse. Selleks kasutatakse erinevaid seadmeid, mis võimaldavad tekitada hoones või selle osas üle- või alarõhku täpsusega $\pm 7\%$ mõõteväärtusest.[27]

Uuritavate hoonete puhul kasutati ala- ja ülerõhutesti, ehk alguses õhurõhk hoonetes sees viidi madalamaks kui õues ja teise mõõtmise jaoks tekitati hoones ülerõhk, ehk õhurõhk hoonetes sees oli kõrgem kui õues. Tuginedes elanike tagasisidele oli kindlaks määratud, mis ruumid on meelega jäetud kütmata, osad ruumid olid uurimisrühma poolt välja jäetud nt. sisekliima tagamiseta garaažid ja keldrid. See võimaldas neid

õhulekkestestist välistada ning saada realistlikumad tulemused õhulekkearvule energiatõhususarvu määramisel.

Õhulekkestesti läbiviimisel kasutati Minneapolis BlowerDoor Standard moodulsüsteemi, mille mõõtmisulatus on 19 kuni 7200 m³/h. Ventilaatori mõõtmistäpsus avatuna, rõngastega A, B ja C peal on süsteemi mõõtmistäpsus ± 4%, rõngaga D ± 5%. Mõõtmiste teostamiseks ja tulemuste saamiseks olid kasutatud tarkvara TECTITE Express 5.1.[28]

Enne iga testi algust mõõdeti ära uuritava hoone või selle osa piirdetarindite pindala A_E , netopindala A_F ning siseruumala V . Seejuures siseruumala arvutamisel ei arvestatud maha siseseinte, vahelagede ega mööbli ruumala. Samuti enne igat testi määrati kindlaks, mis meetodit kasutada mõõtmise läbiviimiseks. Kõikide objektide puhul oli otsustatud kasutada 2. meetodit. Selle meetodi ulatuses pandi kõik välisüksed, -aknad ja -luugid kinni. Värske õhu klapid ja kogu mehaaniline ventilatsioon hoones oli teibiga tihendatud, kaasa arvatud perioodiliselt avanevad mehaanilised ventilatsioonivad. Kanalisatsioonisüsteemi trapid olid veega tihendatud. Kõik siseüksed oli jäetud lahtiseks.[27]

Erinevused mõõtmismeetodite vahel on toodud Tabel 2.2. [27]

Tabel 2.2 Avade seisund õhulekkestesti teostamise ajal[27]

| | meetod | meetod | meetod |
|---|-----------------------------|-----------------------------|--|
| Hoone avade liigitus | Kasutuses olev hoone | Hoone piirdetarindid | Spetsiaalne eesmärk |
| Loomuliku ventilatsiooni avad, värskeõhuklapid | suletud | tihendatud | Suletud, tihendatud või avatud spetsifikatsiooni järgi |
| Kogu hoone mehaanilise ventilatsiooni ja õhukonditsioneeride avad | tihendatud | tihendatud | Suletud, tihendatud või avatud spetsifikatsiooni järgi |
| Ainult perioodiliselt kasutatavad hoone mehaanilise ventilatsiooni või õhukonditsioneeride avad | suletud | tihendatud | Suletud, tihendatud või avatud spetsifikatsiooni järgi |

| | | | |
|--|---------|------------|--|
| Hoonepiirdetarindi ukse, aknad ja luugid | suletud | suletud | Suletud, tihendatud või avatud spetsifikatsiooni järgi |
| Avad, mis ei olu ettenähtud ventileerimiseks | suletud | tihendatud | Suletud, tihendatud või avatud spetsifikatsiooni järgi |

Rõhkude erinevust tekitav ventilaator paigaldati välisukse kohale õhutiheda raami sisse ning ühendati manomeetriga ja arvutiga. Katse alguses mõõtis mõõtmisseade baasrõhku. Kuna seade pidi tekitama 50 Pa rõhkudevahet siseruumi ja väliskeskonna vahel, siis baasrõhk on see väärtus, millest tarkvara alustab arvestust.

2.2.3 Termograafia

Termograafia abil on võimalik tuvastada ebaühtlast soojusvoogu tarindis, mis võib viidata näiteks sellele, et soojustus on tarindis vajunud, tarindisse on kogunud niiskust või õhulekkele.[29]

Testi eduka läbiviimiseks Skandinaavias olid rahuldatud järgmised nõuded:

- Välistemperatuuri kõikumised olid $\pm 10^{\circ}\text{C}$ piirides 24 tunni jooksul enne mõõtmist;
- Sise- ja välisõhutemperatuuri erinevus iga hoone puhul ei tohi olla väiksem väärtusest 3/U (soojusläbivus), kuid rohkem kui $+5^{\circ}\text{C}$ 24 tunni jooksul enne mõõtmist;
- Vähemalt 12 tundi enne termograafia algust ei olnud välistarindid päikese kiirguse poolt oluliselt mõjutatud;
- Katse ajal välistemperatuuri kõikumised olid $\pm 5^{\circ}\text{C}$ piirides ja sisetemperatuuri kõikumised olid $\pm 2^{\circ}\text{C}$ piirides.[29]

Antud töös külmasildade ja õhulekete kohtade tuvastamiseks kasutati termokaamerat FLIR E76, mille mõõteulatus -20 kuni 120°C , täpsusega $< \pm 40$ mK [30]

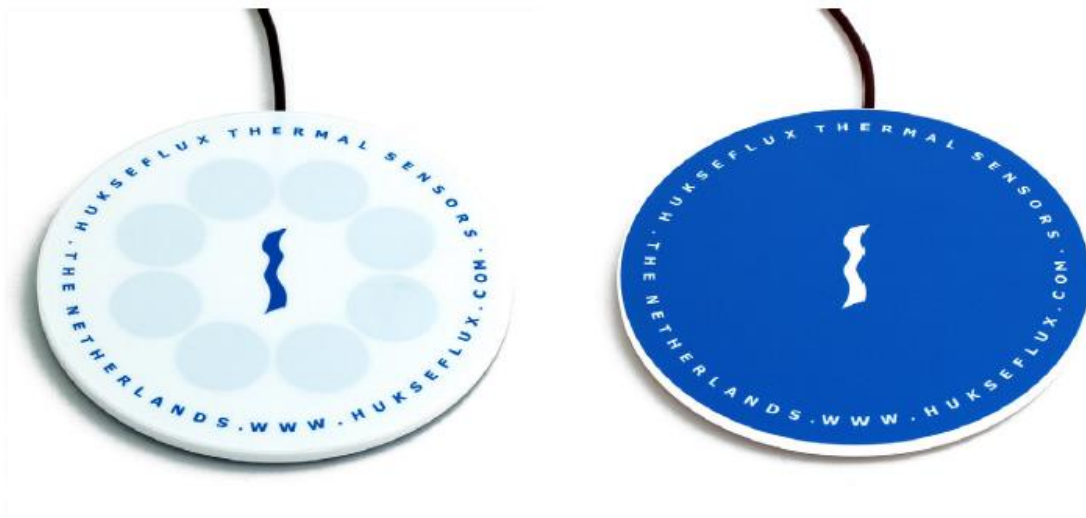
2.2.4 Piirdetarindite soojusläbivuse mõõtmine

Välistarindi soojusläbivuse määramiseks kasutatakse soojusvooplaadid HFP01 ja HFP03. Tööpõhimõte on selline, et temperatuuride erinevusest soojusvooplaadi ees ja taga

tekkib soojusvooplaadi sees pinge, millest moodustub lineaarne funktsioon. Soojusvoo kättesaamiseks tuleb jagada mõõdetud pinge soojusvooplaadi efektiivse soojusjuhtivusega. [31]



Joonis 2.3 Soojusvooplaat HFP01



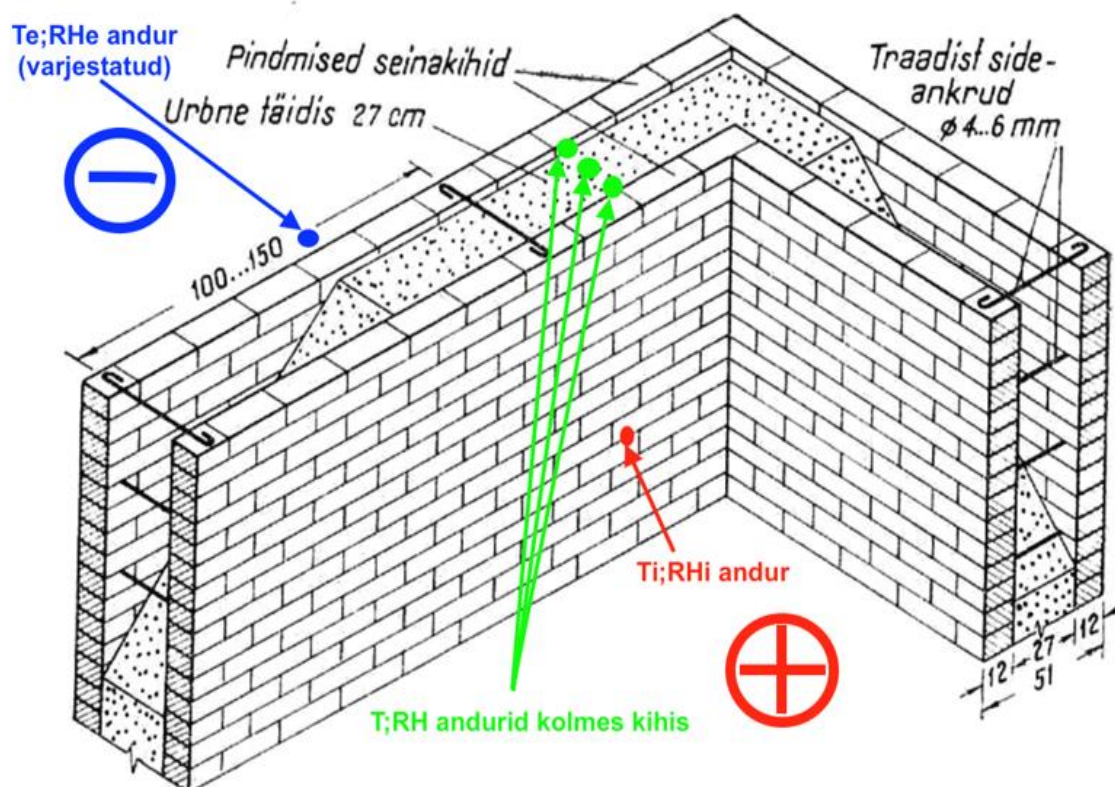
Joonis 2.4 Soojusvooplaat HFP03

Pinnatemperatuuri mõõtmiseks kasutatakse logger HOBO U10-003. Loggeri külge läheb juhe, mille otsas asub temperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõtev andur. Andurit paigaldatakse soojusvooplaatide kõrvale. [32]



Joonis 2.5 Keskkonna temperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõdav logger HOBO U10-003

Temperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõtmiseks piirdetarindi sees paigaldatakse tarindi sisse 3 temperatuuriandurit: soojustuse ja sisemise tellise vahele, soojustuse keskele, soojustuse ja välimise tellise vahele.



Joonis 2.6 Andurite paiknemine katseseinas.

2.3 Arvutused

2.3.1 Soojuskadude arvutused

Soojuskadude arvutused teostatakse vastavalt standardites EVS-EN ISO 6946:2017, EVS-EN ISO 13370:2017 esitatud valemitele.

Välistarindi soojusläbivus arvutatakse valemiga

$$U = \frac{1}{R_T},$$

kus R_{tot} kogusoojustakistus, $m^2 \cdot K/W$;
 U tarindi soojusläbivus, $W/(m^2 \cdot K)$.

Sõltuvalt materjalide kihtide homogeensusest, saab kogusoojustakistust arvutada kahe erineva valemiga. Juhul kui materjali kiht on homogeenne kasutatakse järgmist valemit:

$$R_{tot} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se},$$

kus R_{tot} kogusoojustakistus, $m^2 \cdot K/W$;
 R_{si} piirdetarindi sisepinna soojustakistus, $m^2 \cdot K/W$;
 R_1, R_2, \dots, R_n iga kihi arvutuslik soojustakistus, $m^2 \cdot K/W$;
 R_{se} piirdetarindi välispinna soojustakistus, $m^2 \cdot K/W$.

Kui tarindis esinevad mittehomogeensed kihid, siis kasutatakse järgmist valemit:

$$R_{tot} = \frac{R'_{tot} + R''_{tot}}{2},$$

kus R_{tot} kogusoojustakistus, $m^2 \cdot K/W$;
 R'_{tot} kogusoojustakistuse ülempiir, $m^2 \cdot K/W$;
 R''_{tot} kogusoojustakistuse alampiiir, $m^2 \cdot K/W$;

Mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus R'_{tot} arvutatakse piirdetarindi pinnaga risti olevate sektsioonide soojusjuhtivuste summa abil kasutades järgmist valemit:

$$R'_{tot} = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{\frac{A_1}{R_{T1}} + \frac{A_2}{R_{T2}} + \dots + \frac{A_n}{R_{Tn}}},$$

kus R'_{tot} kogusoojustakistuse ülempiir, $m^2 \cdot K/W$;
 A_1, A_2, \dots, A_n piirde üksikute sektsioonide osapindalad (osakaalud);
 $R_{T1}, R_{T2}, \dots, R_{Tn}$ piirde üksikute sektsioonide soojustakistused.

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus arvutatakse piirdetarindi pinnaga paralleelselt olevate kihtide ühemõõtmeliste soojusvoogude summana kasutades järgmist valemit:

$$R_{tot}^{\sim} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se},$$

kus R_{tot}^{\sim} kogusoojustakistuse alampiir, $m^2 \cdot K/W$;
 R_{si} piirdetarindi sisepinna soojustakistus, $m^2 \cdot K/W$;
 $R_1, R_2 \dots R_n$ iga kihi arvutuslik soojustakistus, $m^2 \cdot K/W$;
 R_{se} piirdetarindi välispinna soojustakistus, $m^2 \cdot K/W$.

Maksimaalne suhteline viga e , väljendatuna protsentides, arvutatakse selle lähenduse puhul valemiga:

$$e = \frac{R_{tot}' - R_{tot}''}{2 \cdot R_{tot}} \cdot 100\%$$

Tabel 2.3 Pindade soojustakistused[13]

| Pinna soojustakistus, $m^2 \cdot K/W$ | Soojusvoolu suund | | |
|---|-------------------|---------------|------|
| | Üles | Horisontaalne | Alla |
| R_{si} | 0,10 | 0,13 | 0,17 |
| R_{se} | 0,04 | 0,04 | 0,04 |

2.3.2 Energiatõhususe arvutused

Energiatõhususe arvutused tehakse MKMi lihtsustatud tabelarvutuse abil uuritud tüüphoonetele.[33] Arvutused teostatakse iga hoone puhul vähemalt kaks korda: enne renoveerimist ehk praeguse olukorra kaardistamiseks ja peale kõikide renoveerimismeetmete rakendamist. Esialgsete arvutuste puhul kasutatakse objektidel mõõdetud õhulekkearvu, anduritelt loetud temperatuuri andmed, olemasolevad tehnosüsteemid ja tarindite soojustehnilised näitajad. Tulemuste saamisel on võimalik analüüsida ning prognoosida, mis renoveerimislahendused võiksid sobida konkreetse hoone jaoks ning oma eeldused samas tabelis kontrollida.

Peale mõõdetud olukorra arvutamist ja energiatõhususarvu kätte saamist, analüüsitakse elanike poolt kulutatud kütteenegi kalendriaasta jooksul, et võrrelda MKMi tabelist saadud küttevajadust (edaspidi teoreetilised küttekulud) ja reaalse küttekuluga. Lõputöös uuritud hoonete kütteallikad on esitatud Tabel 2.4. [34]

Tabel 2.4 Kütuste tarbimisaine alumised kütteväärtused[34]

| Kütus | Alumine kütteväärtus | |
|-----------------|----------------------|------------------------------|
| | kWh/kg | kWh/mahuühik |
| Maagaas | | 9,3 kWh/m ³ |
| Küttepuud, kask | | 1500 kWh/rm (ruumimeeter) |
| Puitpellet | 4,6 | |

Küttekulude võrdlemiseks kasutatakse soojuserikadu H (W/K), mida saadakse piirdetarindi soojusläbivuse U (W/(m²*K)) korrutamisega selle välistarindi pindalaga A (m²). Piirdetarindi soojuserikadu näitab, kui palju soojust liigub läbi seda tarindit, kui temperatuuride vahe hoone sees ja väljas on üks kraad. [6]

Mõõdetud (kWh/mahuühik) ja arvutatud (H/K) küttekulude võrdlemiseks teisaldatakse mõlemad mõõteühikud džaulidesse (J). Reaalse küttekulu teisaldatakse võttes arvesse koolifüüsikast teatud seost

$$W = \frac{J}{s}$$

kus J – energia,
 s – aeg sekundites,

ja teisaldades aja h tundidest sekunditesse (1 tund = 3 600 sekundit), tuleb välja, et

$$1 \text{ kWh} = \frac{J * 3600s}{s} * 10^3 = 3600 * 10^3 \text{ J} = 3,6 * 10^6 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

Mõõdetud küttekulu arvutamisel arvestatakse ka vabasoojusega ehk soojusega, mis eraldub inimesest, seadmetest, valgustusest ja päikesest. Päikese vabasoojusega antud töö raames pole arvestatud. Inimeste, seadmete ja valgustuse aastast soojuseraldust

$Q = \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{a}} \right]$ arvutatakse järgmise valime abil[6]:

$$Q = k * P * \frac{\tau_d}{24} * \frac{\tau_w}{7} * \frac{8760}{1000}$$

kus k on kasutusaste,
 P on soojuseraldus, W/m²,
 τ_d on hoone kasutusaeg ööpäevas tundides,
 τ_w on hoone kasutuspäevade arv nädalas tundides.

Teoreetilise küttekulu arvutuses kasutatakse kraadpäevi. Üks kraadpäev näitab erinevust siseõhu keskmise temperatuuri ja välisõhu keskmise temperatuuri vahel ööpäeva jooksul. Vastavalt linnale, kus uuritav hoone asub, Kredexi andmebaasist

kasutatakse vaadeldava aasta jooksul kogutud kraadpäevad.[35] Kraadpäevi teisendatakse kraadsekunditeks ja seejärel korrutatakse välispiirde summaarse soojuserikaoga, kus kraadid ja sekundid taanduvad, jättes alles džaulid:

$$\frac{W}{K} * (K * päev) = \frac{J}{s * K} * (K * 86\,400 * s) = 86\,400 J$$

Kui reaalsed ja teoreetilised küttekulud tulevad samad erinevusega kuni 10%, siis peetakse teoreetilist arvutustabelit õigeks. Vastasel juhul tuleb teha täiendavad uuringud elanike elamisviisi kohta hoones, kontrollida ja täiendada tarindite lahendust ja teha uued arvutustabelid. Antud töös uuritavate hoonete arvutustabelid asuvad peatükis *Lisad*.

Hoone energiatõhususe parandamise lahendused töötatakse välja „B” ja „C” energiatõhususe klassi saavutamiseks. „A” energiatõhusus klassi on võimalik saada lisades „B” energiatõhus klassi hoonele päikesepaneele katusele.

2.3.3 Mõõtetulemuste seire/olukorra mudeldamine

Arvutusmudeli vastavus mõõdetud olukorrale sõltub määratud materjali parameetritest ja mõõdetud kliimast. Lisaks ka temperatuuri ja niiskuse jaotus mudeli simulatsiooni algushetkel. Otsene lähenemine on võtta konstruktsiooni materjalidest proovid ning määrata nende parameetrid laboris. Kaudse lähenemise korral simuleeritakse olukord läbi vaikimisi valitud materjali parameetritega ning muudetakse neid iteratiivselt, et tulemused vastaksid mõõdetud olukorrale. Antud töös kasutatakse kaudset lähenemist ning mudelit kalibreeritakse Eesti niiskustehnilise testaasta kliimaandmete alusel. [36]

Külmasildade ja joonsoojuslähivuse arvutamiseks kasutatakse tarkvara Therm 7,6.

Ääritingimustena kasutatakse objekti sise- ja väliskeskkonna tingimusi mõõtvaid T ja RH logerite näite. Mõõtmiseks kasutatakse logereid Hobo UX100-023. [37]



Joonis 2.7 Keskkonna temperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõdav andur Hobo UX100-023.

Olulised näitajad:

- temperatuuri mõõteulatus -20°C kuni $+70^{\circ}\text{C}$, mõõtetäpsus $\pm 0,21^{\circ}\text{C}$
- suhtelise niiskuse mõõteulatus 1% kuni 100%, mõõtetäpsus 10% ja 90% vahel $\pm 2,5\%$ ning väljaspool neid piire $\pm 5\%$.

2.4 Renoveerimislahenduste väljatöötamine

Kui ilmneb, et niiskus on akumulunud välimise telliskihi sisepinnal on mõistlik lahendus väikese difusioonitakistusega väline lisasoojustus, kuid tuleb arvestada miljööväärtusega. Niiskuse akumulatsiooni tuvastamisel oleks tarvilik luua eeldused niiskuse välja pääsemiseks seinast. Seda võib teha puuraukude abil tellisekihis, mis mingil määral vähendab tarindi õhupidavust kuid terve tarindi õhupidavus võib jääda rahuldavaks.

Sisemine lisasoojustus võiks olla variant juhul kui soovitakse säilitada hoone välisilmel ning niiskuse kogunemist olemasoleva soojustuse sees ei tuvastata. Lisaks tuleb uurida lahendust, kus täiendavat soojustuse kihti ei lisata ning täidetakse olemasoleva vajunud soojustuse tühimikud süstitava vahuga ning anda hinnang hoone energiatõhususe paranemisele.

2.4.1 Kombinatsioonitabelite koostamine

Kombinatsioonitabelid on koostatud energiatõhusustabelite alusel iga uuritava hoone kohta. Põhimõtte seisneb selles, et ühe välistarindi soojusläbivuse muutumise teel saadakse kõikidele välistarinditele vajamineva lisasoojustuse paksust, mis vastab A, B või C-energiatõhusklassi.

Kombinatsioonitabelite koostamisel on tehtud järgmised eeldused:

1. Kõikidele välistarinditele lisatav soojustuse paksus kasvab 50 millimeetrilise sammuga, alates 50 kuni 300 mm välisseintele ja katustele, ning 50 kuni 100 keldrilagele.
2. Olemasolevaid puitaknaid hooldatakse, seega nende soojusläbivus on võetud $U_{aken} = 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Vanade hooldamata akende soojusläbivuseks on $U_{aken} = 2,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Uude akende soojusläbivus on $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ või $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
3. Hoone renoveerimisel paigaldatakse ventilatsioonisüsteemi, mille erivõimsus on $1,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Kombinatsioonide koostamisel arvestatakse nii soojustagastusega kui ka soojustagastuseta ventilatsioonisüsteemiga. Soojustagastuse temperatuurisuhtarv on võetud 0,8 ;
4. Küttesüsteemi väljavahetamisel kasutatakse põrandaküte asemel radiaatorkütet, et vältida vajadust lõhkuda aluspõrandat;
5. Vastavalt eksperthinnangule joonsoojusläbivusest tingitud soojuserikadu moodustab 15% välistarinditest ja avatäidetest tingitud soojuserikaost;
6. Lisatava soojustuse soojuseri juhtivusena on võetud $0,041 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Analoogselt energiatõhususe arvutustabelitega kombinatsioonitabeleid koostatakse kahes eksemplaris iga hoone kohta – esimesed kombinatsioonid kehtivad hetkeolukorra puhul, kus mingid konkreetset renoveerimismeetmed rakendatud; teised kehtivad algolukorra puhul, kus kõik tarindid on esialgses seisus. Kombinatsioonitabelite alusel eramute omanikel on võimalus valida enda jaoks sobiv energiatõhusus klass ja selle saavutamiseks vajalikud meetmed, mida selleks tuleb rakendada.

Nii dünaamiliste simulatsioonide kui kombinatsioonitabelite koostamisel kasutati Tabel 2.5 esitatud omadustega materjalid.

Tabel 2.5 Põhilised materjalid kasutatud energiaarvutustes ja simulatsioonides

| Materjal | Arvutuslik soojuseri juhtivus λ , [W/(m*K)] | | Veeauru difusioonitakistustegur μ , [-] | |
|--|--|----------|--|------|
| | | | | |
| Krohv | 0,70 | [8], [9] | 11 | [20] |
| Mört | 0,70 | | 12 | |
| Silikaattellis | 0,80 | | 40 | |
| Räbutäidis | 0,25 | | 5 | |
| Termoliittäidis | 0,10 | | 3 | |
| Avatud pooridega PUR vaht | 0,038 | [38] | 3,3 | [38] |
| Vahtpolüstereen EPS 60 Fassaad | 0,040 | [39] | 40 | [39] |
| Kaltsium- silikaat | 0,069 | [20] | 2,5 | [20] |
| Puit | 0,15 | [8], [9] | 50 | |
| Narva plokk | 0,10 | | 20 | |
| Ventileerimata õhkvahe, t = 70 mm (horisontaalne) | 0,18 | [40] | - | [40] |
| Ventileerimata õhkvahe, t = 25 mm (ülesse) | 0,16 | [40] | - | [40] |
| EPS 100 | 0,037 | [39] | 30 | [39] |
| EPS 100 Silver | 0,031 | [39] | 30 | [39] |
| Kivivill HARDROCK MAX | 0,040 | [41] | 1 | [41] |
| Kivivill SUPERROCK | 0,035 | [41] | 1 | [41] |
| Kivivill TOPROCK PLUS | 0,039 | [41] | 1 | [41] |

Kombinatsioonitabelitega saadud tulemused on esitatud peatükis Lisad.

3 TULEMUSED

3.1 Tellisseina PUR vahuga süstimine Tartu 34a, Võru korterelamu näitel

Korterelamu välisseinte soojustamine PUR vahuga oli teostatud 25.05.2022. Eramu soojustamisel kasutati H2Foam Lite avatud pooridega kahekomponentset vahtu. Mõlemad komponendid ladustatakse 200 l. tünnides. Nii komponent A (isotsüanaat) kui komponent B (vaik) peavad olema ladustatud temperatuuril 15°C kuni 30°C, seejuures komponent A peab olema kindlasti kaitstud külmumise eest. Komponenti B eripära seisneb selles, et enne kasutamist ja süstimise ajal tuleb teda pidevalt segada.

Komponentide A ja B omavahelisel segamisel trummis peab olema kogu aeg tagatud temperatuur 27°C kuni 35 °C, mida saavutatakse segu laskmisel läbi eelsoojendit.

Enne vahu süstimist seina puuritakse seina sisse avad läbimõõduga 8 mm male korras sammuga umbes 500 mm (Joonis 3.1). Vahtu hakatakse süstima esimesesse auku ja süstitakse niikaua, kuni vaht hakkab teistest avadest välja pressima.

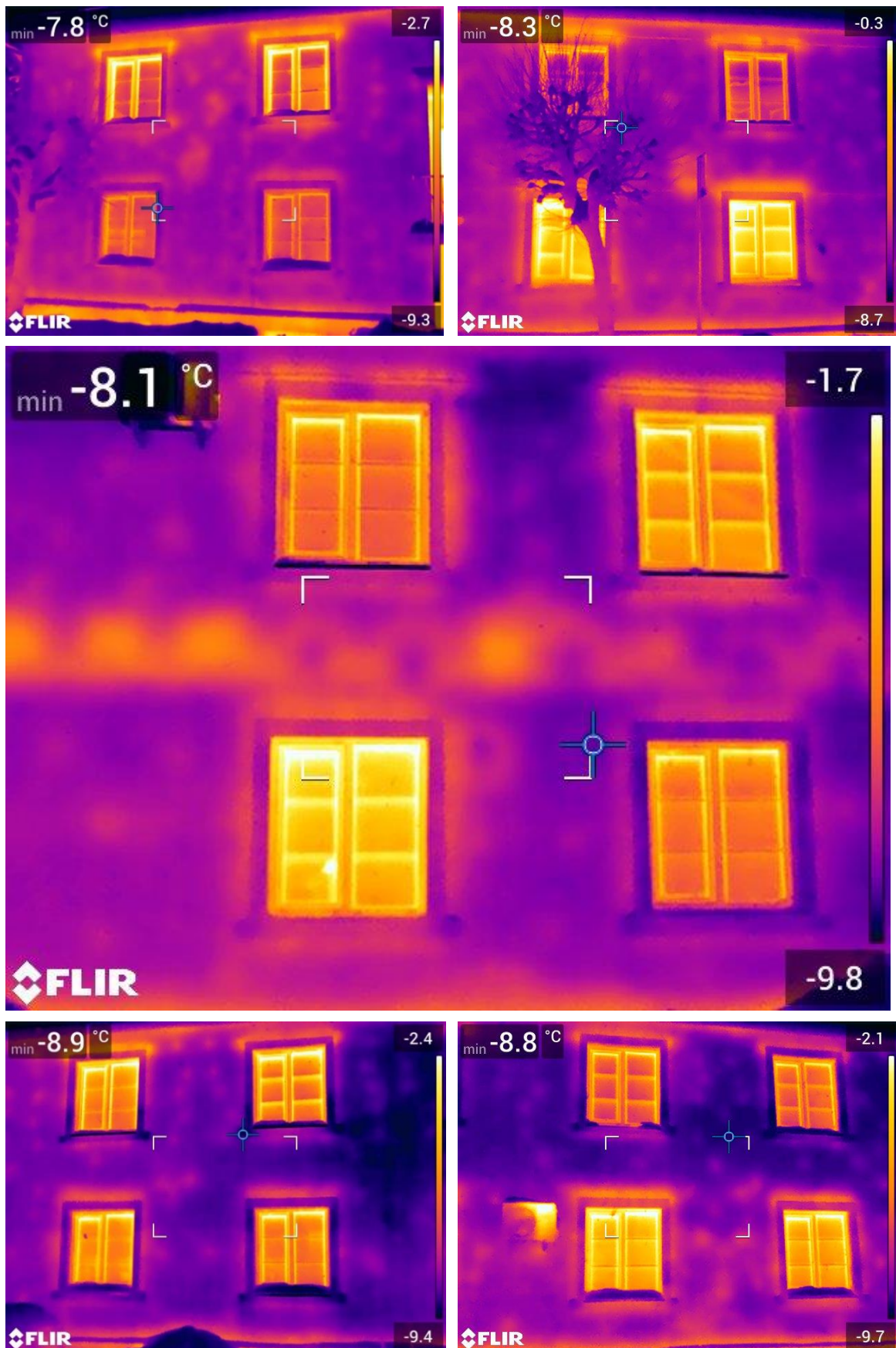


Joonis 3.1 Tartu 34a välisseinas PUR vahu süstimisavad

PUR vahu süstimise ajal paigaldati seina sisse temperatuuri ja suhtelist niiskust mõõtvad andurid (Joonis 3.2). Andurid olid jäetud tarindisse kuueks kuuks. Saadud andmete põhjal saab analüüsida kuidas PUR vaht mõjutas seina soojuslähivus ja kuidas suhtelise niiskuse tase ajas muutus. Vastavad graafikud on esitatud peatükis Lisad. Graafikute alusel saab öelda, et kogu PUR vahu kihi ulatuses kondenseerumise oht on välistatud ning hallituse tekkimise oht on vähetõenäoline. Kuigi suhteline niiskus tõusis maksimaalselt 90%, õhu temperatuur on liiga madal hallituse tekkimiseks.



Joonis 3.2 Piirdetarindi sisetemperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõtvad andurid piirdetarindi sees



Joonis 3.3 Tartu 34a fassaad peale PUR vahuga süstimist

Talvel peale välisseinu PUR vahuga soojustamist oli teostatud uus termograafia, et hinnata süstimise õnnestumist ja kaardistada mõned puudused süstimisel.

1. Reeglina Nopsaseina aknasillused on tehtud raudbetoonist või võlvsillusena, mis ei luba seda kohta täis süstida. Tulemusena jäävad sillused soojustamata ja on oluliseks kükmasillaks.
2. Vahelae kandvad talad lähevad sisemisest ja keskmisest tellisekihist läbi ja moodustavad külmasilda hoone otsaseintes.
3. Mõnedes kohtades on vaht tunduvat vähem kui mujal või üldse puudu. See võib viidata sellele, et mingid süstimid jäid tegemata või pooleli. Samuti ei tohi kõrvale jätta asjaolu, et vaht alati otsib endale kõige kergemat teed paisumiseks. Seega vaht ei pruugi minna nendesse kohtadesse nii lihtsalt.

3.2 Osaliselt renoveeritud ja renoveerimata hoonete energiatõhususarvu võrdlus

3.2.1 Lodjapuu 9a

Osaliselt renoveeritud hoone energiatõhususe klass

Omaniku käest saadud info põhjal on teada, et hoones soojustati katust tselluvillaga, mille kihi paksus on 200 mm. Lisaks oli täiendavalt soojustatud teise korruse välissein ning selleks kasutatud mineraalvilla paksusega on 100 mm. Küttesüsteem on gaasikatel ning hoones ventilatsiooni ei ole paigaldatud.

Tuginedes sellele, osaliselt renoveeritud hoone energiatõhususarv on $227 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, mis vastab E – energiatõhususe klassile.

Renoveerimata hoone energiatõhususe klass

Renoveerimata hoone all on mõeldud hoonet, kus ei ole tehtud renoveerimistöid, mis võiksid parandada hoone energiatõhusust. Sellel hoonel on eeldatud olema hooldamata puitaknad soojuslähivusega $U_w = 2,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ning paigaldatud esialgne soojustusmaterjal, antud juhul on mõeldud ainult gaasbetoonplokk.. Sellel hoonel puuduvad tehnosüsteemid ja kütmiseks kasutatakse algselt projekteeritud soojusallikat ehk gaasikütet.

Eeldusel, et soojusallikas jääb samaks, siis renoveerimata Lodjapuu 9a energiatõhususarv on $241 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, mis vastab E – energiatõhususe klassile.

Energiasääst on $\frac{(244-227)}{241} * 100\% = 5,81\%$ ehk 14 kWh/(m²*a).

3.2.2 Seljaku 12

Osaliselt renoveeritud hoone energiatõhususe klass

Tegemist on hoonega, mille välissein on Nõmme sein ja väljastpoolt kaetud silikaattellise voodriga. Seega omanik otsustas võtta sein seestpoolt lahti ning asendada seina sees olevat termoliiti mineraalvillaga. Uue soojustusekihi paksus on 130 mm. Küttesüsteem on kaugküte ning hoones tehnosüsteeme ei ole paigaldatud.

Tuginedes sellele, osaliselt renoveeritud hoone energiatõhususarv on 261 kWh/(m²*a), mis vastab E – energiatõhususe klassile.

Renoveerimata hoone energiatõhususe klass

Renoveerimata hoonel Nõmme välisseinatüübiga ning ahiküttega energiatõhususarv on 284 kWh/(m²*a), mis vastab F – energiatõhususe klassile.

Energiasääst on $\frac{(284-261)}{284} * 100\% = 8,10\%$ ehk 23 kWh/(m²*a).

3.2.3 Edu 24

Osaliselt renoveeritud hoone energiatõhususe klass

Hetkel omanik vahetas välja vana katusesoojustuse mineraalvilla vastu ja on paigaldanud 50 mm lisasoojustust seestpoolt 2. korruse välisseintele. Ahiküte on vahetatud pelletikatla vastu. Ventilatsioonisüsteemi ei ole paigaldatud.

Osaliselt renoveeritud hoone energiatõhususarv on 203 kWh/(m²*a), mis vastab D – energiatõhususe klassile.

Renoveerimata hoone energiatõhususe klass

Selle renoveerimata hoone puhul energiatõhususarv on 273 kWh/(m²*a), mis vastab F – energiatõhususe klassile.

Energiasääst on $\frac{(273-203)}{273} * 100\% = 25,64\%$ ehk 70 kWh/(m²*a).

3.2.4 Matka tee 6

Osaliselt renoveeritud hoone energiatõhususe klass

Hoones on välja vahetatud katusesoojustus mineraalvilla vastu ning soojustatud soklisein, paigaldatud 2-kihilised plastaknad. Samuti paigaldatud õhksoojuspump, aga seda ei kasutata. Peamiseks soojusallikaks on ahiküte.

Osaliselt renoveeritud hoone energiatõhususarv on 287 kWh/(m²*a), mis vastab F – energiatõhususe klassile.

Renoveerimata hoone energiatõhususe klass

Selle renoveerimata hoone puhul energiatõhususarv on 294 kWh/(m²*a), mis vastab F – energiatõhususe klassile.

Energiasääst on $\frac{(294-287)}{294} * 100\% = 2,38\%$ ehk 7 kWh/(m²*a).

3.2.5 Rohula 47

Osaliselt renoveeritud hoone energiatõhususe klass

Hoone välisseinad on PUR vahuga täissüstitud, sokkel on soojustatud ning katusele lisatud 200 mineraalvilla. Paigaldatud 2-kiihlised ja 3-kihilised aknad. Küttesüsteem on gaasikatel ning hoones ventilatsioonisüsteemi ei ole paigaldatud.

Osaliselt renoveeritud hoone energiatõhususarv on 221 kWh/(m²*a), mis vastab E – energiatõhususe klassile.

Renoveerimata hoone energiatõhususe klass

Projekteeritud soojusallikas on ahiküte ning aknad on puitaknad.

Selle renoveerimata hoone puhul energiatõhususarv on 257 kWh/(m²*a), mis vastab F – energiatõhususe klassile.

Energiasääst on $\frac{(257-221)}{257} * 100\% = 14,01\%$ ehk 36 kWh/(m²*a).

3.2.6 Villardi 30

Antud hoone on kortereramu, mille välisseinatüüp on Nopsasein. Hoone ei ole kunagi renoveeritud, seega siin ei ole võimalik võrrelda renoveerimislahenduste mõju hoone energiatõhususele. Kõikide korterite peamine soojusallikas on ahiküte ning tuginedes

sellele hoone energiatõhususarv on 248 kWh/(m²*a), mis vastab F – energiatõhususe klassile.

3.2.7 Ümera 8

Osaliselt renoveeritud hoone energiatõhususe klass

Hoone välisseinad on PUR vahuga täissüstitud ja katusele lisatud 200 mineraalvilla. Antud töö põhifaasis hoones oli kasutusel gaasikatel ning hoones on paigaldatud soojustagastusega ventilatsioonisüsteem. Aasta 2022 jooksul vahetati gaasikatel pelletikatla vastu.

Osaliselt renoveeritud gaaskatlagi hoone energiatõhususarv on 189 kWh/(m²*a), mis vastab D – energiatõhususe klassile.

Osaliselt renoveeritud pelletikatlagi hoone energiatõhususarv on 153 kWh/(m²*a), mis vastab C – energiatõhususe klassile.

Renoveerimata hoone energiatõhususe klass

Projekteeritud soojusallikas on ahiküte, seega selle renoveerimata hoone puhul energiatõhususarv on 255 kWh/(m²*a), mis vastab E – energiatõhususe klassile.

Energiasääst gaasikatla puhul on $\frac{(255-189)}{255} * 100\% = 25,88\%$ ehk 66 kWh/(m²*a).

Energiasääst pelletikatla puhul on $\frac{(255-153)}{255} * 100\% = 40,00\%$ ehk 102 kWh/(m²*a).

3.2.8 Järve 8

Hoone ei ole kunagi renoveeritud ning sees pole keegi elanud kümneid aastaid, seega siin ei ole võimalik võrrelda renoveerimislahenduste mõju hoone energiatõhususele. Eramu peamine soojusallikas on ahiküte ning tuginedes sellele, hoone energiatõhususarv on 280 kWh/(m²*a), mis vastab F – energiatõhususe klassile.

3.2.9 Tartu 34a

Osaliselt renoveeritud hoone energiatõhususe klass

Tegemist on kortermajaga, kus välisseinad on PUR vahuga täissüstitud ja aknad vahetatud. Peamine soojusallikas on ahiküte kuigi mõnedes korterites kasutatakse ka õhksoojuspumbad.

Selle hoone energiatõhususarv on 215 kWh/(m²*a), mis vastab E – energiatõhususe klassile.

Renoveerimata hoone energiatõhususe klass

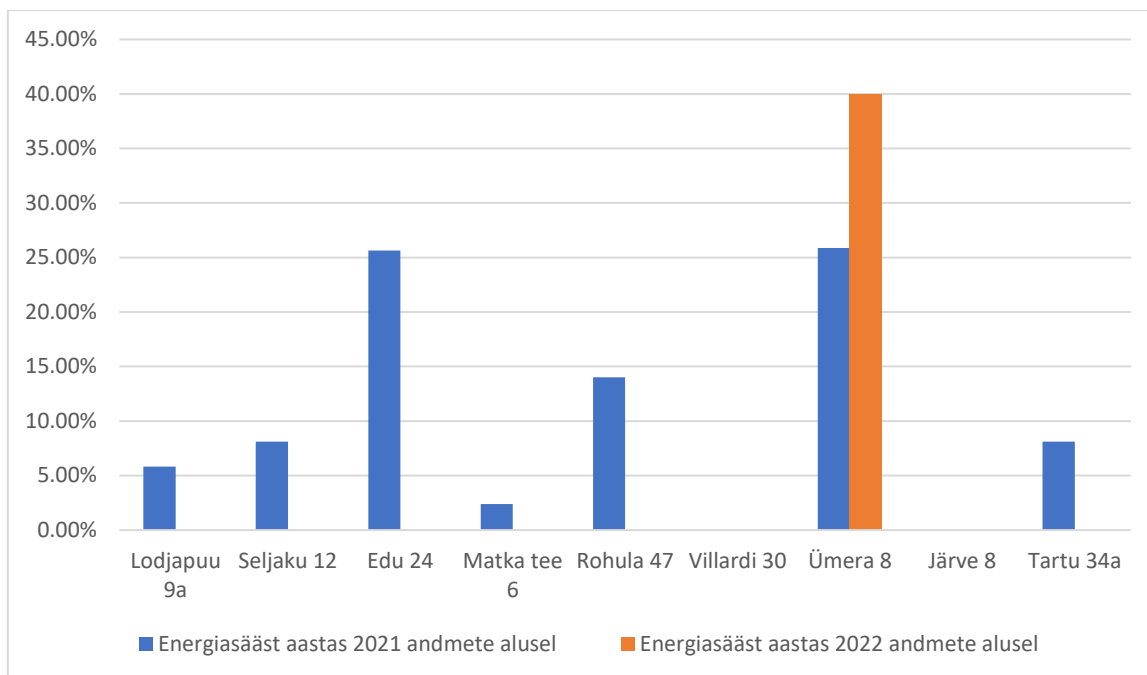
Projekteeritud soojusallikas on ahiküte, seega selle renoveerimata hoone puhul energiatõhususarv on 234 kWh/(m²*a), mis vastab F – energiatõhususe klassile.

Energiasääst on $\frac{(234-215)}{234} * 100\% = 8.12\%$ ehk 19 kWh/(m²*a).

3.2.10 Järeldused

On selgelt näha, et need hooned, kus olid renoveeritud kõik välisseinad ja katus, vanad aknad vahetatud uute akende vastu, seal on energiasääst tunduvalt suurem. Seejuures tuleb rõhutada ka seda, et ainult soojustamisest ja akende välja vahetamisest ei piisa miinimum C – energiaklassi saavutamiseks. Lisaks soojustamisele tuleb kindlasti välja vahetada ka soojusallikat ning paigaldada soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi.

Seda on näha kui võrrelda Edu 24 ja Rohula 47 energiasäästu. Kõige rohkem renoveerimistöodesse panustati eramus aadressil Rohula 47, kus soojustati kõik välistarindid peale keldrilae ja vahetati välja kõik avatäided. Kuigi energiasääst on ainult 14%. Seejuures eramus aadressil Edu 24 soojustati ainult katust ja pool välisseinte mahust, kuid vahetati välja ahikütet pelletikatla vastu. Tänu sellele on saavutatud üle 25% energiasäästu. Juhul kui hoones ei ole paigaldatud soojustagastusega ventilatsioonisüsteem, siis energiasääst võiks olla veel suurem.



Joonis 3.4 Seni tehtud renoveerimistöõde mõju hoonete energiasäästule.

3.3 Soojusvooplaatidest saadud tulemused

3.3.1 Tartu 34a, Võru

Välissein

Enne hoone välisseinte PUR vahuga süstimist paigaldati soojusvooplaadid nii välisseina kui katuslae peale. Andmeid salvestati kolme kuu jooksul.

Oli teada, et tegemist on lapikivist laotud kolmekihilise Nopsaseinaga, mille välimine tellisevahe on õhkvahe. Kuna välisseinas puuduvad tuulutusrestid ning sokli juures samuti puudub tuulutusvahe, siis on eeldatud, et õhkvahe on suletud. Vastavalt standardile EVS-EN ISO 6946:2017 ventileerimata õhkvahe soojustakistus R on $0,18 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$. Arvutatud tulemus näitab, et renoveerimata lapikividest laotud kolmekihilise Nopsaseina soojusläbivus U_w on $0,48 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Soojusvooplaatide abil oli saadud keskmiseks sein soojuläbivuseks $U_w = 0,53 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Mõõdetud ja arvutatud tulemuste vahe on umbes 9%.

Üks põhjus, miks tulemused ei klapi paremini, võib nimetada soojusvooplaatide paigaldus. Kuna aluspind, mille külge kinnitati soojusvooplaadid ei olnud sile (sein ei ole

krohvitud ja paigaldati otse telliste peale), siis on võimalik, et toa õhk pääses soojusvooplaate alla ja mõjutas mõõdetud tulemust.

Teine põhjus võib olla see, et ventileerimata õhkvahe on siiski mingil määral ventileeritud. See omakorda alandab selle õhkvahe soojustakistuse ning mõjutab tervet seina soojusläbivust.

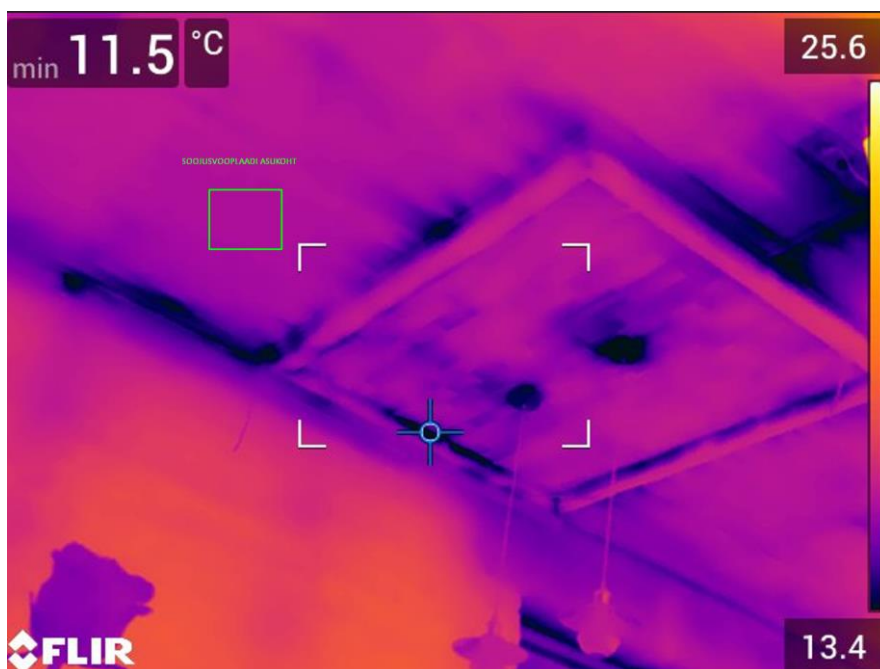
Katuslagi

Soojusvooplaate paigaldamise ajaks katuslagi oli täiendavalt soojustatud mineraalvillaga, mille kihipaksus oli umbes 200 mm. Soojusvooplaate paigaldati katuslakke samamoodi kolmeks kuuks.

Kolme kuu jooksul mõõdetud keskmine tulemus on $U_R = 0,44 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Arvutatud katuslae soojusläbivus on $U_R = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Erinevus on kolmekordne. On teada, et soojusvooplaat oli paigaldatud suure õhulekkekoha kõrvale (vt. joonist Joonis 3.5) ning on võimalik, et õhuleke mõjutas mõõdetud tulemust. Samuti on võimalik, et mingis kohas soojusvooplaat ei olnud piisavalt hästi surutud vastu katuslagi, ning soe õhk pääses plaadi taha.



Joonis 3.5 Õhuleke läbi katuslae soojusvooplaadi juures

3.3.2 Ümera 8, Tartu

Sarnaselt Tartu 34a korterelamuga, Ümera 8 eramu välisseinad on PUR vahuga täis süstitud. Kuna tegemist oli Harju seinaga, siis oli otsustatud paigaldada ühe suure

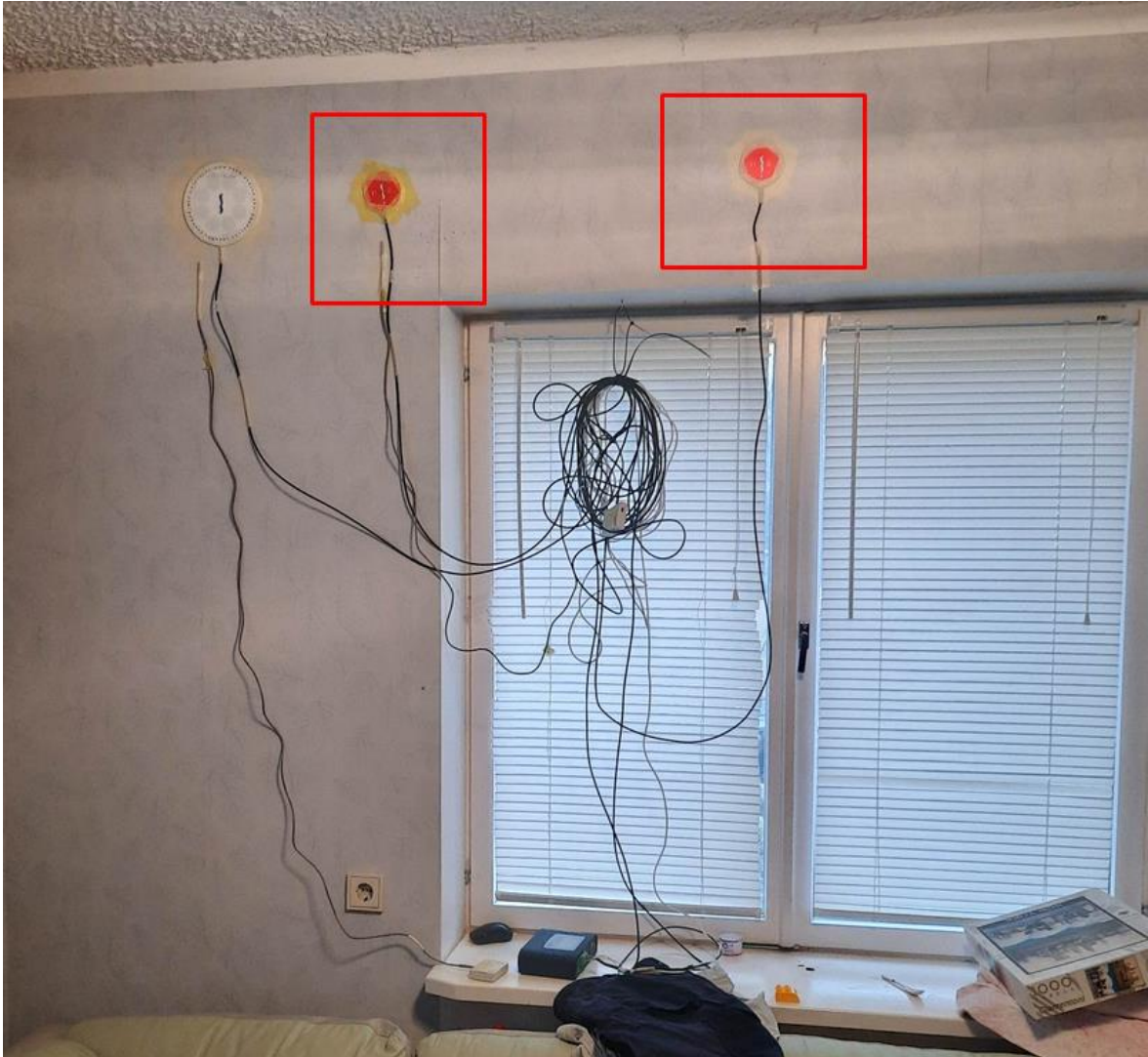
soojusvooplaadi puitpostide vahele ja kaks väikest puitpostide peale. Postiasukohad otsiti termokaamera abil (vt. Joonis 3.6).

Soojusvooplaate paigaldati antud hoonesse kaheks nädalaks kaks korda, kuna esimesel katsel plaadid kukkusid seina pealt alla. Teine katse samuti osaliselt ebaõnnestus – pinnatemperatuuriandur läks rikki ja pidevalt näitas rohkem kui 100 kraadi sooja välisseina peal. Kuna pinnatemperatuur postide peal jäi teadmata, siis ei saanud ka tuletada soojuslähivust. Joonis 3.7 on näidatud kaks soojusvooplaati, millega mõõtmise ebaõnnestus.

Suure soojusvooplaadi abil saadud andmete alusel PUR vahuga süstitud Harju seina soojuslähivus $U_w = 0,31 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Süstitud vahu koguse info puudumise tõttu ei ole võimalik arvutada teoreetilist seina soojuslähivust. On teada, et renoveerimata Harju seina soojuslähivus $U_w = 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Siit on näha, et peale PUR vahuga süstimist välisseina soojuslähivus läks 1/3 võrra paremaks.



Joonis 3.6. Puitpostide asukohad Harju seinas.



Joonis 3.7 Harju seina puitpostid

3.3.3 Rohula 47, Tallinn

Eramu aadressil Rohula 47 on Harju seina tüüpi hoone. Mitu aastat tagasi välisseinad soojustati PUR vahuga ning täiendavalt paigaldati 50 mm lisasoojustust sissepoole. Antud hoonesse soojusvooplaadid said paigaldatud kohe peale Ümera 8 eramut, seega teadmatult siin samamoodi ei õnnestunud saada andmeid kahest väikesest soojusvoopladist.

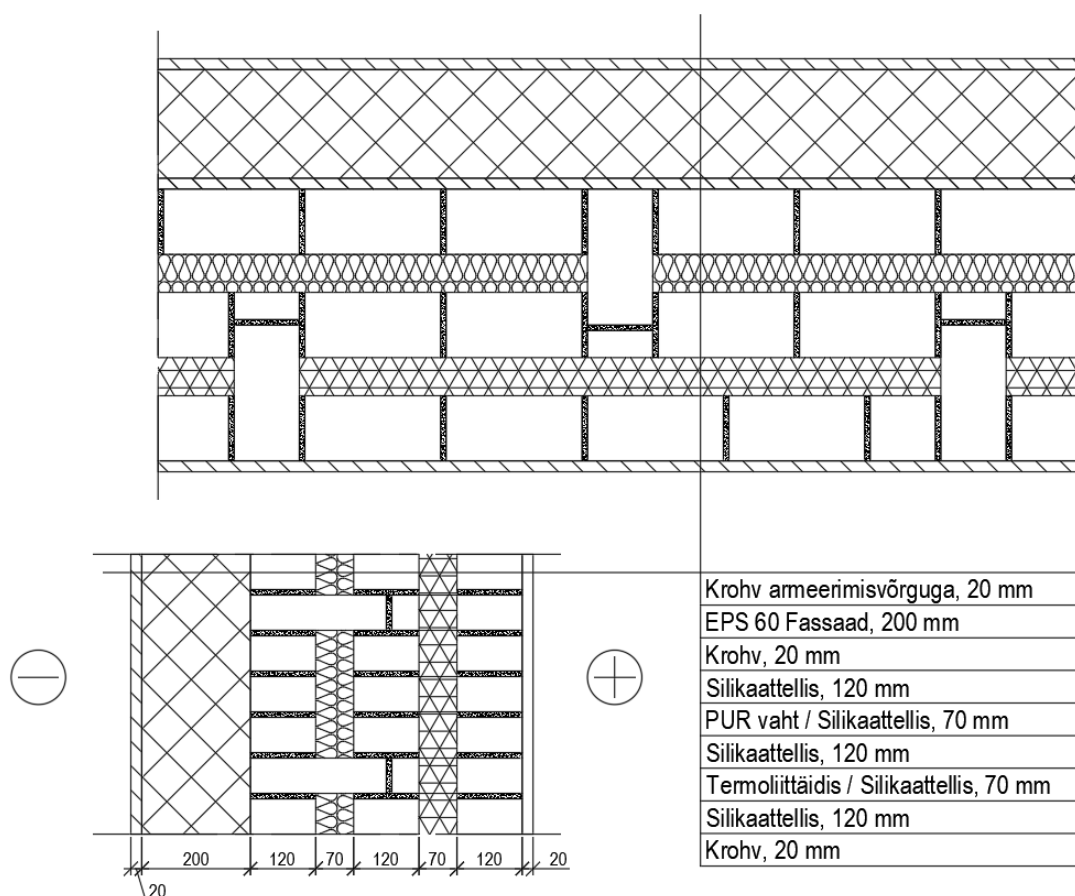
Soojusvooplaate paigaldati samuti kaheks nädalaks ning keskmiseks mõõdetud välisseina soojuslähivuseks oli saadud $U_w = 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$. On teada, et renoveerimata Harju seina soojuslähivus $U_w = 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, seega soojuslähivus läks poole võrra paremaks.

4 TULEMUSTE HINDAMINE

4.1 Nopsaseina renoveerimislahendused

4.1.1 Väljaspoolne soojustamine

Kuna valdaval enamusel kolmekihilise lapikivist laotud Nopsaseinaga eramutel on välimine vahe – õhkvahe, siis seda tuleb PUR vahuga täis süstida. Kuigi ainult PUR vahust ei piisa ja tuleb lisada soojustust ka väljastpoolt. Seestpoolt soojustamine ei ole mõistlik kuna lisatava soojustuse paksus on suur ja on oht, et telliskonstruktsioon külmub ära. Seina lahti võtmine ja vana soojustuse asendamine uue soojustusega ei ole samamoodi mõistlik lahendus, sest asendatava soojustuse paksus sel juhul on ainult 70 mm, mis ei suuda oluliselt parandada seina soojuslähivust. Seega vastavalt kombinatsioonitabelitele kui kasutada 300 mm lisasojustust, siis enamuste kütteallikatega õnnestub saavutada C – energiaklassi. Skemaatiline väljastpoolt soojustatud välisseina lõige on esitatud Joonis 4.1. Täpsemad sõlmede joonised Nopsaseina kohta esitatud peatükis Lisad.



Joonis 4.1 Nopsaseina soojustamine väljastpoolt

Renoveerimislahenduste väljatöötamiseks oli valitud Tartu 34a korterelamu, seega allpool esitatud tabeli koostamiseks kasutatud andmed tulenevad antud hoone projektist. Allolevates tabelites on esitatud Nopsaseina renoveerimiseelne ja renoveerimisjärgne külmasildade osakaal ja vastavad temperatuuriindeksid.

Tabel 4.1 Renoveerimata Nopsaseinaga hoone temperatuuriindeksid ja soojuskaod läbi külmasildu

| | Temperatuuri- indeks f_{Rsi} | Joonsoojus- läbivus Ψ_i | Liitekoha pikkus l | Soojuserikadu H |
|-------------|--|--|--|-------------------------------------|
| | [-] | [W/(m*K)] | [m] | [W/K] |
| Aknasõlm | 0,59 | 0,84 | 135,2 | 113,57 |
| Räästasõlm | 0,74 | 0,30 | 66.3 | 19,89 |
| Soklisõlm | 0,40 | 0,67 | 66.3 | 44,42 |
| VS+VS liide | 0,73 | 0,67 | 44.8 | 30,02 |
| | | | Kokku: | 207,90 |

Tabel 4.2 Renoveeritud Nopsaseinaga hoone temperatuuriindeksid ja soojuskaod läbi külmasildu

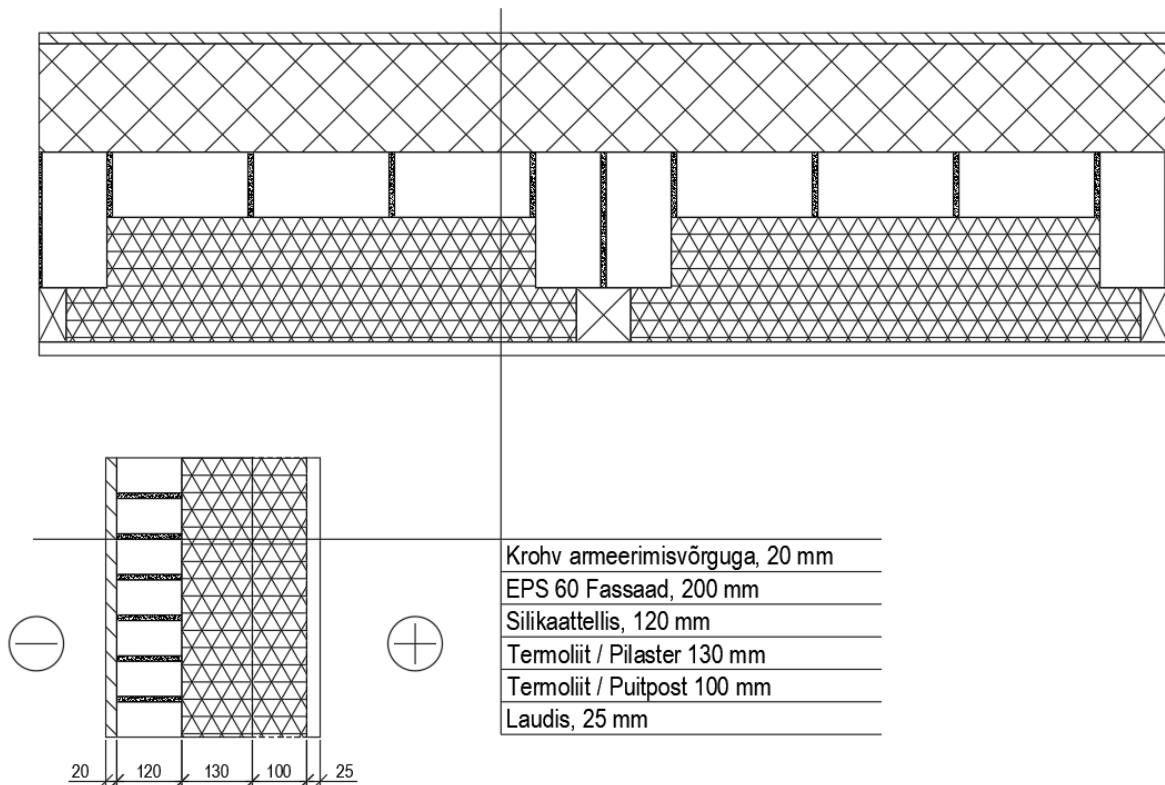
| | Temperatuuri- indeks f_{Rsi} | Joonsoojus- läbivus Ψ_i | Liitekoha pikkus l | Soojuserikadu H |
|-------------|--|--|--|-------------------------------------|
| | [-] | [W/(m*K)] | [m] | [W/K] |
| Aknasõlm | 0,78 | 0,04 | 135,2 | 5,41 |
| Räästasõlm | 0,84 | 0,33 | 66.3 | 21,88 |
| Soklisõlm | 0,80 | 0,16 | 66.3 | 10,61 |
| VS+VS liide | 0,92 | 0,08 | 44.8 | 3,58 |
| | | | Kokku: | 41,48 |

Tuginedes standardis EVS-EN 13788:2012 esitatud nõuetele temperatuuriindeksile saab öelda, et pakutud lahendus sobib. Kõikide renoveeritud sõlmede temperatuuriindeks on suurem või võrdne 0,80. Akna puhul see peab olema vähemalt 0,70. Samuti on näha, et lisasoojustuse paigaldamisega õnnestus vähendada külmasildade osakaalu peaaegu 6 korda.

4.2 Harju seina renoveerimislahendused

4.2.1 Väljaspoolne soojustamine

Väljastpoolt soojustamine on aktuaalne nende hoonete puhul, mis ei asu miljöökaitse ala, ehk nende fassaadile ei rakendata mingeid lisanõudeid. Väljastpoolt soojustamise suureks eeliseks on see, et ta jätab siseviimistlust puutumata ja renoveerimistöid saab teostada ilma olulist sekkumist elanike ellu.



Joonis 4.2 Harju seina soojustaimne väljastpoolt

Allolevates tabelites on esitatud Harju seina renoveerimiseelne ja renoveerimisjärgne külmasildade osakaal ja vastavad temperatuuriindeksid.

Tabel 4.3 Renoveerimata Harju seinaga hoone temperatuuriindeksid ja soojuskaod läbi külmasildu

| | Temperatuuri- indeks f_{Rsi} | Joonsoojus- läbivus Ψ_i | Liitekohta pikkus l | Soojuserikadu H |
|-------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------|
| | [-] | [W/(m*K)] | [m] | [W/K] |
| Aknasõlm | 0,58 | 0,57 | 99,5 | 43,78 |
| Räästasõlm | 0,79 | 0,13 | 40,5 | 5,27 |
| Soklisõlm | 0,75 | 0,10 | 43,7 | 4,37 |
| VS+VS liide | 0,79 | 0,02 | 38,2 | 0,76 |

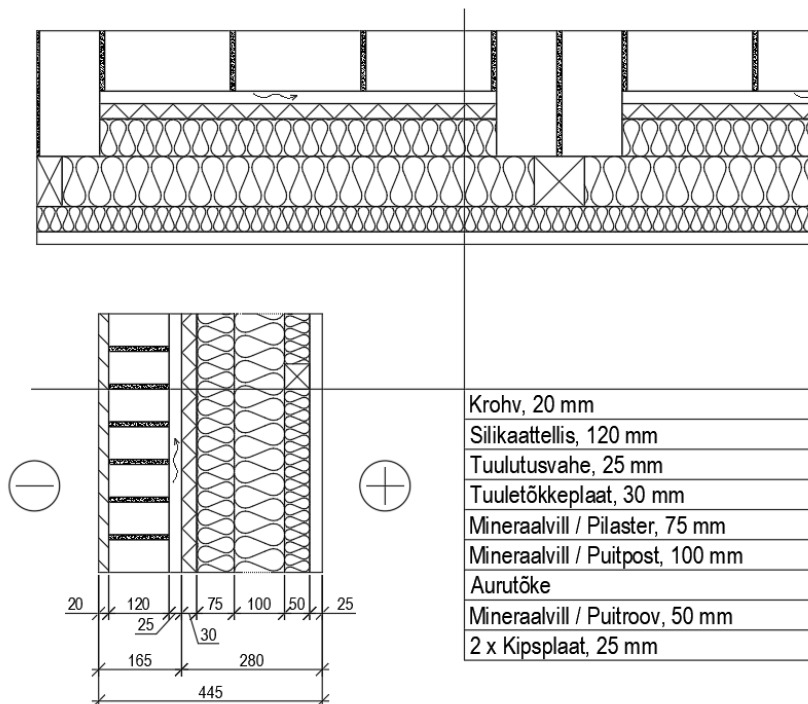
| | | |
|--|---------------|--------------|
| | Kokku: | 67,11 |
|--|---------------|--------------|

Tabel 4.4 Väljastpoolt soojustatud Harju seinaga hoone temperatuuriindeksid ja soojuskaod läbi külmasildu

| | Temperatuuri- indeks f_{Rsi} | Joonsoojus- läbivus Ψ_i | Liitekohta pikkus l | Soojuserikadu H |
|-------------|--|--|---|-------------------------------------|
| | [-] | [W/(m*K)] | [m] | [W/K] |
| Aknasõlm | 0,78 | 0,04 | 99,5 | 3,98 |
| Räästasõlm | 0,89 | 0,12 | 40,5 | 4,86 |
| Soklisõlm | 0,89 | 0,08 | 43,7 | 3,50 |
| VS+VS liide | 0,90 | 0,07 | 38,2 | 2,67 |
| | | | Kokku: | 15,01 |

4.2.2 Seespoolne soojustamine

Harju seinlaud on võimalik teostada soojustamist ka seestpoolt. See eeldab sisemise laudise ära võtmist ja seapurutäidist välja vahetamist mineraalvilla vastu. Kuigi tuleb silmas pidada, et sel juhul tuleb lisada veel 50 mm soojustust juurde, mis vähendab iga ruumi sisemõõde. Samuti tuleb tekitada telliseina ja tuuletõkkeplaadi vahele ka tuulutusvahe. Vastasel juhul võib juhtuda nii, et mitte piisava tuulutuse tõttu niiskus võib hakata akumuleeruma soojustuse sees.



Joonis 4.3 Harju seinlaudu soojustamine seestpoolt

Allolevas tabelis on esitatud Harju seina renoveerimisjärgne külmasildadest tingitud soojuserikadu ja vastavad temperatuuriindeksid.

Tabel 4.5 Seestpoolt soojustatud Harju seinaga hoone temperatuuriindeksid ja soojuskaod läbi külmasildu

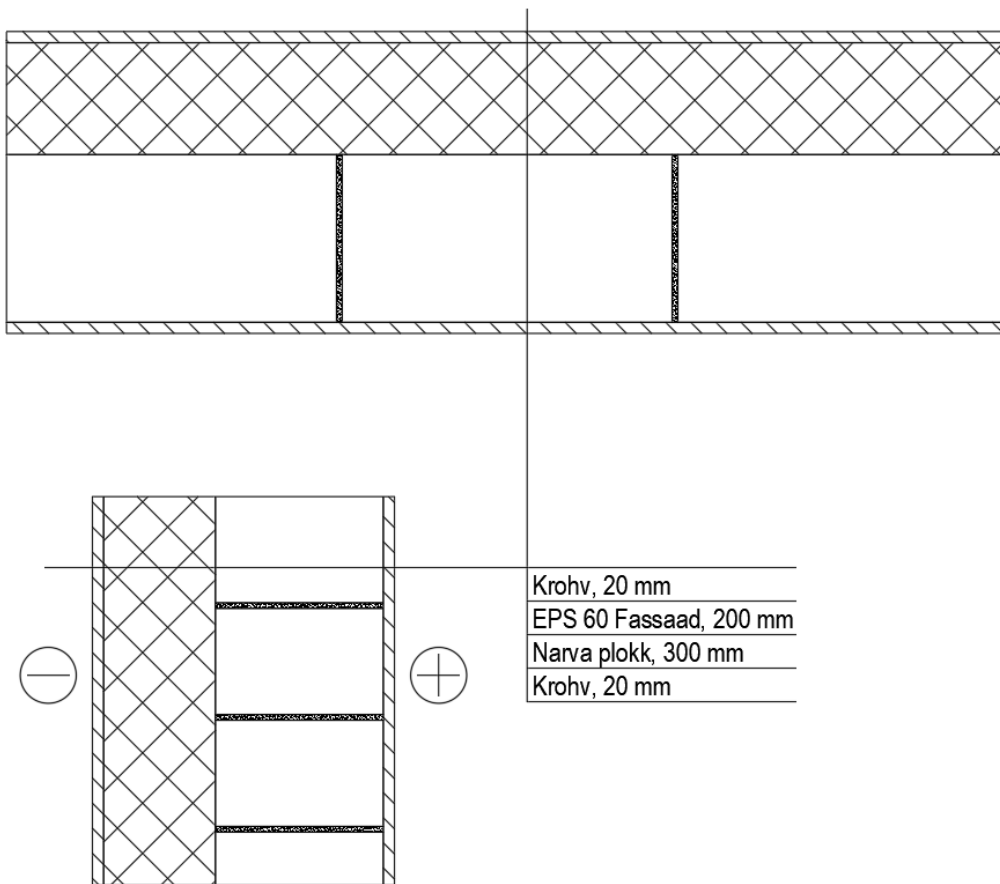
| | Temperatuuri- indeks f_{Rsi} | Joonsoojus- läbivus Ψ_i | Liitekoha pikkus l | Soojuserikadu H |
|-------------|--|--|--|-------------------------------------|
| | [-] | [W/(m*K)] | [m] | [W/K] |
| Aknasõlm | 0,78 | 0,06 | 99,5 | 5,97 |
| Räästasõlm | 0,78 | 0,61 | 40,5 | 24,71 |
| Soklisõlm | 0,85 | 0,28 | 43,7 | 12,24 |
| VS+VS liide | 0,91 | -0,02 | 38,2 | - |
| | | | Kokku: | 42,92 |

Vastavalt tehtud arvutustele antud lahenduse puhul probleemseks kohaks võib osutada räästasõlm, kus temperatuuriindeks on piirsuurusest väiksem. Antud sõlme tuleb täiendavalt kontrollida dünaamilise simulatsiooni abil, et teha selgeks, kas antud sõlmes esineb hallituse või kondenseerumise oht.

4.3 Gaasbetoonplokkidest sein

4.3.1 Väljastpoolt soojustamine

Antud töös vaadeldud hoonetes kasutatakse gaasbetoonplokkide, mida nimetatakse Narva plokk. Oma omaduste järgi nad on sarnased tänapäevaste Bauroc plokkidega. Antud seina renoveerimiseks sobib hästi soojustamine väljastpoolt, kus fassaadi peale lisatakse 200 mm lisasoojustust. Allapool on esitatud väljastpoolt soojustatud seina skemaatiline lõige.



Joonis 4.4 Väljastpoolt soojustatud gaasbetoonplokkidest välissein

Renoveerimislahenduste väljatöötamiseks oli valitud Järve 8 ühepereelamu, seega allpool esitatud tabeli koostamiseks kasutatud andmed tulenevad antud hoone projektist. Allolevates tabelites on esitatud Nopsaseina renoveerimiseelne ja renoveerimisjärgne külmasildade osakaal ja vastavad temperatuuriindeksid.

Tabel 4.6 Väljastpoolt soojustatud gaasbetoon seinaga hoone temperatuuriindeksid ja soojuskaod läbi külmasildu

| | Temperatuuri- indeks f_{Rsi} | Joonsoojus- läbivus Ψ_i | Liitekohta pikkus l | Soojuserikadu H |
|-------------|--|--|---|-------------------------------------|
| | [-] | [W/(m*K)] | [m] | [W/K] |
| Aknasõlm | 0,63 | 0,32 | 95,5 | 30,56 |
| Räästasõlm | 0,76 | 0,21 | 46,6 | 9,79 |
| Soklisõlm | 0,79 | 0,19 | 46,8 | 8,89 |
| VS+VS liide | 0,81 | 0,35 | 44,8 | 15,68 |
| | | | Kokku: | 64,92 |

| | Temperatuuri- indeks f_{Rsi} | Joonsoojus- läbivus Ψ_i | Liitekohta pikkus l | Soojuserikadu H |
|-------------|--|--|---|-------------------------------------|
| | [-] | [W/(m*K)] | [m] | [W/K] |
| Aknasõlm | 0,78 | 0,04 | 95,5 | 3,82 |
| Räästasõlm | 0,90 | 0,08 | 46,6 | 3,73 |
| Soklisõlm | 0,93 | 0,12 | 46,8 | 5,62 |
| VS+VS liide | 0,91 | 0,12 | 44,8 | 5,38 |
| | | | Kokku: | 18,55 |

Antud lahenduse puhul soojuserikadu läbi külmasildu on 3,5 korda vähenenud ja kõikide sõlmede lahenduste puhul on temperatuuriindeks oluliselt suurem.

5 JÄRELDUSED

Renoveerimislahenduste väljatöötamise osas võib teha järgmised järeldused:

- C – energiatõhususklassi saavutamine ahi- või gaasiküttega tihtipeale nõuab üle 300 mm lisasoojustuse paigaldamist välisseintele ja katusele.
- Reeglina ainult soojustamisest C – energiatõhususklassi saavutamiseks ei piisa ainult soojustamisest. Lisaks sellele tuleb välja vahetada ka soojusallikat ja paigaldada soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi.
- Üksikud renoveerimistööd, näiteks ainult seinte või katust soojustamine, ei anna olulist tulemust energiatõhususe parandamisel, hoone renoveerimist tuleb käsitleda tervikuna.
- Ajavahemikul 27.05.22 kuni 14.12.22 uuritud avatud pooridega PUR vahuga süstitud Nopsasein näitas, et vahu sees hallituse tekke kondenseerumine on vähetõenäoline.
- Ainult PUR vahu süstimine ei suuda parandada välisseinte soojapidavust oluliselt kui süstitav kiht on liiga õhuke. Tuleb paigaldada lisasoojustust kas seest või väljast.
- Harju seina seestpoolt soojustamisel on tähtis tekitada välisvoodri ja soojustuse vahele tuulutustavahe, et välistada soojustuse märgumist.

KOKKUVÕTE

Euroopa Liit on püstitanud oma liikmetele eesmärgi aastaks 2050 renoveerida kogu elamispinda vähemalt C – energiatõhususklassi. See puudutab ka Eestit, seega selle lõputöötoõ raames olid uuritud tellis-kergseintega elamud ning pakutud välisseinte renoveerimislahendused vähemalt C – energiaklassi saavutamiseks. Uuringute käigus olid läbivaadatud Nopsaseina, Harju sein, Rolokseina, Nõmme sein ja gaasbetoonseinaga väikepereelamud ja 2 korterelamut. Selgus, et enamikus hoonetes on juba rakendatud mingid meetmed energiatõhususe parandamiseks, aga ainult üks hoone on lõpuks saavutanud C – energiatõhususklassi.

Hoone tehnilise seisukorra hindamiseks elamute elanikele oli pakutud küsitlusankeet, kus olid kirjeldatud seni tehtud tööd ja tehnosüsteemide seisukord. Uurimisrühma koosseisus nendele hoonetele olid teostatud termograafia ja õhulektestid. Kolmes hoones, mille välisseinad on PUR vahuga täis süstitud kasutati soojusvooplaadid välisseinte soojuslähivuse määramiseks. Ühes hoones paigaldati temperatuuri ja suhtelist niiskust mõõtvad andurid PUR vahuga süstitud välisseina sisse.

Nende andmete alusel iga hoone kohta oli arvutatud tegelik energiatõhususklass, kasutades selleks MKM'i poolt avalikustatud väikeelamu energiatõhususarvu kalkulaatorit. Sama kalkulaatori abil olid paika pandud soojuserikao (H) ja köetava pinna ($A_{\text{kõetav}}$) suhe piirväärtused C - , B - ja A - energiatõhususklassi jaoks. Koostati kombinatsioonitabeleid, millega arvutati soojuserikao (H) ja köetava pinna ($A_{\text{kõetav}}$) suhet. Selleks muudeti lisatava soojustuse paksusi (50 kuni 300 mm), soojusallikaid ja ventilatsioonisüsteemi (loomulik või mehaaniline soojustagastusega). Vastavalt saadud soojustusepaksustele olid välja töötatud renoveerimislahendused põhilistele liitesõlmedele: aknasõlm, räästasõlm/parapetisõlm, soklisõlm ja välisseinte omavaheline liitesõlm. Välja valitud lahendused kontrolliti Therm 7,6 tarkvara abil, et määrata külmasildade osakaalud ja temperatuurindeksid. Vastavalt saadud tulemustele võib järeldada, et pakutud lahendused kehtivad ning nende abil on võimalik saavutada vähemalt C – energiaklassi.

SUMMARY

European Union has set a goal for its participants to renovate its residential area at least to C energy efficiency class. This applies to Estonia as well, so in this master's thesis are studied many brick masonry walls of residential buildings and developed renovation solutions for reaching at least C energy efficiency class. There were studied Nopsasein, Harju sein, Roloksein and gas concrete walls in single-family houses and 2 apartment buildings. Turned out that only one building meets the C – energy efficiency class requirements.

To evaluate the technical status of the building, a survey form was offered to the residents of the residential buildings, which described the renovation works is done so far and the status of the technical systems. As part of the research team, thermography and air leakage tests were performed in these buildings. In three buildings whose exterior walls are fully injected with PUR foam, heat flow plates were used to determine the thermal transmittance of the exterior walls. In one building, sensors measuring temperature and relative humidity were installed inside an external wall injected with PUR foam.

Based on this knowledge, there was calculated actual energy efficiency class for each building using the energy efficiency calculator developed by the Ministry of Economic Affairs and Communication. Using the same calculator there were worked out the limits of ratio of steady-state heat transfer coefficient (H) and heated area (A_H). This was achieved by changing the additional insulation thickness (50 to 300 mm), heat source and ventilation system (natural or mechanical with heat exchanger). Renovation solutions for window detail, parapet detail, socle detail and connection between two external walls were developed according to the obtained ratio. The selected solutions were controlled using Therm 7.6 software to determine the proportions of cold bridges and temperature factors. According to the obtained results, it can be concluded that the proposed solutions are valid and with their help it is possible to achieve at least C - energy class.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] “Energia ja roheline kokkulepe.” https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/energy-and-green-deal_et (accessed Mar. 07, 2022).
- [2] EUROOPA KOMISJON, “KOMISJONI TEATIS EUROOPA PARLAMENDILE, NÕUKOGULE, EUROOPA MAJANDUS- JA SOTSIAALKOMITEELE NING REGIOONIDE KOMITEELE Euroopa renoveerimislaine – keskkonnahoidlikumad hooned, uued töökohad, parem elujärg,” *COM/2020/662 final*.
- [3] R. Walker and S. Pavía, “Thermal and moisture monitoring of an internally insulated historic brick wall,” *Build Environ*, vol. 133, 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.02.020.
- [4] Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, “Aastaks 2050 tuleb renoveerida suur osa hoonefondist.”
- [5] Ettevõtlus- ja infotehnoloogia minister, “Hoone energiatõhususe miinimumnõuded”, Accessed: Feb. 27, 2022. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/113122018014>
- [6] Majandus- ja taristuminister, “Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika.” 2020. Accessed: Feb. 27, 2022. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/107072020012>
- [7] A. Allikmaa *et al.*, “Eesti energiamajanduse arengukava ENMAKi uuendamise hoonete energiasäästupotentsiaali uuring Hoonefondi energiatõhususe parandamine-energiasääst, ühikmaksumused ja mahud,” 2013.
- [8] L. Jürgenson, *Elamuehitus I*. Tartu: RK “Teaduslik kirjandus,” 1949.
- [9] Veski A., *Individuaalelamute ehitamine*. Tallinn: Kirjastus “Valgus,” 1969.
- [10] T. Andre Elvisto, “MILJÖÖVÄÄRTUSLIKEL ALADEL PAIKNEVATE AJALOOLISTE HOONETE energiatõhususe parandamise juhend/abimaterjal.” <https://www.restaureerimiskeskus.ee/kontakt/kasulikud-lingid> (accessed Feb. 26, 2022).
- [11] J. Zagorskas, E. K. Zavadskas, Z. Turskis, M. Burinskiene, A. Blumberga, and D. Blumberga, “Thermal insulation alternatives of historic brick buildings in Baltic Sea Region,” *Energy Build*, vol. 78, 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.04.010.
- [12] Eesti Standardikeskus, “EVS-EN ISO 10211:2017 Külmasillad hoones. Soojusvoolud ja pinnatemperatuurid. Detailsed arvutused .”
- [13] Eesti Standardikeskus, “EVS-EN ISO 13788:2012 Hoone elementide ja piirdetarindite soojus- ja niiskustehniline toimivus. Kriitilise pinnaniiskuse ja elemendisise kondenseerumise vältimine. Arvutusmeetodid .”
- [14] Eesti Standardikeskus, “EVS-EN ISO 13788:2012 Hoone elementide ja piirdetarindite soojus- ja niiskustehniline toimivus. Kriitilise pinnaniiskuse ja elemendisise kondenseerumise vältimine. Arvutusmeetodid ,” 2012.
- [15] T. Ojanen, H. Viitanen, R. Peuhkuri, K. Lähdesmäki, J. Vinha, and K. Salminen, “Mold growth modeling of building structures using sensitivity classes of materials,” in *Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings - 11th International Conference*, 2010.
- [16] H. Viitanen, T. Ojanen, and R. Peuhkuri, “Mould growth modelling to evaluate durability of materials,” in *Proceedings of the 12DBMC -*

- International Conference on Durability of Building Materials and Components*, 2011.
- [17] H. Viitanen and T. Ojanen, "Improved model to predict mold growth in building materials," in *Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings*, 2007.
- [18] P. Klõšeiko and T. Kalamees, "Hygrothermal performance of a brick wall with interior insulation in cold climate: Vapour open versus vapour tight approach," *J Build Phys*, 2021, doi: 10.1177/17442591211056067.
- [19] P. Klõšeiko, E. Arumägi, and T. Kalamees, "Hygrothermal performance of internally insulated brick wall in cold climate: A case study in a historical school building," *J Build Phys*, vol. 38, no. 5, 2015, doi: 10.1177/1744259114532609.
- [20] P. Klõšeiko, *Hygrothermal Performance of Masonry Walls Retrofitted with Interior Insulation in Cold Climate*. 2022.
- [21] D. Antolinc, K. Černe, and Z. Jagličić, "Risk of using capillary active interior insulation in a cold climate," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 21, 2021, doi: 10.3390/en14216890.
- [22] E. Biseniece *et al.*, "Thermal performance of internally insulated historic brick building in cold climate: A long term case study," *Energy Build*, vol. 152, 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.07.082.
- [23] Eesti Standardikeskus, "EVS-EN 14315-1:2013 Ehituslikud soojusisolatsioonitooted. Pihustatud jäigad vahtpolüuretaan- (PUR) ja vahtpolüisotsüanuraattooted (PIR). Osa 1: Pihustatud jäikade vahttoodete paigalduseelne spetsifikatsioon".
- [24] E. J. de Place Hansen, T. K. Hansen, and V. Soulios, "Deep renovation of an old single-family house including application of a water repellent agent - A case story," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 863, no. 1. doi: 10.1088/1755-1315/863/1/012034.
- [25] X. Z. Ruzhu Wang, *Handbook of Energy Systems in Green Buildings*.
- [26] Kredex, "LIGINULLENERGIA ELUHOONED RIDA-JA KORTERELAMUD," 2017. Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjI64m4q677AhUcBxAIHR_LCgEQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fkredex.ee%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2F2019-03%2FLiginullenergia_eluhooned_Rida_ja_korterehamu_juhend.pdf&usg=AOvVaw0U9hx9IIZUM5V78bCwPfgw
- [27] Eesti Standardikeskus, "EVS-EN ISO 9972:2015 - Hoonete soojuslik toimivus. Hoonepiirete õhulekke määramine. Ventilaatoriga survestamise meetod."
- [28] "BlowerDoor Standard mõõtmissüsteemi koduleht." <https://www.blowerdoor.com/measurement-systems/blowerdoor-standard> (accessed Feb. 24, 2022).
- [29] Eesti Standardikeskus, "EVS-EN 13187:2001 - Thermal performance of buildings - Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes - Infrared method."
- [30] "Termokaamera FLIR E76." <https://www.flir-direct.com/product/flir-e76-42-advanced-thermal-imaging-camera-with-42-degree-lens-78513-1101> (accessed Feb. 24, 2022).
- [31] "HFP01 heat flux sensor ." Accessed: Mar. 02, 2022. [Online]. Available: <https://www.hukseflux.com/products/heat-flux-sensors/heat-flux->

- meters/hfp01-heat-flux-sensor?fbclid=IwAR3qpN0p8L0VEVe3xrk4mxwYU0jUE-24UId4f965l6MFbMdjC8WsCi8Luo8
- [32] "HOBO U10-003 Data Logger Specifications," 2022. [Online]. Available: www.onsetcomp.com/support/contact
 - [33] "Väikeelamu energiatõhususarvu kalkulaator", Accessed: Mar. 02, 2022. [Online]. Available: <https://www.mkm.ee/et/eesmargid-tegevused/ehitus-ja-elamumajandus/hoonete-energiatohusus>
 - [34] "MKM_m58_lisa5 - Kütuste tarbimisaine alumised kütteväärtused".
 - [35] Kredex, "Kraadpäevad. Kredex." <https://kredex.ee/et/energiatohusus-uuringud-ja-andmed/kraadpaevad> (accessed Oct. 10, 2022).
 - [36] T. Kalamees and J. Vinha, "Estonian Climate Analysis for Selecting Moisture Reference Years for Hygrothermal Calculations," *J Build Phys*, vol. 27, no. 3, 2004, doi: 10.1177/1097196304038839.
 - [37] "HOBO® UX100-023A logeri tooteleht." <https://www.onsetcomp.com/datasheet/UX100-023A> (accessed Feb. 24, 2022).
 - [38] HUNTSMAN Building Solution, "Huntsman Building Solutions Additional Document Info Replace with the HBS EMEA address when confirmed H2Foam Lite TECHNICAL DATA SHEET," 2021.
 - [39] EST PLAST, "EPS plaatide omadused," 2016. <https://estplast.ee/> (accessed Dec. 19, 2022).
 - [40] Eesti Standardikeskud, "EVS-EN ISO 6946:2017 Hoonete piirdetarindid ja komponendid. Soojustakistus ja soojusläbivus. Arvutusmeetodid," 2017.
 - [41] ROCKWOOL, "Kivivilla omadused," 2015. <https://www.rockwool.com/ee/tooted-ja-lahendused/tooted/toprock-plus/#Spetsifikatsioonidjasuurused> (accessed Dec. 19, 2022).

LISAD

Lisa 1 Küsitlusankeet eramu tehnilise seisukorra kohta

| | | | | | |
|---|--|-----------------------------|---|--|--------|
| Linn: | | Kuupäev: | | | |
| Address: | | Ankeedi täitis: | | | |
| Skaala (0-5) 0 väga halb, 5 väga hea, x – pole olemas | | | | | |
| 1 Vundament ja sokkel | | | | | |
| 1.1 Niiskusprobleemid | 1) jah | 2) ei | | | |
| 1.2 Põhjused | 1) Ebatoimiv vihmaveesüsteem (Katkised vihmaveetorud ja lekkiv torustik) | 2) Vale tänavakalle | 3) Inimkäsi (nt. kaevetööd) | 4) Hüdroisolatsiooni kihi puudumine | 5) Muu |
| | 6) Ebastabiilne aluspind | 7) mehaaniline | 8) Kõrghaljastus maja vahetus läheduses | 9) Vee- ja soklilaua puudumine, sealhulgas ka kaitseplekid | |
| | 10) Pole tagatud pinnase kalle soklist eemale | 11) Katuseräästa vale laius | | | |
| <p style="text-align: center;">Tagajärjed</p> <p>Mõrad seinapinnas JAH/EI</p> <p>Paigast nihkunud nurgakivid JAH/EI</p> <p>Tühimikud vundamendis (välja vajunud kivid) JAH/EI</p> | | | | | |
| 1.3 Krohv | 1) värv maas | 2) kahjustatud | 3) krohvi pole enam ammu | 4) pole olnudki | |
| 1.4 Biokahjustused sokliil (hallitus, seened, vetikad, samblad, samblikud) | 1) jah | 2) ei | | | |
| 1.5 Kaldus põrandad ja laed | 1) jah | 2) ei | | | |

| | | | | | | |
|------------------|---|---------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------|
| 1.6 | Kahjustuste ulatus | 1) Vihmaveetor ude juures | 2) soklilaud jm | 3) fassaadid | 4) katuserääst as | 5) konstruktsioonid |
| 1.7 | Materjal | 1) paekivi | 2) maakivi | 3) betoon | 4) ker. tellis | 5) sil. tellis |
| 1.8 | Seisund (0-5, x - ei tea) | | | | | |
| 1.9 | Keldriaknad (0-5, x - pole olemas) | | | | | |
| 1.10 | Keldriakende süvendid maapinnas (0-5, x - pole olemas) | | | | | |
| 1.11 | Vajumite erinevused | 1) jah | 2) ei | | | |
| 1.12 | Sokli kõrgus (cm) | | | | | |
| 1.13 | Veelaud, -plekk (jooni alla) (0-5, x - pole olemas) | | | | | |
| 1.14 | Sokli etteaste (cm) | | | | | |
| 2 Fassaad | | | | | | |
| 2.1 | Fassaadi-materjal | 1) laudis | 2) krohv | 3) muu | | |
| 2.2 | Dekoratiivsed detailid | 1) jah | 2) ei | | | |
| 2.3 | Soojustatud | 1) jah | 2) ei | 3) osaliselt | | |
| 2.4 | Fassaadi elemendid (rõdud, erkerid) | 1) jah | 2) ei | | | |
| 2.5 | Akende materjal | 1) vanad puit | 2) uus puitpakett | 3) uus plastikpakett | 4) renov-tud | 5) muu aken |
| 2.6 | % uus/vana | | | | | |
| 2.7 | Vanade akende seisukord (0-5, x - pole olemas) | | | | | |
| 2.7.1 | Uute akende seisukord (0-5, x - pole olemas) | | | | | |
| 2.8 | Aknaplekid (0-5, x - pole olemas) | | | 2.71 Plekkide olemasolu (%) | | |

| | | | | | | |
|------------|---|-------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|--|
| 2.9 | Välisüksed (0-5, x – pole olemas) | | | | | |
| 2.10 | Avataited vastavad tuleohutusele | 1) jah | 2) ei | 3) ei oska öelda | | |
| 2.11 | Varikatused (0-5, x – pole olemas) | | | | | |
| 2.12 | Kahjustuste põhjused | 1) vesi | 2) mehaanilised | 3) tulekahju | 4) kahjurid | 5) muu |
| | | 6) vale värvitüüp | 7) UV | | | |
| Tagajärjed | | | | | | |
| 2.13 | Fassaadikatte peamised kahjustatud piirkonnad | 1) Aknad | 2) Räästaalune | 3) Vihmaveetoru ümbrus | 4) Veelaua/-pleki ümbrus | 5) Nurgad |
| | | 6) varikatused | 7) otsasein | 8) pikisein | 9) taimed | 10) Väikevormid (lipuvardahoidjad, ripsiendid, numbri- ja tänavavalgustid) |
| 2.14 | Värvkatte olukord (0-5, x – pole olemas) | | | | | |
| 2.15 | Seinakonstruktsioonid (0-5, x – ei tea) | | | | | |
| 2.16 | Võimalik lisasoojustus (cm) | | | | | |
| 2.17 | Soojuspumbad (tk) | | | | | |
| 2.18 | Taimed vastu sein | 1) jah | 2) ei | | | |
| 2.19 | Tulemüüri olukord (0-5, x - ei tea) | | | | | |
| 2.20 | TM probleemide põhjused | 1) Taimed | 2) Vajumid | 3) Külmakindl. | 4) Ülespöörde katuse liitel | |
| 2.21 | Kas TM stab. on probleem? | 1) jah | 2) ei | | | |

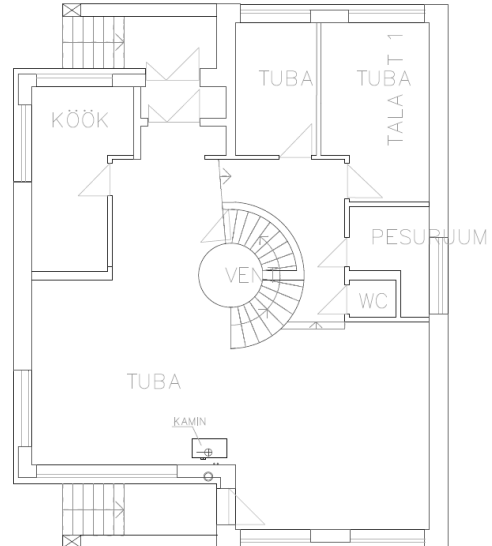
| | | | | | | |
|---------------------------------------|--|---------------|-----------------|-------------------------------|---------------|-------|
| 3 Vihmaveesüsteemide seisukord | | | | | | |
| 3.1 | Vihmaveerenn (0-5, x – pole olemas) | | | | | |
| 3.1.1 | Renni terviklikkus | 1) jah | 2) ei | | | |
| 3.2 | Lehtede- ja sodivaba renn | 1) jah | 2) ei | 3) ei tea | | |
| 3.3 | Vihmaveetoru (0-5, x – pole olemas) | | | | | |
| 3.4 | Vihmaveetoru terviklikkus | 1) jah | 2) ei | | | |
| 3.5 | Torust tuleva vihmavee ohutu eemalejuhtimine | 1) jah | 2) ei | | | |
| 4 Katuse seisukord | | | | | | |
| 4.1 | Materjal | 1) valtsplekk | 2) profiilplekk | 3) eterniit | 4) katusekivi | |
| 4.2 | Seisund (0-5, x - ei tea) | | | | | |
| 4.3 | Külgnemised | | | | | |
| 4.4 | Sammal/taimed | 1) jah | 2) ei | | | |
| 4.5 | Vintskappide, uukide, katuseakende väljaehitus | 1) jah | 2) ei | 4.6 Katuses esineb läbijookse | 1) jah | 2) ei |
| 5 Korstna seisukord | | | | | | |
| 5.1 | Seisund (0-5, x - ei tea) | | | | | |
| 5.2 | Korstnaplekid (0-5, x - ei tea, P – puudu) | | | | | |

L2.1. Lodjapuu 9a, Tallinn

Hoone üldpilt:



Esimese korruse plaan:



Hoone andmed ja tehtud mõõtmised:

- Ehitusaasta – 1992 (oletuslik)
- Kõetav pindala – 237,7 m²
- 2 korrust + kütmata kelder, pööning ja garaaž
- Hoone on varasemalt renoveeritud. Tööde käigus lisati välisseintele 100 mm soojustust väljastpoolt
- Põrandaküte, radiaatoriküte, ahiküte, gaasiküte
- Loomulik ventilatsioon ventilatsioonišahtide kaudu ja mehaaniline ventilatsioon
- Õhulekearv $q_{E50} = 3,82 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$.
- Termograafia mõõtmisel avastati olulisemad külmasillad vahelae ja välisseina liitekohas ning välisseinte liitekohas

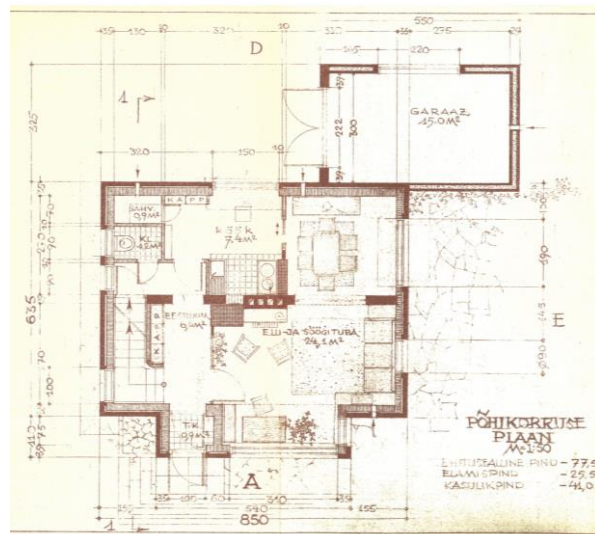
Välisseina konstruktsioon - Väikeplokkist kandevosa ja silikaattellisest väliskihit, mille vahel on räbutäidis

L2.2. Seljaku 12, Tallinn

Hoone üldpilt:



Esimese korruse plaan:



Hoone andmed ja tehtud Välisseina konstruktsioon – Nõmme sein:

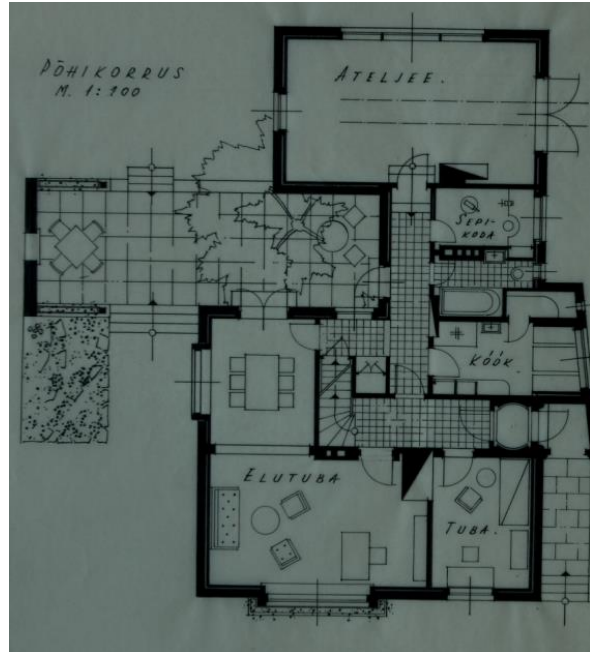
- Ehitusaasta – 1961
- Kõnetav pindala – 93,5 m²
- Välisseinatüüp – Nõmme sein
- Hoone on osaliselt renoveeritud, tööd veel käivad. Tööde käigus vahetatakse vana soojustus välisseintes, katuslaes. Paigaldatakse põrandaküte, vahetatakse aknad.
- Põrandaküte, radiaatorküte, ahiküte
- Loomulik ventilatsioon ventilatsioonišahtide kaudu ja tuulutus akende avamisega
- Mõõdetud õhulekearv $q_{E50} = 11,12 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$
- Termograafia mõõtmisel avastati olulisemad külmasillad vahelae ja välisseina liitekohas ning välisseinte liitekohas. Akende ja vormistamata läbiviikude kohal tuvastati olulised õhulekked.

L2.3. Edu 24, Tallinn

Hoone üldpilt:



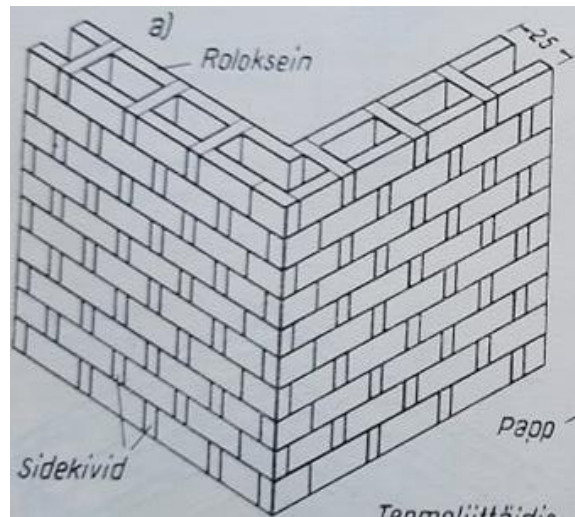
Esimese korruse plaan:



Hoone andmed ja tehtud mõõtmised:

- Ehitusaasta – 1961
- Kõetav pindala – 160,8 m²
- 2 korrust + kütmata kelder
- Hoones on paigaldatud põrandaküte köögis, katuslaes vahetatud vana soojustus
- Ahiküte, põrandaküte, soojuspump
- Loomulik ventilatsioon avatäidete projekteeritud ebatiheduste kaudu
- Õhulekearv $q_{E50} = 11,51 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$
- Termograafia mõõtmisel avastati olulisemad külmasillad vahelae ja välisseina liitekohas ning välisseinte liitekohas. Akende kohal tuvastati kriitilised õhulekked.

Välisseina konstruktsioon – Rolok sein, seestpoolt on soojustatud TEP plaadiga:

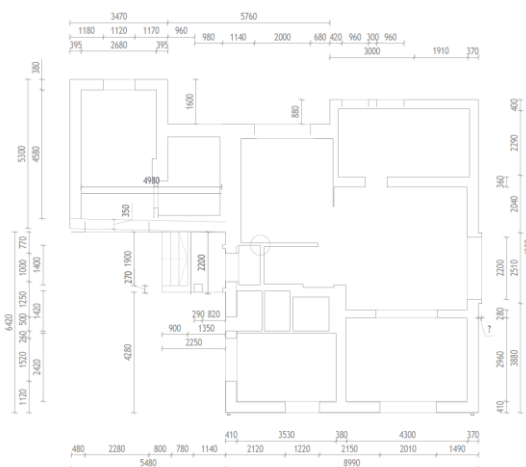


L2.4. Matka tee 6, Tallinn

Hoone üldpilt:



Esimese korruse plaan:

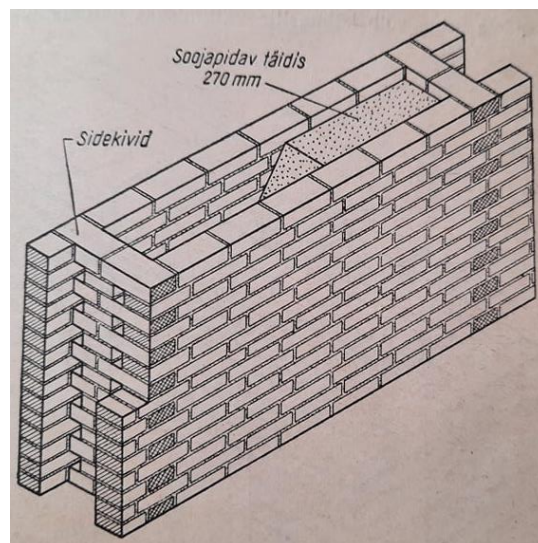
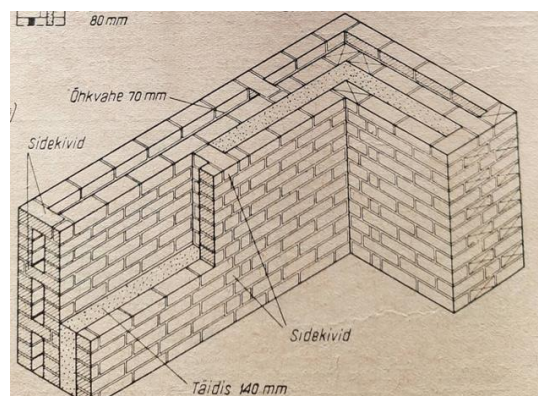


Hoone andmed ja tehtud mõõtmised:

- Ehitusaasta – 1957
- Kõetav pindala – 80,6 m²
- Ühekorruseline eramu + kütmata kelder, pööning ja garaaž
- Elupinna ja garaaži vahel on Gerardi sein, mujal Nopsasein.
- Hoones on vana ahi välja vahetatud soojussalvestiga ahju vastu ja sai soojustatud hoone sokkel
- Ahiküte, õhksoojuspump, elektriküte
- Loomulik ventilatsioon ventilatsioonišahtide kaudu ja tuulutus akende avamisega
- Õhulekearv $q_{E50} = 11,15$ m³/(h*m²).
- Termograafia mõõtmisel avastati olulisemad külmasillad vahelae ja välisseina liitekohas ning välisseinte liitekohas. Suured õhulekked tuvastati läbi kiviseintes esinevaid pragusid ja akende kohal.

Välisseina konstruktsioon – Gerardi sein ja lapikividest laotud

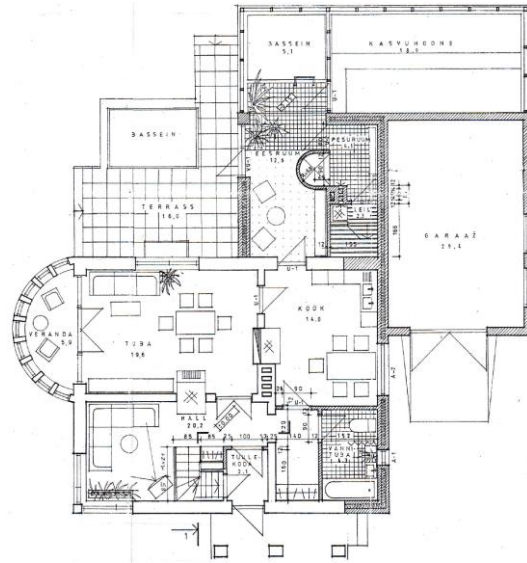
Nopsasein:



L2.5. Rohula 47, Tallinn

Hoone üldpilt:

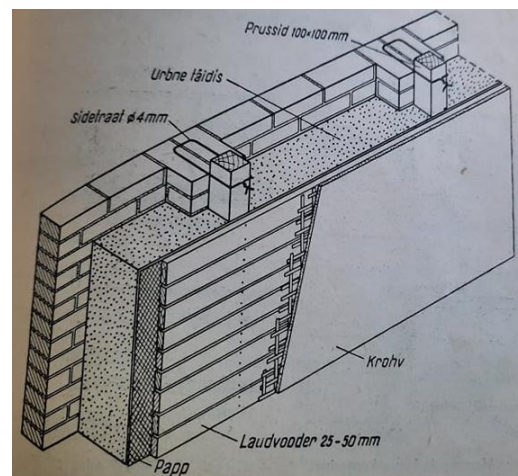
Esimese korruse plaan:



Hoone andmed ja tehtud mõõtmised:

- Ehitusaasta – 1963
- Kõnetav pindala – 145,7 m²
- 2 korrust + kütmata kelder, pööning ja garaaž
- Aastal 1996 laiendati eramu ja ühendati garaažiga
- Hoone on varasemalt renoveeritud. Tööde käigus süstiti välisseinad PUR vahuga, paigaldatud uued akna ja ukсед, katuslae soojustus on väljavahetatud, sokliseinad soojustatud
- Gaasiküte (radiaatorid)
- Loomulik ventilatsioon ventilatsioonišahtide kaudu ja mehaaniline ventilatsioon
- Õhulekearv $q_{E50} = 11,99$ m³/(h*m²).
- Termograafiat tegi omanik ise aastal 2015, aga selle järgi pole võimalik teha järeldusi hetkeolukorrast.

Välisseina konstruktsioon – Harju sein:

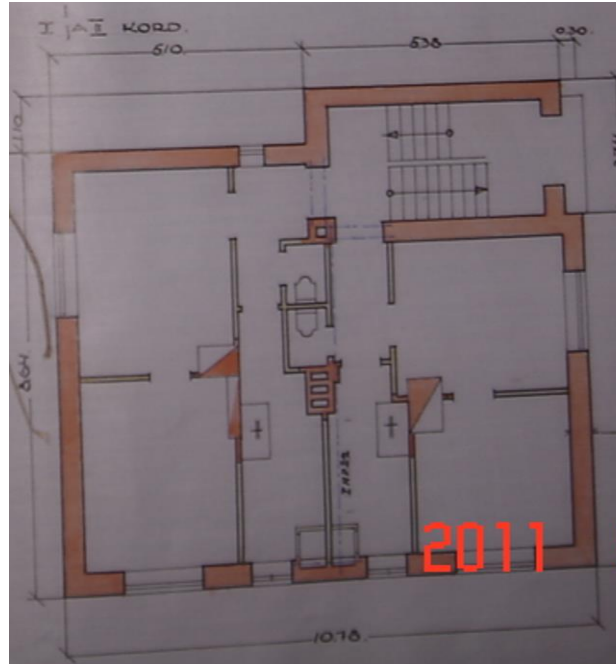


L2.6. Villardi 30, Tallinn

Hoone üldpilt:



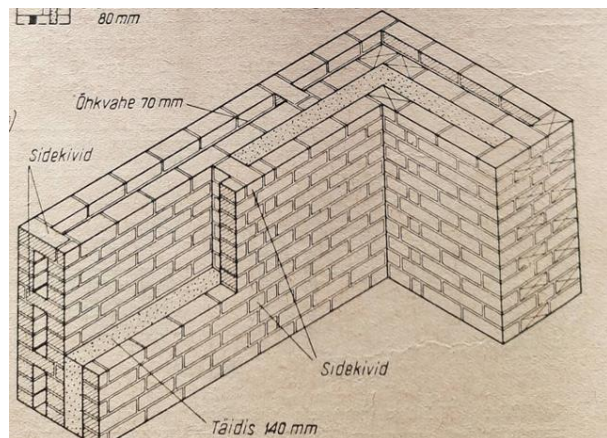
Esimese korruse plaan:



Hoone andmed ja tehtud mõõtmised:

- Ehitusaasta – 1940
- Kõetav pindala – 128 m²
- Kahekorruseline kortermaja + kütmata kelder, pööning ja trepikoda
- Ühes korteris (ainukene uuritud korter) on vahetatud aknad
- Ahiküte, põrandaküte (uuritud ainult 1 korter)
- Loomulik ventilatsioon ventilatsioonišahtide kaudu ja tuulutus akende avamisega
- Õhulekearv $q_{E50} = 4,79$ m³/(h*m²).
- Termograafia mõõtmisel avastati olulisemad külmasillad vahelae ja välisseina liitekohas ning välisseinte liitekohas.

Välisseina konstruktsioon – lapikividest laotud Nopsasein:

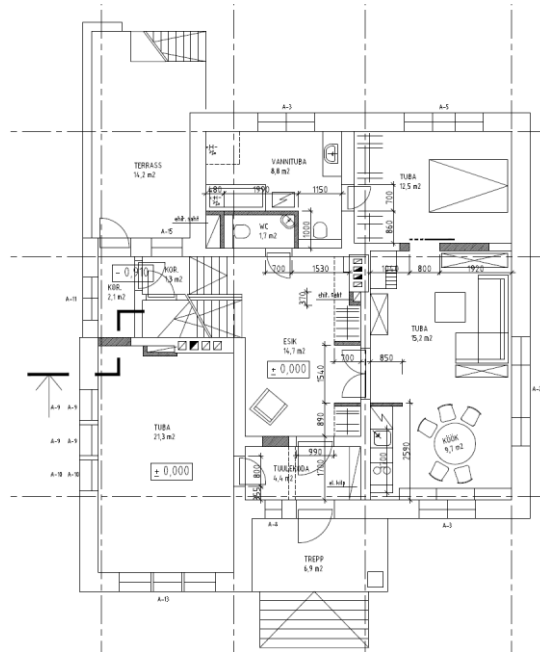


L2.7. Ümera 8, Tartu

Hoone üldpilt:



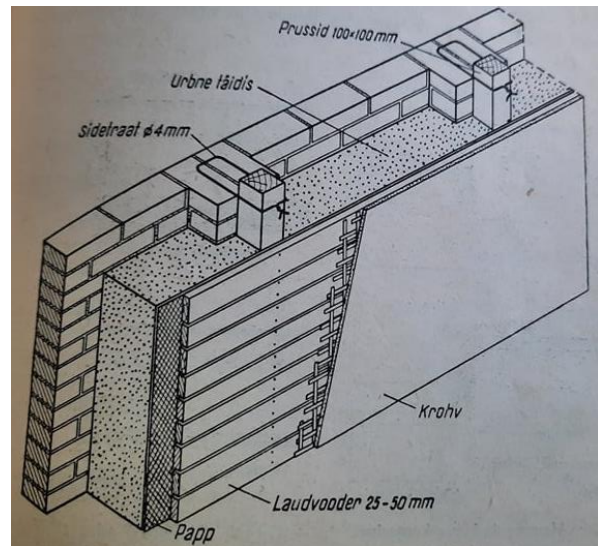
Esimese korruse plaan:



Hoone andmed ja tehtud mõõtmised:

- Ehitusaasta – 1980
- Kõetav pindala – 204,3 m²
- 2 korrust + kütmata kelder, pööning ja garaaž
- Uuringute teostamise ajal kütteallikas oli gaas. Praegu kasutusele võetud pelletikatel
- Loomulik ventilatsioon ventilatsioonišahtide kaudu ja tuulutus akende avamisega
- Õhulekearv $q_{E50} = \dots$ m³/(h*m²).
- Termograafia mõõtmisel avastati olulisemad külmasillad vahelae ja välisseina liitekohas ning välisseinte liitekohas

Välisseina konstruktsioon – Harju sein, mille peale on juurde ehitatud täiendav silikaattellisest väliskiht:



L2.8. Järve 8, Tõrva

Hoone üldpilt:



Esimese korruse plaan:

Hoone andmed ja tehtud mõõtmised:

- Ehitusaasta – 1980
- Kõetav pindala – 252,72 m²
- 2 korrust
- Hoone ei olnud kõetud mitme aasta jooksul, hetkel käivad hoones lammutustööd
- Ahiküte
- Loomulik ventilatsioon ventilatsioonišahtide kaudu
- Õhulekearv $q_{E50} = 11,51 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$
- Termograafiat pole võimalik teostada, kuna hoone ei olnud mitme aasta jooksul kasutusel

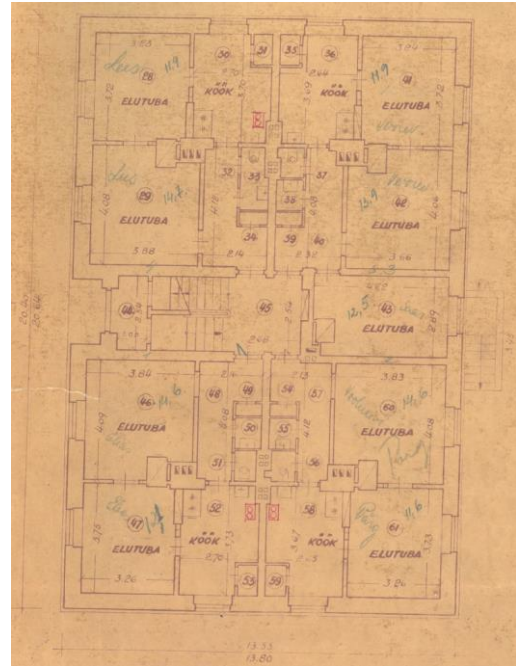
Välisseina konstruktsioon – väikeplokkidest kandev sein:

L2.9. Tartu 34a, Võru

Hoone üldpilt:



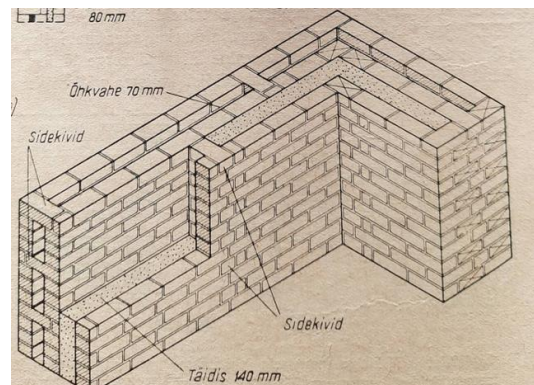
Esimese korruse plaan:



Hoone andmed ja tehtud mõõtmised:

- Ehitusaasta – 1953
- Kõetav pindala – 102,2 m²
- Kahekorruseline kortermaja + kütmata kelder, pööning ja trepikoda
- Ahiküte, pörandaküte, soojuspump
- Loomulik ventilatsioon ventilatsioonišahtide kaudu ja tuulutus akende avamisega
- Õhulekearv $q_{E50} = 6,62 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$.
- Termograafia mõõtmisel avastati olulisemad külmasillad vahelae ja välisseina liitekohas ning välisseinte liitekohas

Välisseina konstruktsioon – lapikividest laotud Nopsasein:



Lisa 3 ETA tabelite alusel saadud küttevajaduste võrdlus mõõdetud küttekuluga

L3.1. Lodjapuu 9a, Tallinn

| Kütteperioodi vabasoojused | W/m ² | Kasutus-aste k % | Kasutusaeg | | Q kWh/m ² | Hoone köetav pindala, A m ² | Q*A kWh | Q*A MJ |
|----------------------------|------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------------|--|------------|-----------|
| | | | päeva nädalas d | tundi päevas h | | | | |
| | | | 7 | 24 | | | | |
| Inimesed, P | 1,4 | 60 | 7 | 24 | 7,4 | 237,7 | 1 749 | 6 297 |
| Seadmed, P | 2 | | | | 10,5 | | 2 499 | 8 995 |
| Valgustus, P | 6 | | | | 5,3 | | 1 249 | 4 498 |
| Kokku: | | | | | 23,1 | | 5 497 | 19 790 |

| Kütteallikas | Kütteväärtus, [kWh/m ³] | Kütteväärtus, [MJ/m ³] | Gaasikulu, [m ³] | Kogu kütteväärtus, [MJ] | Gaasi kasutegur, k | Tegelik kütteväärtus, [MJ] | Vabasoojused, [MJ] | Mõõdetud küttevajadus, [MJ] | Mõõdetud küttevajadus, [MWh] |
|--------------|--|---------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Gaas | 9,3 | 33,48 | 3500 | 117180 | 0,95 | 111321 | 19 790 | 131 111 | 36,42 |

| Välispiirde summaarne soojuserikadu H, [W/K]=[J/(s*K)] | Arvutuslik sisemine temperatuur | Kraadpäevad | Kraadsekundid | Arvutatud küttevajadus, [MJ] | Arvutatud küttevajadus, [MWh] |
|--|------------------------------------|-------------|---------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 300,6 | 21 | 5258 | 454291200 | 136559,9 | 37,93 |

L3.2. Edu 24, Tallinn

| Kütteperioodi vabasoojused | W/m ² | Kasutus-aste k | Kasutusaeg | | Q | Hoone köetav pindala, A | Q*A | Q*A |
|----------------------------|------------------|----------------|---------------|--------------|--------------------|-------------------------|------|-------|
| | | | päeva nädalas | tundi päevas | | | | |
| | | % | d | h | kWh/m ² | m ² | kWh | MJ |
| Inimesed, P | 2 | 60 | 7 | 24 | 10,5 | 189,8 | 1995 | 7183 |
| Seadmed, P | 2 | | | | 12,6 | | 2394 | 8619 |
| Valgustus, P | 2,4 | 10 | 5,3 | 998 | 3591 | | | |
| Kokku: | | | | | 28,4 | | 5387 | 19393 |

| Kütteallikas | Kütteväärtus, [kWh/kg] | Kütteväärtus, [MJ/kg] | Pelletite kulu, [kg] | Kogu kütteväärtus, [MJ] | Ahju kasutegur, k | Tegelik kütteväärtus, [MJ] | Õhksoojuspumba osakaal 5% | Vabasoojused, [MJ] | Möödetud küttevajadus, [MJ] | Möödetud küttevajadus, [MWh] |
|--------------|------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Pellet | 4,8 | 17,28 | 5000 | 86400 | 0,85 | 73440 | 3672 | 19393 | 96505 | 26,81 |

| Välispiirde summaarne soojuserikadu H, [W/K]=[J/(s*K)] | Arvutuslik sisemine temperatuur | Kraadpäevad | Kraadsekundid | Arvutatud küttevajadus, [MJ] | Arvutatud küttevajadus, [MWh] |
|--|---------------------------------|-------------|---------------|------------------------------|-------------------------------|
| 352,7 | 15 | 3366 | 290822400 | 102573 | 28,49 |

L3.3. Matka tee 6, Tallinn

| Kütteperioodi vabasoojused | W/m ² | Kasutus-aste k | Kasutusaeg | | Q | Hoone köetav pindala, A | Q*A | Q*A |
|----------------------------|------------------|----------------|---------------|--------------|--------------------|-------------------------|------|-------|
| | | | päeva nädalas | tundi päevas | | | | |
| | | % | d | h | kWh/m ² | m ² | kWh | MJ |
| Inimesed, P | 3 | 60 | 7 | 24 | 15,8 | 80,6 | 1271 | 4575 |
| Seadmed, P | 3 | | | | 15,8 | | 1271 | 4575 |
| Valgustus, P | 6 | 10 | | | 5,3 | | 424 | 1525 |
| Kokku: | | | | | 36,8 | | 2965 | 10676 |

| Kütteallikas | Kütteväärtus, [kWh/rm] | Kütteväärtus, [MJ/rm] | Puidukulu, [rm] | Kogu kütteväärtus, [MJ] | Ahju kasutegur, k | Tegelik kütteväärtus, [MJ] | Õhksoojuspumba osakaal 5% | Vabasoojused, [MJ] | Möödetud küttevajadus, [MJ] | Möödetud küttevajadus, [MWh] |
|--------------|------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Puit | 1500 | 5400 | 12 | 64800 | 0,6 | 38880 | 7776 | 10676 | 57332 | 15,93 |

| Välispiirde summaarne soojuserikadu H, [W/K]=[J/(s*K)] | Arvutuslik sisemine temperatuur | Kraadpäevad | Kraadsekundid | Arvutatud küttevajadus, [MJ] | Arvutatud küttevajadus, [MWh] |
|--|---------------------------------|-------------|---------------|------------------------------|-------------------------------|
| 174,2 | 17 | 3953 | 341539200 | 59496 | 16,53 |

L3.4. Rohula 47, Tallinn

| Kütteperioodi vabasoojused | W/m ² | Kasutus-aste k | Kasutusaeg | | Q | Hoone köetav pindala, A | Q*A | Q*A |
|----------------------------|------------------|----------------|---------------|--------------|--------------------|-------------------------|------|-------|
| | | | päeva nädalas | tundi päevas | | | | |
| | | % | d | h | kWh/m ² | m ² | kWh | MJ |
| Inimesed, P | 2 | 60 | 7 | 24 | 10,5 | 145,7 | 1532 | 5514 |
| Seadmed, P | 2 | | | | 10,5 | | 1532 | 5514 |
| Valgustus, P | 6 | 10 | | | 5,3 | | 766 | 2757 |
| Kokku: | | | | | 26,3 | | 3829 | 13784 |

| Kütteallikas | Kütteväärtus, [kWh/m ³] | Kütteväärtus, [MJ/m ³] | Gaasikulu, [m ³] | Kogu kütteväärtus, [MJ] | Gaasi kasutegur, k | Tegelik kütteväärtus, [MJ] | Õhksoojuspumba osakaal 5% | Vabasoojused, [MJ] | Möödetud küttevajadus, [MJ] | Möödetud küttevajadus, [MWh] |
|--------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Gaas | 9,3 | 33,48 | 2820 | 94414 | 0,95 | 89693 | 4485 | 13784 | 107962 | 29,99 |

| Välispiirde summaarne soojuserikadu H, [W/K]=[J/(s*K)] | Arvutuslik sisemine temperatuur | Kraadpäevad | Kraadsekundid | Arvutatud küttevajadus, [MJ] | Arvutatud küttevajadus, [MWh] |
|--|---------------------------------|-------------|---------------|------------------------------|-------------------------------|
| 150,6 | 21 | 5258 | 454291200 | 68416 | 19,00 |

L3.5. Villardi 30, Tallinn

| Kütteperioodi vabasoojused | W/m ² | Kasutus-aste k % | Kasutusaeg | | Q kWh/m ² | Hoone köetav pindala, A m ² | Q*A kWh | Q*A MJ |
|----------------------------|------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------------|--|------------|-----------|
| | | | päeva nädalas d | tundi päevas h | | | | |
| | | | | | | | | |
| Inimesed, P | 3 | 60 | 7 | 24 | 15,8 | 131,7 | 2077 | 7476 |
| Seadmed, P | 3 | | | | 15,8 | | 2077 | 7476 |
| Valgustus, P | 8 | 10 | | | 7,0 | | 923 | 3323 |
| Kokku: | | | | | 38,5 | | 5076 | 18274 |

| Kütte- allikas | Kütte- väärtus, [kWh/rm] | Kütte- väärtus, [MJ/rm] | Puidukulu, [rm] | Kogu kütteväärtus, [MJ] | Ahju kasutegur, k | Tegelik kütteväärtus, [MJ] | Elektriliste radiaatorite osakaal 10% | Vabasoojused, [MJ] | Möödetud küttevajadus, [MJ] | Möödetud küttevajadus, [MWh] |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------|----------------------------------|--|-----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Puit | 1500 | 5400 | 28 | 151200 | 0,6 | 90720 | 9072 | 18274 | 118066 | 32,80 |

| Välispiirde summaarne soojuserikadu H, [W/K]=[J/(s*K)] | Arvutuslik sisemine temperatuur | Kraadpäevad | Kraadsekundid | Arvutatud küttevajadus, [MJ] | Arvutatud küttevajadus, [MWh] |
|--|------------------------------------|-------------|---------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 296,70 | 20 | 4921 | 425174400 | 126149 | 35,04 |

L3.6. Ümera 8, Tartu

| Kütteperioodi vabasoojused | W/m ² | Kasutus-aste k | Kasutusaeg | | Q | Hoone köetav pindala, A | Q*A | Q*A |
|----------------------------|------------------|----------------|---------------|--------------|--------------------|-------------------------|------|-------|
| | | | päeva nädalas | tundi päevas | | | | |
| | | % | d | h | kWh/m ² | m ² | kWh | MJ |
| Inimesed, P | 2 | 60 | 7 | 24 | 10,5 | 204,3 | 2148 | 7731 |
| Seadmed, P | 2 | | | | 10,5 | | 2148 | 7731 |
| Valgustus, P | 6 | 10 | | | 5,3 | | 1074 | 3866 |
| Kokku: | | | | | 26,3 | | 5369 | 19328 |

| Kütteallikas | Kütteväärtus, [kWh/m ³] | Kütteväärtus, [MJ/m ³] | Gaasikulu, [m ³] | Kogu kütteväärtus, [MJ] | Gaasi kasutegur, k | Tegelik kütteväärtus, [MJ] | Õhksoojuspumba osakaal | Vabasoojused, [MJ] | Möödetud küttevajadus, [MJ] | Möödetud küttevajadus, [MWh] |
|--------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Gaas | 9,3 | 33,48 | 3618 | 121130,6 | 0,95 | 115074,1 | 0 | 19 328 | 134 403 | 37,33 |

| Välispiirde summaarne soojuserikadu H, [W/K]=[J/(s*K)] | Arvutuslik sisemine temperatuur | Kraadpäevad | Kraadsekundid | Arvutatud küttevajadus, [MJ] | Arvutatud küttevajadus, [MWh] |
|--|---------------------------------|-------------|---------------|------------------------------|-------------------------------|
| 261,8 | 21 | 5405 | 466992000 | 122258,5 | 33,96 |

L3.7. Tartu 34a, Võru

| Kütteperioodi vabasoojused | W/m ² | Kasutus-aste k % | Kasutusaeg | | Q kWh/m ² | Hoone köetav pindala, A m ² | Q*A kWh | Q*A MJ |
|----------------------------|------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------------|--|------------|-----------|
| | | | päeva nädalas d | tundi päevas h | | | | |
| | | | | | | | | |
| Inimesed, P | 3 | 60 | 7 | 24 | 15,8 | 419,3 | 6612 | 23803 |
| Seadmed, P | 3 | | | | 15,8 | | 6612 | 23803 |
| Valgustus, P | 8 | 10 | | | 7,0 | | | 2938 |
| Kokku: | | | | | 38,5 | | 16161 | 58180 |

| Kütte- allikas | Kütte- väärtus, [kWh/m ³] | Kütte- väärtus, [MJ/m ³] | Puidukulu, [m ³] | Kogu kütteväärtus, [MJ] | Gaasi kasutegur, k | Tegelik kütteväärtus, [MJ] | Õhksoojus- pumba osakaal 10% | Vabasoojused, [MJ] | Möödetud küttevajadus, [MJ] | Möödetud küttevajadus, [MWh] |
|-------------------|---|--|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Puit | 1500 | 5400 | 47 | 253800 | 0,6 | 152280 | 15228 | 58180 | 225688 | 62,69 |

| Välispiirde summaarne soojuserikadu H, [W/K]=[J/(s*K)] | Arvutuslik sisemine temperatuur | Kraadpäevad | Kraadsekundid | Arvutatud küttevajadus, [MJ] | Arvutatud küttevajadus, [MWh] |
|--|------------------------------------|-------------|---------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 497,50 | 21 | 5376 | 464486400 | 231082 | 64,19 |

Lisa 4 Uuritavate hoonete kombinatsioonitabelid

L4.1. Lodjapuu 9a, Tallinn

L4.1.1. Renoveerimata hoone piirväärtused

| Piirväärtused, C klass | | | |
|---------------------------|--------------------|-----------|----------|
| Soojusallikas | Ventilatsioonitüüp | H/Aköetav | PV, [KW] |
| Maasoojuspump | Loomulik | 0.94 | - |
| Maasoojuspump | Soojustagastusega | 1.55 | - |
| Õhk-vesi soojuspump | Loomulik | 0.42 | - |
| Õhk-vesi soojuspump | Soojustagastusega | 0.78 | - |
| Kaugküte | Loomulik | 0.35 | - |
| Kaugküte | Soojustagastusega | 0.64 | - |
| Tõhus kaugküte | Loomulik | 0.64 | - |
| Tõhus kaugküte | Soojustagastusega | 1.07 | - |
| Ahiküte | Loomulik | 0.35 | - |
| Ahiküte | Soojustagastusega | 0.48 | - |
| Puidukatel | Loomulik | 0.44 | - |
| Puidukatel | Soojustagastusega | 0.78 | - |
| Pelletikatel | Loomulik | 0.56 | - |
| Pelletikatel | Soojustagastusega | 0.97 | - |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Loomulik | 0.32 | - |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Soojustagastusega | 0.6 | - |
| Piirväärtused, B klass | | | |
| Soojusallikas | Ventilatsioonitüüp | H/Aköetav | PV, [KW] |
| Maasoojuspump | Loomulik | 0.55 | - |
| Maasoojuspump | Soojustagastusega | 0.9 | - |
| Õhk-vesi soojuspump | Loomulik | 0.29 | - |
| Õhk-vesi soojuspump | Soojustagastusega | 0.53 | - |
| Kaugküte | Loomulik | 0.25 | - |
| Kaugküte | Soojustagastusega | 0.46 | - |
| Tõhus kaugküte | Loomulik | 0.41 | - |
| Tõhus kaugküte | Soojustagastusega | 0.68 | - |
| Ahiküte | Loomulik | 0.26 | - |
| Ahiküte | Soojustagastusega | 0.35 | - |
| Puidukatel | Loomulik | 0.31 | - |
| Puidukatel | Soojustagastusega | 0.54 | - |
| Pelletikatel | Loomulik | 0.37 | - |
| Pelletikatel | Soojustagastusega | 0.63 | - |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Loomulik | 0.24 | - |

| | | | |
|---------------------------|--------------------|-----------|----------|
| Gaas-kondensatsioonikatel | Soojustagastusega | 0.44 | - |
| Piirväärtused, A klass | | | |
| Soojusallikas | Ventilatsioonitüüp | H/Akõetav | PV, [KW] |
| Maasoojuspump | Loomulik | 0.55 | 6 |
| Maasoojuspump | Soojustagastusega | 0.9 | 6 |
| Õhk-vesi soojuspump | Loomulik | 0.29 | 6 |
| Õhk-vesi soojuspump | Soojustagastusega | 0.53 | 6 |
| Kaugküte | Loomulik | 0.25 | 6 |
| Kaugküte | Soojustagastusega | 0.46 | 6 |
| Tõhus kaugküte | Loomulik | 0.41 | 6 |
| Tõhus kaugküte | Soojustagastusega | 0.68 | 6 |
| Ahiküte | Loomulik | 0.26 | 6 |
| Ahiküte | Soojustagastusega | 0.35 | 6 |
| Puidukatel | Loomulik | 0.31 | 6 |
| Puidukatel | Soojustagastusega | 0.54 | 6 |
| Pelletikatel | Loomulik | 0.37 | 6 |
| Pelletikatel | Soojustagastusega | 0.63 | 6 |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Loomulik | 0.24 | 6 |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Soojustagastusega | 0.44 | 6 |

L4.1.2. Renoveerimata hoone C – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid

| I. korruse välisseina lisasoojustuse paksus | II. korruse välisseina lisasoojustuse paksus | Katuse lisasoojustuse paksus | Keldrilae lisasoojustuse paksus | Akna soojusläbivus | Õhulekkearv | H/A _{kõetav} W/(m ² *K) |
|---|--|------------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------|---|
| Maasoojuspump ja loomulik ventilatsioon | | | | | | |
| 0 | 100 | 200 | 100 | 1.1 | 3.5 | 0.94 |
| 0 | 100 | 300 | 0 | 0.9 | 3.82 | 0.94 |
| 0 | 150 | 150 | 100 | 1.1 | 3.5 | 0.94 |
| 0 | 250 | 50 | 50 | 0.9 | 3.5 | 0.94 |
| 0 | 300 | 200 | 50 | 1.1 | 3.82 | 0.94 |
| 50 | 200 | 100 | 0 | 0.9 | 3.82 | 0.94 |
| 50 | 250 | 0 | 100 | 0.9 | 3.5 | 0.94 |
| 50 | 250 | 100 | 50 | 1.1 | 3.5 | 0.94 |
| 100 | 0 | 100 | 100 | 0.9 | 3.5 | 0.94 |
| 100 | 50 | 150 | 0 | 0.9 | 3.5 | 0.94 |
| 100 | 150 | 300 | 0 | 1.1 | 3.82 | 0.94 |
| 100 | 200 | 100 | 50 | 1.1 | 3.82 | 0.94 |

| | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 200 | 150 | 200 | 0 | 1.1 | 3.82 | 0.94 |
| 200 | 250 | 0 | 50 | 0.9 | 3.82 | 0.94 |
| 250 | 150 | 50 | 0 | 0.9 | 3.82 | 0.94 |
| 250 | 200 | 150 | 0 | 1.1 | 3.82 | 0.94 |
| 300 | 50 | 300 | 0 | 1.1 | 3.5 | 0.94 |
| 300 | 100 | 50 | 0 | 0.9 | 3.5 | 0.94 |
| Maasoojuspump ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | | |
| 0 | 0 | 50 | 100 | 2.3 | 3.82 | 1.55 |
| 0 | 0 | 100 | 50 | 2.3 | 3.82 | 1.54 |
| 0 | 0 | 200 | 0 | 2.3 | 3.5 | 1.54 |
| 0 | 50 | 0 | 100 | 2.3 | 3.5 | 1.54 |
| 0 | 100 | 0 | 50 | 2.3 | 3.5 | 1.54 |
| 0 | 100 | 50 | 0 | 2.3 | 3.82 | 1.54 |
| 50 | 0 | 50 | 50 | 2.3 | 3.82 | 1.54 |
| 50 | 0 | 100 | 0 | 2.3 | 3.5 | 1.55 |
| 50 | 50 | 0 | 50 | 2.3 | 3.82 | 1.55 |
| 50 | 150 | 0 | 0 | 2.3 | 3.5 | 1.55 |
| 50 | 200 | 0 | 0 | 2.3 | 3.82 | 1.55 |
| 100 | 0 | 0 | 100 | 2.3 | 3.5 | 1.55 |
| 100 | 100 | 0 | 0 | 2.3 | 3.5 | 1.54 |
| 150 | 0 | 0 | 100 | 2.3 | 3.82 | 1.54 |
| 150 | 100 | 0 | 0 | 2.3 | 3.82 | 1.54 |
| 200 | 0 | 50 | 0 | 2.3 | 3.5 | 1.54 |
| 200 | 50 | 0 | 0 | 2.3 | 3.5 | 1.55 |
| 250 | 0 | 0 | 50 | 2.3 | 3.5 | 1.55 |
| 250 | 0 | 50 | 0 | 2.3 | 3.82 | 1.55 |
| 250 | 50 | 0 | 0 | 2.3 | 3.5 | 1.54 |
| 300 | 0 | 0 | 50 | 2.3 | 3.5 | 1.54 |
| 300 | 0 | 50 | 0 | 2.3 | 3.82 | 1.54 |
| 300 | 50 | 0 | 0 | 2.3 | 3.82 | 1.55 |
| Õhk-vesi soojuspump ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | | |
| 50 | 300 | 250 | 100 | 0.9 | 3.5 | 0.78 |
| 100 | 250 | 200 | 100 | 0.9 | 3.5 | 0.78 |
| 100 | 250 | 250 | 100 | 0.9 | 3.82 | 0.78 |
| 100 | 300 | 300 | 50 | 0.9 | 3.5 | 0.78 |
| 150 | 100 | 300 | 100 | 0.9 | 3.5 | 0.78 |
| 150 | 200 | 300 | 50 | 0.9 | 3.5 | 0.78 |
| 150 | 250 | 200 | 100 | 0.9 | 3.82 | 0.78 |
| 150 | 300 | 150 | 100 | 0.9 | 3.5 | 0.78 |
| 150 | 300 | 250 | 50 | 0.9 | 3.5 | 0.78 |
| 150 | 300 | 300 | 50 | 0.9 | 3.82 | 0.78 |

| | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 200 | 100 | 250 | 100 | 0.9 | 3.5 | 0.78 |
| 200 | 200 | 150 | 100 | 0.9 | 3.5 | 0.78 |
| 200 | 300 | 150 | 100 | 0.9 | 3.82 | 0.78 |
| 200 | 300 | 200 | 50 | 0.9 | 3.5 | 0.78 |
| 200 | 300 | 250 | 50 | 0.9 | 3.82 | 0.78 |
| 250 | 150 | 200 | 100 | 0.9 | 3.82 | 0.78 |
| 250 | 150 | 300 | 50 | 0.9 | 3.5 | 0.78 |
| 250 | 200 | 300 | 50 | 0.9 | 3.82 | 0.78 |
| 250 | 250 | 150 | 100 | 0.9 | 3.82 | 0.78 |
| 250 | 250 | 200 | 50 | 0.9 | 3.5 | 0.78 |
| 250 | 250 | 250 | 50 | 0.9 | 3.82 | 0.78 |
| 300 | 100 | 200 | 100 | 0.9 | 3.5 | 0.78 |
| 300 | 100 | 250 | 100 | 0.9 | 3.82 | 0.78 |
| 300 | 150 | 150 | 100 | 0.9 | 3.5 | 0.78 |
| 300 | 200 | 150 | 100 | 0.9 | 3.82 | 0.78 |
| 300 | 300 | 100 | 100 | 0.9 | 3.5 | 0.78 |
| 300 | 300 | 200 | 50 | 0.9 | 3.82 | 0.78 |
| Tõhus kaugküte ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | | |
| 0 | 0 | 100 | 100 | 1.1 | 3.5 | 1.07 |
| 0 | 0 | 200 | 50 | 1.1 | 3.82 | 1.07 |
| 0 | 50 | 0 | 50 | 0.9 | 3.5 | 1.07 |
| 0 | 50 | 50 | 0 | 0.9 | 3.82 | 1.07 |
| 0 | 50 | 150 | 0 | 1.1 | 3.5 | 1.07 |
| 0 | 150 | 0 | 100 | 1.1 | 3.5 | 1.07 |
| 0 | 200 | 0 | 100 | 1.1 | 3.82 | 1.07 |
| 0 | 250 | 0 | 0 | 0.9 | 3.82 | 1.07 |
| 0 | 300 | 50 | 0 | 1.1 | 3.82 | 1.07 |
| 50 | 0 | 50 | 100 | 1.1 | 3.5 | 1.07 |
| 50 | 50 | 100 | 0 | 1.1 | 3.82 | 1.07 |
| 50 | 100 | 0 | 0 | 0.9 | 3.82 | 1.07 |
| 100 | 0 | 150 | 0 | 1.1 | 3.5 | 1.07 |
| 100 | 50 | 0 | 0 | 0.9 | 3.5 | 1.07 |
| 100 | 50 | 0 | 100 | 1.1 | 3.82 | 1.07 |
| 100 | 100 | 0 | 50 | 1.1 | 3.82 | 1.07 |
| 100 | 300 | 0 | 0 | 1.1 | 3.5 | 1.07 |
| 150 | 0 | 50 | 50 | 1.1 | 3.5 | 1.07 |
| 150 | 0 | 150 | 0 | 1.1 | 3.82 | 1.07 |
| 150 | 200 | 0 | 0 | 1.1 | 3.5 | 1.07 |
| 150 | 300 | 0 | 0 | 1.1 | 3.82 | 1.07 |
| 200 | 0 | 50 | 50 | 1.1 | 3.82 | 1.07 |
| 250 | 0 | 100 | 0 | 1.1 | 3.5 | 1.07 |

| | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 250 | 50 | 0 | 50 | 1.1 | 3.82 | 1.07 |
| 250 | 200 | 0 | 0 | 1.1 | 3.82 | 1.07 |
| Puidukatel ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | | |
| 0 | 100 | 200 | 50 | 1.1 | 3.5 | 0.97 |
| 0 | 150 | 150 | 50 | 1.1 | 3.5 | 0.97 |
| 0 | 300 | 300 | 0 | 1.1 | 3.82 | 0.97 |
| 50 | 150 | 0 | 100 | 0.9 | 3.82 | 0.97 |
| 50 | 150 | 200 | 0 | 1.1 | 3.5 | 0.97 |
| 50 | 250 | 0 | 50 | 0.9 | 3.5 | 0.97 |
| 100 | 0 | 100 | 50 | 0.9 | 3.5 | 0.97 |
| 100 | 0 | 250 | 100 | 1.1 | 3.82 | 0.97 |
| 150 | 0 | 200 | 100 | 1.1 | 3.82 | 0.97 |
| 150 | 50 | 250 | 0 | 1.1 | 3.5 | 0.97 |
| 200 | 150 | 100 | 0 | 1.1 | 3.5 | 0.97 |
| 200 | 200 | 100 | 0 | 1.1 | 3.82 | 0.97 |
| 200 | 250 | 0 | 100 | 1.1 | 3.5 | 0.97 |
| 250 | 0 | 150 | 0 | 0.9 | 3.5 | 0.97 |
| 250 | 300 | 0 | 100 | 1.1 | 3.82 | 0.97 |
| 300 | 50 | 50 | 100 | 1.1 | 3.82 | 0.97 |
| 300 | 150 | 100 | 0 | 1.1 | 3.82 | 0.97 |
| 300 | 250 | 0 | 100 | 1.1 | 3.82 | 0.97 |
| Pelletikatel ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | | |
| 0 | 100 | 200 | 50 | 1.1 | 3.5 | 0.97 |
| 0 | 150 | 150 | 50 | 1.1 | 3.5 | 0.97 |
| 0 | 300 | 300 | 0 | 1.1 | 3.82 | 0.97 |
| 50 | 150 | 0 | 100 | 0.9 | 3.82 | 0.97 |
| 50 | 150 | 200 | 0 | 1.1 | 3.5 | 0.97 |
| 50 | 250 | 0 | 50 | 0.9 | 3.5 | 0.97 |
| 100 | 0 | 100 | 50 | 0.9 | 3.5 | 0.97 |
| 100 | 0 | 250 | 100 | 1.1 | 3.82 | 0.97 |
| 150 | 0 | 200 | 100 | 1.1 | 3.82 | 0.97 |
| 150 | 50 | 250 | 0 | 1.1 | 3.5 | 0.97 |
| 200 | 50 | 50 | 100 | 1.1 | 3.5 | 0.97 |
| 200 | 150 | 100 | 0 | 1.1 | 3.5 | 0.97 |
| 200 | 200 | 100 | 0 | 1.1 | 3.82 | 0.97 |
| 200 | 250 | 0 | 100 | 1.1 | 3.5 | 0.97 |
| 250 | 0 | 150 | 0 | 0.9 | 3.5 | 0.97 |
| 250 | 300 | 0 | 100 | 1.1 | 3.82 | 0.97 |
| 300 | 50 | 50 | 100 | 1.1 | 3.82 | 0.97 |
| 300 | 150 | 100 | 0 | 1.1 | 3.82 | 0.97 |
| 300 | 250 | 0 | 100 | 1.1 | 3.82 | 0.97 |

L4.1.3. Renoveerimata hoone B – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid

| I. korruse välisseina lisasoojustuse paksus | II. korruse välisseina lisasoojustuse paksus | Katuse lisasoojustuse paksus | Keldriala lisasoojustuse paksus | Akna soojusläbivus | Õhulekkearv | H/A _{kõetav} (W/(m ² *K)) |
|--|--|------------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------|---|
| Maasoojuspump ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | | |
| 0 | 200 | 250 | 100 | 1.1 | 3.5 | 0.90 |
| 0 | 200 | 300 | 0 | 0.9 | 3.5 | 0.90 |
| 50 | 150 | 200 | 100 | 1.1 | 3.82 | 0.90 |
| 100 | 50 | 150 | 50 | 0.9 | 3.82 | 0.90 |
| 100 | 250 | 100 | 0 | 0.9 | 3.5 | 0.90 |
| 150 | 50 | 250 | 100 | 1.1 | 3.82 | 0.90 |
| 150 | 50 | 300 | 0 | 0.9 | 3.82 | 0.90 |
| 150 | 300 | 250 | 0 | 1.1 | 3.5 | 0.90 |
| 200 | 50 | 300 | 50 | 1.1 | 3.5 | 0.90 |
| 200 | 300 | 50 | 100 | 1.1 | 3.5 | 0.90 |
| 250 | 0 | 250 | 50 | 0.9 | 3.82 | 0.90 |
| 250 | 150 | 300 | 0 | 1.1 | 3.5 | 0.90 |
| 250 | 200 | 0 | 100 | 0.9 | 3.5 | 0.90 |
| 250 | 200 | 100 | 50 | 1.1 | 3.5 | 0.90 |
| 300 | 50 | 300 | 50 | 1.1 | 3.82 | 0.90 |
| 300 | 300 | 50 | 100 | 1.1 | 3.82 | 0.90 |

L4.2. Edu 24, Tallinn

L4.2.1. Renoveerimata hoone piirväärtused

| Piirväärtused, C klass | | | |
|------------------------|--------------------|-----------------------|----------|
| Soojusallikas | Ventilatsioonitüüp | H/A _{kõetav} | PV, [KW] |
| Maasoojuspump | Loomulik | 0.95 | - |
| Maasoojuspump | Soojustagastusega | 1.58 | - |
| Õhk-vesi soojuspump | Loomulik | 0.43 | - |
| Õhk-vesi soojuspump | Soojustagastusega | 0.73 | - |
| Kaugküte | Loomulik | 0.43 | - |
| Kaugküte | Soojustagastusega | 0.79 | - |
| Tõhus kaugküte | Loomulik | 0.85 | - |
| Tõhus kaugküte | Soojustagastusega | 1.44 | - |

| | | | |
|-------------------------------|--------------------|-----------|----------|
| Ahiküte | Loomulik | 0.4 | - |
| Ahiküte | Soojustagastusega | 0.54 | - |
| Puidukatel | Loomulik | 0.57 | - |
| Puidukatel | Soojustagastusega | 1 | - |
| Pelletikatel | Loomulik | 0.74 | - |
| Pelletikatel | Soojustagastusega | 1.28 | - |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Loomulik | 0.39 | - |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Soojustagastusega | 0.73 | - |
| Piirväärtused, B klass | | | |
| Soojusallikas | Ventilatsioonitüüp | H/Aköetav | PV, [KW] |
| Maasoojuspump | Loomulik | 0.59 | - |
| Maasoojuspump | Soojustagastusega | 0.98 | - |
| Õhk-vesi soojuspump | Loomulik | 0.29 | - |
| Õhk-vesi soojuspump | Soojustagastusega | 0.53 | - |
| Kaugküte | Loomulik | 0.31 | - |
| Kaugküte | Soojustagastusega | 0.57 | - |
| Tõhus kaugküte | Loomulik | 0.55 | - |
| Tõhus kaugküte | Soojustagastusega | 0.92 | - |
| Ahiküte | Loomulik | 0.29 | - |
| Ahiküte | Soojustagastusega | 0.4 | - |
| Puidukatel | Loomulik | 0.39 | - |
| Puidukatel | Soojustagastusega | 0.69 | - |
| Pelletikatel | Loomulik | 0.49 | - |
| Pelletikatel | Soojustagastusega | 0.84 | - |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Loomulik | 0.29 | - |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Soojustagastusega | 0.54 | - |
| Piirväärtused, A klass | | | |
| Soojusallikas | Ventilatsioonitüüp | H/Aköetav | PV, [KW] |
| Maasoojuspump | Loomulik | 0.59 | 4.5 |
| Maasoojuspump | Soojustagastusega | 0.98 | 4.5 |
| Õhk-vesi soojuspump | Loomulik | 0.29 | 4.5 |
| Õhk-vesi soojuspump | Soojustagastusega | 0.53 | 4.5 |
| Kaugküte | Loomulik | 0.31 | 4.5 |
| Kaugküte | Soojustagastusega | 0.57 | 4.5 |
| Tõhus kaugküte | Loomulik | 0.55 | 4.5 |
| Tõhus kaugküte | Soojustagastusega | 0.92 | 4.5 |
| Ahiküte | Loomulik | 0.29 | 4.5 |
| Ahiküte | Soojustagastusega | 0.4 | 4.5 |
| Puidukatel | Loomulik | 0.39 | 4.5 |
| Puidukatel | Soojustagastusega | 0.69 | 4.5 |
| Pelletikatel | Loomulik | 0.49 | 4.5 |

| | | | |
|---------------------------|-------------------|------|-----|
| Pelletikatel | Soojustagastusega | 0.84 | 4.5 |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Loomulik | 0.29 | 4.5 |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Soojustagastusega | 0.54 | 4.5 |

L4.2.2. Renoveerimata hoone C – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid

| Välisseina lisasoojustuse paksus | Katuse lisasoojustuse paksus | Põranda lisasoojustuse paksus | Keldrilae lisasoojustuse paksus | Akna soojusläbivus | Õhulekkearv | H/A _{kõetav} (W/(m ² *K)) |
|---|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------|---|
| Maasoojuspump ja loomulik ventilatsioon | | | | | | |
| 50 | 300 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.94 |
| 100 | 150 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.94 |
| 100 | 200 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.95 |
| 100 | 300 | 100 | 100 | 1.1 | 4 | 0.94 |
| 150 | 100 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.94 |
| 150 | 250 | 100 | 0 | 0.9 | 4 | 0.95 |
| 150 | 250 | 100 | 50 | 1.1 | 4 | 0.94 |
| 150 | 300 | 50 | 100 | 1.1 | 4 | 0.94 |
| 200 | 100 | 100 | 50 | 0.9 | 4 | 0.94 |
| 200 | 150 | 100 | 100 | 1.1 | 4 | 0.94 |
| 200 | 200 | 100 | 0 | 0.9 | 4 | 0.94 |
| 200 | 300 | 50 | 0 | 0.9 | 4 | 0.95 |
| 200 | 300 | 50 | 50 | 1.1 | 4 | 0.94 |
| 250 | 150 | 100 | 50 | 1.1 | 4 | 0.95 |
| 250 | 250 | 50 | 0 | 0.9 | 4 | 0.94 |
| 300 | 100 | 50 | 50 | 0.9 | 4 | 0.95 |
| 300 | 150 | 50 | 100 | 1.1 | 4 | 0.95 |
| 300 | 150 | 100 | 0 | 0.9 | 4 | 0.94 |
| 300 | 200 | 50 | 50 | 1.1 | 4 | 0.94 |
| 300 | 300 | 0 | 50 | 0.9 | 4 | 0.95 |
| 300 | 300 | 100 | 0 | 1.1 | 4 | 0.94 |
| Maasoojuspump ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | | |
| 0 | 50 | 50 | 100 | 0.9 | 11.51 | 1.58 |
| 50 | 0 | 100 | 50 | 0.9 | 11.51 | 1.58 |
| 100 | 50 | 0 | 0 | 0.9 | 11.51 | 1.58 |
| 100 | 100 | 0 | 100 | 1.7 | 4 | 1.58 |
| 200 | 50 | 0 | 0 | 1.1 | 11.51 | 1.58 |
| 200 | 50 | 50 | 0 | 1.7 | 4 | 1.58 |
| 200 | 250 | 100 | 100 | 1.7 | 11.51 | 1.58 |

| | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-------|------|
| 250 | 0 | 100 | 100 | 1.7 | 4 | 1.58 |
| 250 | 200 | 100 | 100 | 1.7 | 11.51 | 1.58 |
| 300 | 50 | 0 | 50 | 1.7 | 4 | 1.58 |
| 300 | 100 | 0 | 0 | 1.7 | 4 | 1.58 |
| Tõhus kaugküte ja loomulik ventilatsioon | | | | | | |
| 300 | 300 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.78 |
| 150 | 300 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.84 |
| 200 | 200 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.85 |
| 200 | 250 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.83 |
| 200 | 300 | 100 | 50 | 0.9 | 4 | 0.84 |
| 200 | 300 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.82 |
| 250 | 200 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.83 |
| 250 | 250 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.85 |
| 250 | 250 | 100 | 50 | 0.9 | 4 | 0.84 |
| 250 | 250 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.81 |
| 250 | 300 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.83 |
| 250 | 300 | 100 | 50 | 0.9 | 4 | 0.82 |
| 250 | 300 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.80 |
| 300 | 150 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.85 |
| 300 | 200 | 100 | 50 | 0.9 | 4 | 0.84 |
| 300 | 200 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.82 |
| 300 | 250 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.84 |
| 300 | 250 | 100 | 50 | 0.9 | 4 | 0.82 |
| 300 | 250 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.80 |
| 300 | 300 | 50 | 50 | 0.9 | 4 | 0.84 |
| 300 | 300 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.82 |
| 300 | 300 | 100 | 50 | 0.9 | 4 | 0.81 |
| 300 | 300 | 100 | 100 | 1.1 | 4 | 0.85 |
| 300 | 300 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.78 |
| Tõhus kaugküte ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | | |
| 0 | 200 | 50 | 100 | 0.9 | 11.51 | 1.44 |
| 0 | 250 | 50 | 50 | 0.9 | 11.51 | 1.44 |
| 50 | 100 | 50 | 100 | 1.1 | 11.51 | 1.44 |
| 50 | 250 | 100 | 50 | 1.7 | 4 | 1.44 |
| 50 | 300 | 0 | 100 | 1.1 | 11.51 | 1.44 |
| 50 | 300 | 50 | 100 | 1.7 | 4 | 1.44 |
| 100 | 50 | 100 | 0 | 0.9 | 11.51 | 1.44 |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 1.7 | 4 | 1.44 |
| 100 | 200 | 0 | 0 | 0.9 | 11.51 | 1.44 |
| 150 | 50 | 50 | 0 | 0.9 | 11.51 | 1.44 |
| 150 | 100 | 0 | 100 | 1.1 | 11.51 | 1.44 |

| | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-------|------|
| 150 | 100 | 50 | 100 | 1.7 | 4 | 1.44 |
| 200 | 0 | 0 | 0 | 1.1 | 4 | 1.44 |
| 200 | 100 | 0 | 50 | 1.1 | 11.51 | 1.44 |
| 200 | 100 | 50 | 50 | 1.7 | 4 | 1.44 |
| 200 | 200 | 0 | 0 | 1.1 | 11.51 | 1.44 |
| 200 | 200 | 50 | 0 | 1.7 | 4 | 1.44 |
| 300 | 0 | 50 | 100 | 0.9 | 11.51 | 1.44 |
| 300 | 100 | 100 | 0 | 1.7 | 4 | 1.44 |
| 300 | 200 | 0 | 50 | 1.7 | 4 | 1.44 |
| Puidukatel ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | | |
| 50 | 200 | 100 | 50 | 0.9 | 4 | 1.00 |
| 50 | 250 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.99 |
| 100 | 250 | 50 | 100 | 1.1 | 4 | 1.00 |
| 150 | 150 | 100 | 0 | 0.9 | 4 | 1.00 |
| 150 | 150 | 100 | 50 | 1.1 | 4 | 0.99 |
| 150 | 250 | 0 | 100 | 0.9 | 4 | 0.99 |
| 150 | 300 | 100 | 0 | 1.1 | 4 | 1.00 |
| 200 | 50 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.99 |
| 200 | 250 | 0 | 50 | 0.9 | 4 | 0.99 |
| 250 | 50 | 100 | 50 | 0.9 | 4 | 1.00 |
| 250 | 100 | 100 | 0 | 0.9 | 4 | 1.00 |
| 250 | 100 | 100 | 50 | 1.1 | 4 | 0.99 |
| 250 | 150 | 0 | 100 | 0.9 | 4 | 1.00 |
| 250 | 150 | 50 | 0 | 0.9 | 4 | 0.99 |
| 250 | 200 | 0 | 50 | 0.9 | 4 | 0.99 |
| 250 | 200 | 100 | 0 | 1.1 | 4 | 0.99 |
| 250 | 300 | 50 | 0 | 1.1 | 4 | 0.99 |
| 300 | 50 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 1.00 |
| 300 | 100 | 50 | 100 | 1.1 | 4 | 0.99 |
| 300 | 250 | 50 | 0 | 1.1 | 4 | 1.00 |
| Pelletikatel ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | | |
| 0 | 100 | 50 | 100 | 1.1 | 4 | 1.28 |
| 0 | 300 | 0 | 100 | 1.1 | 4 | 1.28 |
| 50 | 50 | 0 | 50 | 0.9 | 4 | 1.28 |
| 50 | 50 | 100 | 0 | 1.1 | 4 | 1.28 |
| 50 | 100 | 0 | 0 | 0.9 | 4 | 1.28 |
| 100 | 250 | 100 | 0 | 0.9 | 11.51 | 1.28 |
| 150 | 250 | 50 | 0 | 0.9 | 11.51 | 1.28 |
| 200 | 0 | 0 | 100 | 0.9 | 4 | 1.28 |
| 200 | 100 | 100 | 100 | 1.1 | 11.51 | 1.28 |
| 200 | 200 | 0 | 100 | 0.9 | 11.51 | 1.28 |

| | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|
| 200 | 250 | 100 | 0 | 1.1 | 11.51 | 1.28 |
| 250 | 150 | 50 | 50 | 1.1 | 11.51 | 1.28 |
| 250 | 300 | 100 | 50 | 1.7 | 4 | 1.28 |
| 300 | 150 | 0 | 100 | 0.9 | 11.51 | 1.28 |
| 300 | 200 | 100 | 100 | 1.7 | 4 | 1.28 |
| 300 | 250 | 100 | 50 | 1.7 | 4 | 1.28 |
| 300 | 300 | 0 | 100 | 1.1 | 11.51 | 1.28 |
| 300 | 300 | 50 | 100 | 1.7 | 4 | 1.28 |

L4.2.3. Renoveerimata hoone B – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid

| Välisseina lisasoojustuse paksus | Katuse lisasoojustuse paksus | Põranda lisasoojustuse paksus | Keldrilae lisasoojustuse paksus | Akna soojuslähivus | Õhulekkearv | H/A _{kõetav} (W/(m ² *K)) |
|--|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------|---|
| Maasoojuspump ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | | |
| 50 | 200 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.98 |
| 50 | 250 | 100 | 50 | 0.9 | 4 | 0.98 |
| 50 | 300 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.98 |
| 100 | 150 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.98 |
| 100 | 200 | 100 | 100 | 1.1 | 4 | 0.98 |
| 150 | 200 | 50 | 100 | 1.1 | 4 | 0.98 |
| 150 | 300 | 0 | 100 | 0.9 | 4 | 0.98 |
| 200 | 200 | 50 | 50 | 1.1 | 4 | 0.98 |
| 200 | 300 | 0 | 50 | 0.9 | 4 | 0.98 |
| 300 | 100 | 100 | 50 | 1.1 | 4 | 0.98 |
| 300 | 150 | 50 | 0 | 0.9 | 4 | 0.98 |
| 300 | 200 | 100 | 0 | 1.1 | 4 | 0.98 |
| Tõhus kaugküte ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | | |
| 100 | 200 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.91 |
| 100 | 250 | 100 | 50 | 0.9 | 4 | 0.92 |
| 100 | 300 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.92 |
| 150 | 200 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.91 |
| 150 | 250 | 50 | 50 | 0.9 | 4 | 0.92 |
| 200 | 100 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.92 |
| 200 | 150 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.91 |
| 200 | 200 | 50 | 50 | 0.9 | 4 | 0.91 |
| 200 | 200 | 100 | 100 | 1.1 | 4 | 0.91 |
| 200 | 250 | 100 | 50 | 1.1 | 4 | 0.92 |
| 200 | 300 | 50 | 100 | 1.1 | 4 | 0.92 |

| | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|---|------|
| 250 | 250 | 50 | 100 | 1.1 | 4 | 0.91 |
| 300 | 100 | 100 | 50 | 0.9 | 4 | 0.91 |
| 300 | 150 | 100 | 100 | 1.1 | 4 | 0.91 |
| 300 | 200 | 100 | 0 | 0.9 | 4 | 0.91 |
| 300 | 300 | 50 | 0 | 0.9 | 4 | 0.92 |
| Pelletikatel ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | | |
| 200 | 250 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.83 |
| 200 | 300 | 100 | 50 | 0.9 | 4 | 0.84 |
| 200 | 300 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.82 |
| 250 | 200 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.83 |
| 250 | 250 | 100 | 50 | 0.9 | 4 | 0.84 |
| 250 | 250 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.81 |
| 250 | 300 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.83 |
| 250 | 300 | 100 | 50 | 0.9 | 4 | 0.82 |
| 250 | 300 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.80 |
| 300 | 200 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.82 |
| 300 | 250 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.84 |
| 300 | 250 | 100 | 50 | 0.9 | 4 | 0.82 |
| 300 | 250 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.80 |
| 300 | 300 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.82 |
| 300 | 300 | 100 | 50 | 0.9 | 4 | 0.81 |
| 300 | 300 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.78 |

L4.3. Järve 8, Tõrva

L4.3.1. Renoveerimata hoone piirväärtused

| Piirväärtused, C klass | | | |
|------------------------|--------------------|-----------|----------|
| Soojusallikas | Ventilatsioonitüüp | H/Aköetav | PV, [KW] |
| Maasoojuspump | Loomulik | 0.82 | - |
| Maasoojuspump | Soojustagastusega | 1.35 | - |
| Õhk-vesi soojuspump | Loomulik | 0.39 | - |
| Õhk-vesi soojuspump | Soojustagastusega | 0.7 | - |
| Kaugküte | Loomulik | 0.35 | - |
| Kaugküte | Soojustagastusega | 0.64 | - |
| Tõhus kaugküte | Loomulik | 0.63 | - |
| Tõhus kaugküte | Soojustagastusega | 1.07 | - |
| Ahiküte | Loomulik | 0.35 | - |
| Ahiküte | Soojustagastusega | 0.48 | - |
| Puidukatel | Loomulik | 0.44 | - |
| Puidukatel | Soojustagastusega | 0.78 | - |

| | | | |
|-------------------------------|--------------------|-----------|----------|
| Pelletikatel | Loomulik | 0.56 | - |
| Pelletikatel | Soojustagastusega | 0.97 | - |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Loomulik | 0.32 | - |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Soojustagastusega | 0.6 | - |
| Piirväärtused, B klass | | | |
| Soojusallikas | Ventilatsioonitüüp | H/Aköetav | PV, [KW] |
| Maasoojuspump | Loomulik | 0.5 | - |
| Maasoojuspump | Soojustagastusega | 0.8 | - |
| Õhk-vesi soojuspump | Loomulik | 0.26 | - |
| Õhk-vesi soojuspump | Soojustagastusega | 0.48 | - |
| Kaugküte | Loomulik | 0.25 | - |
| Kaugküte | Soojustagastusega | 0.46 | - |
| Tõhus kaugküte | Loomulik | 0.41 | - |
| Tõhus kaugküte | Soojustagastusega | 0.68 | - |
| Ahiküte | Loomulik | 0.26 | - |
| Ahiküte | Soojustagastusega | 0.35 | - |
| Puidukatel | Loomulik | 0.31 | - |
| Puidukatel | Soojustagastusega | 0.54 | - |
| Pelletikatel | Loomulik | 0.37 | - |
| Pelletikatel | Soojustagastusega | 0.63 | - |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Loomulik | 0.24 | - |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Soojustagastusega | 0.44 | - |
| Piirväärtused, A klass | | | |
| Soojusallikas | Ventilatsioonitüüp | H/Aköetav | PV, [KW] |
| Maasoojuspump | Loomulik | 0.5 | 6 |
| Maasoojuspump | Soojustagastusega | 0.8 | 6 |
| Õhk-vesi soojuspump | Loomulik | 0.26 | 6 |
| Õhk-vesi soojuspump | Soojustagastusega | 0.48 | 6 |
| Kaugküte | Loomulik | 0.25 | 6 |
| Kaugküte | Soojustagastusega | 0.46 | 6 |
| Tõhus kaugküte | Loomulik | 0.41 | 6 |
| Tõhus kaugküte | Soojustagastusega | 0.68 | 6 |
| Ahiküte | Loomulik | 0.26 | 6 |
| Ahiküte | Soojustagastusega | 0.35 | 6 |
| Puidukatel | Loomulik | 0.31 | 6 |
| Puidukatel | Soojustagastusega | 0.54 | 6 |
| Pelletikatel | Loomulik | 0.37 | 6 |
| Pelletikatel | Soojustagastusega | 0.63 | 6 |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Loomulik | 0.24 | 6 |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Soojustagastusega | 0.44 | 6 |

L4.3.2. Renoveerimata hoone C – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid

| Välisseina lisasoojustuse paksus | Katuslae lisasoojustuse paksus | Põranda lisasoojustuse paksus | Akna soojuslähivus | Õhulekkearv | H/A _{kõetav} (W/(m ² *K)) |
|---|--------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------|---|
| Maasoojuspump ja loomulik ventilatsioon | | | | | |
| 50 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.81 |
| 50 | 100 | 150 | 0.9 | 4 | 0.81 |
| 50 | 100 | 200 | 0.9 | 4 | 0.81 |
| 50 | 250 | 100 | 1.1 | 4 | 0.82 |
| 50 | 250 | 150 | 1.1 | 4 | 0.82 |
| 50 | 250 | 200 | 1.1 | 4 | 0.82 |
| 50 | 300 | 100 | 1.1 | 4 | 0.81 |
| 50 | 300 | 150 | 1.1 | 4 | 0.81 |
| 50 | 300 | 200 | 1.1 | 4 | 0.81 |
| 200 | 0 | 100 | 1.1 | 4 | 0.81 |
| 200 | 0 | 150 | 1.1 | 4 | 0.81 |
| 200 | 0 | 200 | 1.1 | 4 | 0.81 |
| 300 | 250 | 50 | 0.9 | 4 | 0.81 |
| 300 | 250 | 100 | 0.9 | 9.09 | 0.81 |
| 300 | 250 | 150 | 0.9 | 9.09 | 0.81 |
| 300 | 250 | 200 | 0.9 | 9.09 | 0.81 |
| Maasoojuspump ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 0 | 0 | 50 | 2.3 | 4 | 1.39 |
| 0 | 0 | 100 | 2.3 | 9.09 | 1.39 |
| 0 | 0 | 150 | 2.3 | 9.09 | 1.39 |
| 0 | 0 | 200 | 2.3 | 9.09 | 1.39 |
| 0 | 50 | 50 | 2.3 | 4 | 1.35 |
| 0 | 50 | 100 | 2.3 | 9.09 | 1.35 |
| 0 | 50 | 150 | 2.3 | 9.09 | 1.35 |
| 0 | 50 | 200 | 2.3 | 9.09 | 1.35 |
| 50 | 150 | 50 | 2.3 | 9.09 | 1.39 |
| 50 | 200 | 50 | 2.3 | 9.09 | 1.38 |
| 50 | 250 | 50 | 2.3 | 9.09 | 1.37 |
| 50 | 300 | 50 | 2.3 | 9.09 | 1.37 |
| 100 | 50 | 50 | 2.3 | 9.09 | 1.38 |
| 100 | 100 | 50 | 2.3 | 9.09 | 1.36 |
| 100 | 150 | 50 | 2.3 | 9.09 | 1.35 |
| 100 | 200 | 50 | 2.3 | 9.09 | 1.34 |
| 150 | 0 | 50 | 2.3 | 9.09 | 1.39 |

| | | | | | |
|--|-----|-----|-----|------|------|
| 150 | 50 | 50 | 2.3 | 9.09 | 1.35 |
| 200 | 0 | 50 | 2.3 | 9.09 | 1.37 |
| 250 | 0 | 50 | 2.3 | 9.09 | 1.35 |
| 300 | 0 | 50 | 2.3 | 9.09 | 1.34 |
| Õhk-vesi soojuspump ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 150 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 150 | 300 | 150 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 150 | 300 | 200 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 200 | 150 | 100 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 200 | 150 | 150 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 200 | 150 | 200 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 250 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 250 | 100 | 150 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 250 | 100 | 200 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 250 | 300 | 100 | 1.1 | 4 | 0.70 |
| 250 | 300 | 150 | 1.1 | 4 | 0.70 |
| 250 | 300 | 200 | 1.1 | 4 | 0.70 |
| 300 | 200 | 100 | 1.1 | 4 | 0.70 |
| 300 | 200 | 150 | 1.1 | 4 | 0.70 |
| 300 | 200 | 200 | 1.1 | 4 | 0.70 |
| 300 | 250 | 100 | 1.1 | 4 | 0.69 |
| 300 | 250 | 150 | 1.1 | 4 | 0.69 |
| 300 | 250 | 200 | 1.1 | 4 | 0.69 |
| Tõhus kaugküte ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 0 | 250 | 50 | 1.1 | 4 | 1.06 |
| 0 | 250 | 100 | 1.1 | 9.09 | 1.06 |
| 0 | 250 | 150 | 1.1 | 9.09 | 1.06 |
| 0 | 250 | 200 | 1.1 | 9.09 | 1.06 |
| 50 | 150 | 100 | 2.3 | 4 | 1.07 |
| 50 | 150 | 150 | 2.3 | 4 | 1.07 |
| 50 | 150 | 200 | 2.3 | 4 | 1.07 |
| 100 | 200 | 50 | 0.9 | 9.09 | 1.07 |
| 150 | 0 | 100 | 2.3 | 4 | 1.07 |
| 150 | 0 | 150 | 2.3 | 4 | 1.07 |
| 150 | 0 | 200 | 2.3 | 4 | 1.07 |
| 150 | 100 | 50 | 0.9 | 9.09 | 1.06 |
| 150 | 250 | 50 | 1.1 | 9.09 | 1.07 |
| 200 | 50 | 50 | 0.9 | 9.09 | 1.06 |
| 200 | 150 | 50 | 1.1 | 9.09 | 1.06 |
| 250 | 100 | 50 | 1.1 | 9.09 | 1.06 |
| Puidukatel ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |

| | | | | | |
|---|-----|-----|-----|------|------|
| 50 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.79 |
| 50 | 200 | 150 | 0.9 | 4 | 0.79 |
| 50 | 200 | 200 | 0.9 | 4 | 0.79 |
| 100 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.79 |
| 100 | 50 | 150 | 0.9 | 4 | 0.79 |
| 100 | 50 | 200 | 0.9 | 4 | 0.79 |
| 100 | 150 | 100 | 1.1 | 4 | 0.79 |
| 100 | 150 | 150 | 1.1 | 4 | 0.79 |
| 100 | 150 | 200 | 1.1 | 4 | 0.79 |
| 300 | 0 | 100 | 1.1 | 4 | 0.78 |
| 300 | 0 | 150 | 1.1 | 4 | 0.78 |
| 300 | 0 | 200 | 1.1 | 4 | 0.78 |
| Pelletikatel ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 50 | 150 | 50 | 0.9 | 4 | 0.96 |
| 50 | 150 | 100 | 0.9 | 9.09 | 0.96 |
| 50 | 150 | 150 | 0.9 | 9.09 | 0.96 |
| 50 | 150 | 200 | 0.9 | 9.09 | 0.96 |
| 100 | 100 | 50 | 1.1 | 4 | 0.97 |
| 100 | 100 | 100 | 1.1 | 9.09 | 0.97 |
| 100 | 100 | 150 | 1.1 | 9.09 | 0.97 |
| 100 | 100 | 200 | 1.1 | 9.09 | 0.97 |
| 150 | 300 | 100 | 2.3 | 4 | 0.97 |
| 150 | 300 | 150 | 2.3 | 4 | 0.97 |
| 150 | 300 | 200 | 2.3 | 4 | 0.97 |
| 200 | 150 | 100 | 2.3 | 4 | 0.97 |
| 200 | 150 | 150 | 2.3 | 4 | 0.97 |
| 200 | 150 | 200 | 2.3 | 4 | 0.97 |
| 250 | 100 | 100 | 2.3 | 4 | 0.97 |
| 250 | 100 | 150 | 2.3 | 4 | 0.97 |
| 250 | 100 | 200 | 2.3 | 4 | 0.97 |

L4.3.3. Renoveerimata hoone B – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid

| Välisseina lisasoojustuse paksus | Katuslae lisasoojustuse paksus | Põranda lisasoojustuse paksus | Akna soojuslähivus | Õhulekkearv | H/A _{kõetav} (W/(m ² *K)) |
|--|--------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------|---|
| Maasoojuspump ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 50 | 150 | 100 | 0.9 | 4 | 0.80 |
| 50 | 150 | 150 | 0.9 | 4 | 0.80 |
| 50 | 150 | 200 | 0.9 | 4 | 0.80 |

| | | | | | |
|---|-----|-----|-----|---|------|
| 150 | 0 | 100 | 0.9 | 4 | 0.80 |
| 150 | 0 | 150 | 0.9 | 4 | 0.80 |
| 150 | 0 | 200 | 0.9 | 4 | 0.80 |
| 150 | 50 | 100 | 1.1 | 4 | 0.80 |
| 150 | 50 | 150 | 1.1 | 4 | 0.80 |
| 150 | 50 | 200 | 1.1 | 4 | 0.80 |
| 250 | 0 | 100 | 1.1 | 4 | 0.80 |
| 250 | 0 | 150 | 1.1 | 4 | 0.80 |
| 250 | 0 | 200 | 1.1 | 4 | 0.80 |
| Tõhus kaugküte ja loomulik ventilatsioon | | | | | |
| 200 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 200 | 300 | 150 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 200 | 300 | 200 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 250 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 250 | 200 | 150 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 250 | 200 | 200 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 250 | 250 | 100 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| 250 | 250 | 150 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| 250 | 250 | 200 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| 250 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| 250 | 300 | 150 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| 250 | 300 | 200 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| 300 | 150 | 100 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 300 | 150 | 150 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 300 | 150 | 200 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 300 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| 300 | 200 | 150 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| 300 | 200 | 200 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| 300 | 250 | 100 | 0.9 | 4 | 0.65 |
| 300 | 250 | 150 | 0.9 | 4 | 0.65 |
| 300 | 250 | 200 | 0.9 | 4 | 0.65 |
| 300 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.65 |
| 300 | 300 | 150 | 0.9 | 4 | 0.65 |
| 300 | 300 | 200 | 0.9 | 4 | 0.65 |
| Tõhus kaugküte ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 200 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 200 | 300 | 150 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 200 | 300 | 200 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 250 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 250 | 200 | 150 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 250 | 200 | 200 | 0.9 | 4 | 0.67 |

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|------|
| 250 | 250 | 100 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| 250 | 250 | 150 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| 250 | 250 | 200 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| 250 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| 250 | 300 | 150 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| 250 | 300 | 200 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| 300 | 150 | 100 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 300 | 150 | 150 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 300 | 150 | 200 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 300 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| 300 | 200 | 150 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| 300 | 200 | 200 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| 300 | 250 | 100 | 0.9 | 4 | 0.65 |
| 300 | 250 | 150 | 0.9 | 4 | 0.65 |
| 300 | 250 | 200 | 0.9 | 4 | 0.65 |
| 300 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.65 |
| 300 | 300 | 150 | 0.9 | 4 | 0.65 |
| 300 | 300 | 200 | 0.9 | 4 | 0.65 |

L4.4. Tartu 34a, Võru

L4.4.1. Renoveerimata hoone piirväärtused

| Piirväärtused, C klass | | | |
|------------------------|--------------------|-----------|----|
| Soojusallikas | Ventilatsioonitüüp | H/Aköetav | PV |
| Maasoojuspump | Loomulik | 1.41 | - |
| Maasoojuspump | Soojustagastusega | 2.19 | - |
| Õhk-vesi soojuspump | Loomulik | 0.55 | - |
| Õhk-vesi soojuspump | Soojustagastusega | 0.96 | - |
| Kaugküte | Loomulik | 0.41 | - |
| Kaugküte | Soojustagastusega | 0.76 | - |
| Tõhus kaugküte | Loomulik | 0.8 | - |
| Tõhus kaugküte | Soojustagastusega | 1.33 | - |
| Ahiküte | Loomulik | 0.41 | - |
| Ahiküte | Soojustagastusega | 0.56 | - |
| Puidukatel | Loomulik | 0.54 | - |
| Puidukatel | Soojustagastusega | 0.95 | - |
| Pelletikatel | Loomulik | 0.7 | - |

| | | | |
|---------------------------|--------------------|-----------|----|
| Pelletikatel | Soojustagastusega | 1.2 | - |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Loomulik | 0.38 | - |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Soojustagastusega | 0.7 | - |
| Piirväärtused, B klass | | | |
| Soojusallikas | Ventilatsioonitüüp | H/Aköetav | PV |
| Maasoojuspump | Loomulik | 0.69 | - |
| Maasoojuspump | Soojustagastusega | 1.08 | - |
| Õhk-vesi soojuspump | Loomulik | 0.34 | - |
| Õhk-vesi soojuspump | Soojustagastusega | 0.6 | - |
| Kaugküte | Loomulik | 0.27 | - |
| Kaugküte | Soojustagastusega | 0.5 | - |
| Tõhus kaugküte | Loomulik | 0.45 | - |
| Tõhus kaugküte | Soojustagastusega | 0.76 | - |
| Ahiküte | Loomulik | 0.28 | - |
| Ahiküte | Soojustagastusega | 0.38 | - |
| Puidukatel | Loomulik | 0.34 | - |
| Puidukatel | Soojustagastusega | 0.6 | - |
| Pelletikatel | Loomulik | 0.41 | - |
| Pelletikatel | Soojustagastusega | 0.71 | - |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Loomulik | 0.26 | - |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Soojustagastusega | 0.48 | - |
| Piirväärtused, A klass | | | |
| Soojusallikas | Ventilatsioonitüüp | H/Aköetav | PV |
| Maasoojuspump | Loomulik | 0.69 | 10 |
| Maasoojuspump | Soojustagastusega | 1.08 | 11 |
| Õhk-vesi soojuspump | Loomulik | 0.34 | 11 |
| Õhk-vesi soojuspump | Soojustagastusega | 0.6 | 10 |
| Kaugküte | Loomulik | 0.27 | 9 |
| Kaugküte | Soojustagastusega | 0.5 | 10 |
| Tõhus kaugküte | Loomulik | 0.45 | 10 |
| Tõhus kaugküte | Soojustagastusega | 0.76 | 10 |
| Ahiküte | Loomulik | 0.28 | 10 |
| Ahiküte | Soojustagastusega | 0.38 | 10 |
| Puidukatel | Loomulik | 0.34 | 11 |
| Puidukatel | Soojustagastusega | 0.6 | 11 |
| Pelletikatel | Loomulik | 0.41 | 10 |
| Pelletikatel | Soojustagastusega | 0.71 | 11 |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Loomulik | 0.26 | 11 |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Soojustagastusega | 0.48 | 11 |

L4.4.2. Renoveerimata hoone C – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid

| Välisseina lisasoojustuse paksus | Katuslae lisasoojustuse paksus | Põranda lisasoojustuse paksus | Akna soojusläbivus | Õhulekkearv | H/A _{kõetav} (W/(m ² *K)) |
|---|--------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------|---|
| Maasoojuspump ja loomulik ventilatsioon | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 1.1 | 6.6 | 1.41 |
| 0 | 0 | 0 | 0.9 | 6.6 | 1.38 |
| 0 | 0 | 50 | 2.3 | 4 | 1.39 |
| 0 | 50 | 0 | 2.3 | 4 | 1.41 |
| 0 | 50 | 50 | 2.3 | 6.6 | 1.39 |
| 0 | 250 | 0 | 2.3 | 6.6 | 1.40 |
| 0 | 300 | 0 | 2.3 | 6.6 | 1.39 |
| Maasoojuspump ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 2.3 | 6.6 | 1.57 |
| 0 | 0 | 0 | 2.3 | 4 | 1.49 |
| 0 | 0 | 0 | 1.1 | 6.6 | 1.41 |
| 0 | 0 | 0 | 1.1 | 4 | 1.33 |
| 0 | 0 | 0 | 0.9 | 6.6 | 1.38 |
| 0 | 0 | 0 | 0.9 | 4 | 1.30 |
| 0 | 0 | 50 | 2.3 | 6.6 | 1.47 |
| 0 | 0 | 50 | 2.3 | 4 | 1.39 |
| 0 | 0 | 50 | 1.1 | 6.6 | 1.31 |
| 0 | 0 | 50 | 1.1 | 4 | 1.22 |
| Õhk-vesi soojuspump ja loomulik ventilatsioon | | | | | |
| 300 | 250 | 100 | 0.9 | 4 | 0.55 |
| 300 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.54 |
| Õhk-vesi soojuspump ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 50 | 200 | 0 | 1.1 | 4 | 0.95 |
| 50 | 250 | 100 | 2.3 | 4 | 0.96 |
| 50 | 300 | 100 | 2.3 | 4 | 0.95 |
| 100 | 0 | 100 | 1.1 | 6.6 | 0.95 |
| 100 | 50 | 100 | 2.3 | 4 | 0.96 |
| 100 | 100 | 0 | 0.9 | 6.6 | 0.95 |
| 100 | 150 | 0 | 1.1 | 6.6 | 0.95 |
| 100 | 200 | 100 | 2.3 | 6.6 | 0.96 |
| 150 | 200 | 50 | 2.3 | 6.6 | 0.95 |
| 150 | 300 | 0 | 2.3 | 4 | 0.95 |
| 200 | 0 | 100 | 2.3 | 4 | 0.95 |
| 200 | 50 | 100 | 2.3 | 6.6 | 0.95 |

| | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|------|
| 200 | 100 | 50 | 2.3 | 6.6 | 0.96 |
| 200 | 150 | 0 | 2.3 | 4 | 0.95 |
| 250 | 100 | 0 | 2.3 | 4 | 0.95 |
| 300 | 0 | 50 | 2.3 | 4 | 0.96 |
| 300 | 50 | 50 | 2.3 | 6.6 | 0.96 |
| 300 | 300 | 0 | 2.3 | 6.6 | 0.96 |
| Kaugküte ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 50 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.76 |
| 100 | 200 | 50 | 1.1 | 4 | 0.76 |
| 100 | 250 | 100 | 0.9 | 6.6 | 0.75 |
| 150 | 50 | 50 | 0.9 | 4 | 0.75 |
| 150 | 100 | 100 | 0.9 | 6.6 | 0.75 |
| 150 | 150 | 100 | 1.1 | 6.6 | 0.76 |
| 150 | 200 | 50 | 0.9 | 6.6 | 0.76 |
| 150 | 300 | 0 | 0.9 | 4 | 0.76 |
| 200 | 0 | 100 | 0.9 | 4 | 0.76 |
| 200 | 50 | 100 | 0.9 | 6.6 | 0.76 |
| 200 | 150 | 0 | 0.9 | 4 | 0.76 |
| 200 | 200 | 50 | 1.1 | 6.6 | 0.75 |
| 200 | 300 | 0 | 1.1 | 4 | 0.75 |
| 250 | 100 | 0 | 0.9 | 4 | 0.76 |
| 250 | 250 | 100 | 2.3 | 4 | 0.76 |
| 300 | 100 | 50 | 1.1 | 6.6 | 0.75 |
| 300 | 200 | 100 | 2.3 | 4 | 0.75 |
| Tõhus kaugküte ja loomulik ventilatsioon | | | | | |
| 50 | 150 | 100 | 0.9 | 4 | 0.79 |
| 50 | 250 | 100 | 1.1 | 4 | 0.79 |
| 100 | 100 | 50 | 1.1 | 4 | 0.80 |
| 100 | 200 | 100 | 1.1 | 6.6 | 0.79 |
| 100 | 250 | 50 | 0.9 | 6.6 | 0.80 |
| 100 | 300 | 50 | 0.9 | 6.6 | 0.79 |
| 150 | 0 | 100 | 0.9 | 4 | 0.79 |
| 150 | 50 | 100 | 0.9 | 6.6 | 0.79 |
| 150 | 100 | 50 | 0.9 | 6.6 | 0.80 |
| 150 | 150 | 0 | 0.9 | 4 | 0.79 |
| 150 | 250 | 0 | 1.1 | 4 | 0.79 |
| 200 | 100 | 50 | 1.1 | 6.6 | 0.79 |
| 200 | 200 | 100 | 2.3 | 4 | 0.79 |
| 250 | 50 | 0 | 0.9 | 4 | 0.80 |
| 250 | 250 | 0 | 0.9 | 6.6 | 0.79 |
| 250 | 300 | 50 | 2.3 | 4 | 0.79 |

| | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|------|
| 300 | 0 | 50 | 1.1 | 4 | 0.79 |
| 300 | 0 | 100 | 0.9 | 6.6 | 0.80 |
| 300 | 200 | 50 | 2.3 | 4 | 0.80 |
| 300 | 300 | 0 | 1.1 | 6.6 | 0.79 |
| Tõhus kaugküte ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 1.1 | 4 | 1.33 |
| 0 | 0 | 50 | 1.1 | 6.6 | 1.31 |
| 0 | 50 | 0 | 1.1 | 6.6 | 1.32 |
| 0 | 50 | 50 | 2.3 | 4 | 1.31 |
| 0 | 100 | 100 | 2.3 | 6.6 | 1.30 |
| 0 | 150 | 50 | 2.3 | 6.6 | 1.33 |
| 0 | 200 | 50 | 2.3 | 6.6 | 1.31 |
| 0 | 250 | 0 | 2.3 | 4 | 1.32 |
| 0 | 250 | 50 | 2.3 | 6.6 | 1.30 |
| 0 | 300 | 0 | 2.3 | 4 | 1.31 |
| Ahiküte ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 250 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.56 |
| 300 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.56 |
| 300 | 250 | 100 | 0.9 | 4 | 0.55 |
| 300 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.54 |
| Puidukatel ja loomulik ventilatsioon | | | | | |
| 300 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.54 |
| Puidukatel ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 50 | 100 | 50 | 0.9 | 6.6 | 0.94 |
| 50 | 150 | 50 | 1.1 | 6.6 | 0.95 |
| 50 | 250 | 0 | 1.1 | 4 | 0.94 |
| 100 | 250 | 100 | 2.3 | 6.6 | 0.95 |
| 150 | 0 | 50 | 1.1 | 6.6 | 0.95 |
| 150 | 50 | 50 | 2.3 | 4 | 0.95 |
| 150 | 100 | 100 | 2.3 | 6.6 | 0.94 |
| 150 | 250 | 50 | 2.3 | 6.6 | 0.94 |
| 300 | 0 | 0 | 0.9 | 6.6 | 0.95 |
| Pelletikatel ja loomulik ventilatsioon | | | | | |
| 100 | 150 | 100 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 100 | 300 | 100 | 1.1 | 4 | 0.69 |
| 150 | 100 | 100 | 1.1 | 4 | 0.70 |
| 150 | 150 | 50 | 0.9 | 4 | 0.69 |
| 150 | 250 | 50 | 1.1 | 4 | 0.69 |
| 150 | 300 | 100 | 0.9 | 6.6 | 0.69 |
| 200 | 150 | 100 | 0.9 | 6.6 | 0.69 |
| 200 | 250 | 100 | 1.1 | 6.6 | 0.70 |

| | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|------|
| 250 | 50 | 50 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 250 | 100 | 100 | 0.9 | 6.6 | 0.69 |
| 250 | 150 | 100 | 1.1 | 6.6 | 0.70 |
| 250 | 250 | 50 | 0.9 | 6.6 | 0.69 |
| 300 | 150 | 50 | 0.9 | 6.6 | 0.70 |
| 300 | 250 | 0 | 0.9 | 4 | 0.69 |
| 300 | 300 | 50 | 1.1 | 6.6 | 0.69 |
| Pelletikatel ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 0 | 0 | 50 | 0.9 | 4 | 1.20 |
| 0 | 0 | 100 | 1.1 | 4 | 1.18 |
| 0 | 50 | 50 | 0.9 | 6.6 | 1.20 |
| 0 | 50 | 100 | 1.1 | 6.6 | 1.18 |
| 0 | 100 | 0 | 0.9 | 4 | 1.18 |
| 0 | 100 | 50 | 1.1 | 6.6 | 1.18 |
| 0 | 150 | 0 | 1.1 | 4 | 1.18 |
| 0 | 150 | 100 | 2.3 | 4 | 1.20 |
| 0 | 200 | 100 | 2.3 | 4 | 1.18 |
| 0 | 250 | 100 | 2.3 | 4 | 1.17 |
| 0 | 300 | 0 | 0.9 | 6.6 | 1.20 |
| 50 | 0 | 0 | 1.1 | 6.6 | 1.19 |
| 50 | 0 | 50 | 2.3 | 4 | 1.18 |
| 50 | 50 | 0 | 2.3 | 4 | 1.20 |
| 50 | 50 | 50 | 2.3 | 6.6 | 1.18 |
| 50 | 200 | 0 | 2.3 | 6.6 | 1.20 |
| 50 | 250 | 0 | 2.3 | 6.6 | 1.19 |
| 50 | 300 | 0 | 2.3 | 6.6 | 1.18 |
| 100 | 0 | 0 | 2.3 | 4 | 1.18 |
| 100 | 50 | 0 | 2.3 | 6.6 | 1.18 |
| 200 | 0 | 0 | 2.3 | 6.6 | 1.18 |
| Gaas-kondensatsioonikatel ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 100 | 150 | 100 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 100 | 300 | 100 | 1.1 | 4 | 0.69 |
| 150 | 100 | 100 | 1.1 | 4 | 0.70 |
| 150 | 150 | 50 | 0.9 | 4 | 0.69 |
| 150 | 250 | 50 | 1.1 | 4 | 0.69 |
| 150 | 300 | 100 | 0.9 | 6.6 | 0.69 |
| 200 | 150 | 100 | 0.9 | 6.6 | 0.69 |
| 200 | 250 | 100 | 1.1 | 6.6 | 0.70 |
| 250 | 50 | 50 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 250 | 100 | 100 | 0.9 | 6.6 | 0.69 |
| 250 | 150 | 100 | 1.1 | 6.6 | 0.70 |

| | | | | | |
|-----|-----|----|-----|-----|------|
| 250 | 250 | 50 | 0.9 | 6.6 | 0.69 |
| 300 | 150 | 50 | 0.9 | 6.6 | 0.70 |
| 300 | 250 | 0 | 0.9 | 4 | 0.69 |
| 300 | 300 | 50 | 1.1 | 6.6 | 0.69 |

L4.4.3. Renoveerimata hoone B – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid

| Välisseina lisasoojustuse paksus | Katuslae lisasoojustuse paksus | Põranda lisasoojustuse paksus | Akna soojuslähivus | Õhulekkearv | H/A _{kõetav} (W/(m ² *K)) |
|---|--------------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------|---|
| Maasoojuspump ja loomulik ventilatsioon | | | | | |
| 100 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.68 |
| 150 | 300 | 50 | 1.1 | 4 | 0.69 |
| 200 | 100 | 50 | 0.9 | 4 | 0.68 |
| 200 | 150 | 50 | 1.1 | 4 | 0.69 |
| 200 | 300 | 100 | 1.1 | 6.6 | 0.69 |
| 250 | 50 | 100 | 1.1 | 4 | 0.68 |
| 250 | 100 | 50 | 1.1 | 4 | 0.69 |
| 250 | 200 | 100 | 1.1 | 6.6 | 0.68 |
| 250 | 300 | 50 | 0.9 | 6.6 | 0.68 |
| 300 | 50 | 50 | 0.9 | 4 | 0.68 |
| 300 | 150 | 100 | 1.1 | 6.6 | 0.68 |
| 300 | 200 | 50 | 0.9 | 6.6 | 0.68 |
| 300 | 300 | 0 | 0.9 | 4 | 0.68 |
| Maasoojuspump ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 0 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 1.07 |
| 0 | 200 | 50 | 1.1 | 4 | 1.06 |
| 0 | 250 | 100 | 0.9 | 6.6 | 1.06 |
| 50 | 0 | 50 | 0.9 | 6.6 | 1.06 |
| 50 | 150 | 100 | 2.3 | 6.6 | 1.07 |
| 100 | 100 | 0 | 2.3 | 4 | 1.06 |
| 150 | 0 | 100 | 2.3 | 6.6 | 1.07 |
| 150 | 150 | 0 | 2.3 | 6.6 | 1.07 |
| Õhk-vesi soojuspump ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 200 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.60 |
| 200 | 250 | 100 | 0.9 | 4 | 0.59 |
| 200 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.58 |
| 250 | 150 | 100 | 0.9 | 4 | 0.59 |

| | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|------|
| 250 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.57 |
| 250 | 250 | 100 | 1.1 | 4 | 0.59 |
| 250 | 250 | 100 | 0.9 | 4 | 0.56 |
| 250 | 300 | 100 | 1.1 | 4 | 0.58 |
| 250 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.56 |
| 300 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.60 |
| 300 | 150 | 100 | 0.9 | 4 | 0.57 |
| 300 | 200 | 100 | 1.1 | 4 | 0.58 |
| 300 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.56 |
| 300 | 250 | 50 | 0.9 | 4 | 0.59 |
| 300 | 250 | 100 | 1.1 | 4 | 0.57 |
| 300 | 250 | 100 | 0.9 | 4 | 0.55 |
| 300 | 300 | 50 | 0.9 | 4 | 0.58 |
| 300 | 300 | 100 | 1.1 | 4 | 0.57 |
| 300 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.54 |
| Tõhus kaugküte ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 50 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.76 |
| 100 | 200 | 50 | 1.1 | 4 | 0.76 |
| 100 | 250 | 100 | 0.9 | 6.6 | 0.75 |
| 150 | 50 | 50 | 0.9 | 4 | 0.75 |
| 150 | 100 | 100 | 0.9 | 6.6 | 0.75 |
| 150 | 150 | 100 | 1.1 | 6.6 | 0.76 |
| 150 | 200 | 50 | 0.9 | 6.6 | 0.76 |
| 150 | 300 | 0 | 0.9 | 4 | 0.76 |
| 200 | 0 | 100 | 0.9 | 4 | 0.76 |
| 200 | 50 | 100 | 0.9 | 6.6 | 0.76 |
| 200 | 150 | 0 | 0.9 | 4 | 0.76 |
| 200 | 200 | 50 | 1.1 | 6.6 | 0.75 |
| 200 | 300 | 0 | 1.1 | 4 | 0.75 |
| 250 | 100 | 0 | 0.9 | 4 | 0.76 |
| 250 | 250 | 100 | 2.3 | 4 | 0.76 |
| 300 | 100 | 50 | 1.1 | 6.6 | 0.75 |
| 300 | 200 | 100 | 2.3 | 4 | 0.75 |
| Puidukatel ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 200 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.60 |
| 200 | 250 | 100 | 0.9 | 4 | 0.59 |
| 200 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.58 |
| 250 | 150 | 100 | 0.9 | 4 | 0.59 |
| 250 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.57 |
| 250 | 250 | 100 | 1.1 | 4 | 0.59 |
| 250 | 250 | 100 | 0.9 | 4 | 0.56 |

| | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|------|
| 250 | 300 | 100 | 1.1 | 4 | 0.58 |
| 250 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.56 |
| 300 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.60 |
| 300 | 150 | 100 | 0.9 | 4 | 0.57 |
| 300 | 200 | 100 | 1.1 | 4 | 0.58 |
| 300 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.56 |
| 300 | 250 | 50 | 0.9 | 4 | 0.59 |
| 300 | 250 | 100 | 1.1 | 4 | 0.57 |
| 300 | 250 | 100 | 0.9 | 4 | 0.55 |
| 300 | 300 | 50 | 0.9 | 4 | 0.58 |
| 300 | 300 | 100 | 1.1 | 4 | 0.57 |
| 300 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.54 |
| Pelletikatel ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 100 | 250 | 100 | 1.1 | 4 | 0.70 |
| 100 | 300 | 50 | 0.9 | 4 | 0.71 |
| 150 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.71 |
| 150 | 200 | 50 | 1.1 | 4 | 0.70 |
| 150 | 250 | 100 | 0.9 | 6.6 | 0.70 |
| 200 | 50 | 100 | 1.1 | 4 | 0.70 |
| 200 | 100 | 50 | 1.1 | 4 | 0.71 |
| 200 | 200 | 100 | 1.1 | 6.6 | 0.71 |
| 200 | 300 | 50 | 0.9 | 6.6 | 0.71 |
| 250 | 200 | 50 | 0.9 | 6.6 | 0.70 |
| 250 | 250 | 0 | 0.9 | 4 | 0.71 |
| 250 | 300 | 0 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 250 | 300 | 50 | 1.1 | 6.6 | 0.71 |
| 300 | 50 | 50 | 1.1 | 4 | 0.71 |
| 300 | 100 | 100 | 1.1 | 6.6 | 0.70 |
| 300 | 200 | 0 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 300 | 250 | 50 | 1.1 | 6.6 | 0.70 |

L4.5. Ümera 8, Tartu

L4.5.1. Renoveerimata hoone piirväärtused

| Piirväärtused, C klass | | | |
|------------------------|--------------------|-----------|----|
| Soojusallikas | Ventilatsioonitüüp | H/Akõetav | PV |
| Maasoojuspump | Loomulik | 1.4 | - |
| Maasoojuspump | Soojustagastusega | 2.3 | - |
| Õhk-vesi soojuspump | Loomulik | 0.55 | - |

| | | | |
|---------------------------|--------------------|-----------|-----|
| Õhk-vesi soojuspump | Soojustagastusega | 1 | - |
| Kaugküte | Loomulik | 0.43 | - |
| Kaugküte | Soojustagastusega | 0.79 | - |
| Tõhus kaugküte | Loomulik | 0.85 | - |
| Tõhus kaugküte | Soojustagastusega | 1.42 | - |
| Ahiküte | Loomulik | 0.4 | - |
| Ahiküte | Soojustagastusega | 0.54 | - |
| Puidukatel | Loomulik | 0.57 | - |
| Puidukatel | Soojustagastusega | 1 | - |
| Pelletikatel | Loomulik | 0.74 | - |
| Pelletikatel | Soojustagastusega | 1.28 | - |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Loomulik | 0.39 | - |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Soojustagastusega | 0.73 | - |
| Piirväärtused, B klass | | | |
| Soojusallikas | Ventilatsioonitüüp | H/Aköetav | PV |
| Maasoojuspump | Loomulik | 0.8 | - |
| Maasoojuspump | Soojustagastusega | 1.33 | - |
| Õhk-vesi soojuspump | Loomulik | 0.37 | - |
| Õhk-vesi soojuspump | Soojustagastusega | 0.69 | - |
| Kaugküte | Loomulik | 0.32 | - |
| Kaugküte | Soojustagastusega | 0.57 | - |
| Tõhus kaugküte | Loomulik | 0.54 | - |
| Tõhus kaugküte | Soojustagastusega | 0.92 | - |
| Ahiküte | Loomulik | 0.29 | - |
| Ahiküte | Soojustagastusega | 0.4 | - |
| Puidukatel | Loomulik | 0.39 | - |
| Puidukatel | Soojustagastusega | 0.69 | - |
| Pelletikatel | Loomulik | 0.49 | - |
| Pelletikatel | Soojustagastusega | 0.84 | - |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Loomulik | 0.29 | - |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Soojustagastusega | 0.54 | - |
| Piirväärtused, A klass | | | |
| Soojusallikas | Ventilatsioonitüüp | H/Aköetav | PV |
| Maasoojuspump | Loomulik | 0.8 | 4.3 |
| Maasoojuspump | Soojustagastusega | 1.33 | 4.5 |
| Õhk-vesi soojuspump | Loomulik | 0.37 | 3.8 |
| Õhk-vesi soojuspump | Soojustagastusega | 0.69 | 4.3 |
| Kaugküte | Loomulik | 0.31 | 4 |
| Kaugküte | Soojustagastusega | 0.57 | 4.2 |
| Tõhus kaugküte | Loomulik | 0.54 | 4.1 |
| Tõhus kaugküte | Soojustagastusega | 0.92 | 4.3 |

| | | | |
|---------------------------|-------------------|------|-----|
| Ahiküte | Loomulik | 0.29 | 3.8 |
| Ahiküte | Soojustagastusega | 0.4 | 4.4 |
| Puidukatel | Loomulik | 0.39 | 4.2 |
| Puidukatel | Soojustagastusega | 0.69 | 4.2 |
| Pelletikatel | Loomulik | 0.49 | 4.4 |
| Pelletikatel | Soojustagastusega | 0.84 | 4.4 |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Loomulik | 0.29 | 4.1 |
| Gaas-kondensatsioonikatel | Soojustagastusega | 0.54 | 4.4 |

L4.5.2. Renoveerimata hoone C – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid

| Välisseinte lisasoojustuse paksus | Katuslae lisasoojustuse paksus | Keldrilae lisasoojustuse paksus | Akna soojusläbivus | Õhulekkearv | H/A _{kõetav} (W/(m ² *K)) |
|---|--------------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------|---|
| Maasoojuspump ja loomulik ventilatsioon | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 2.3 | 5.37 | 1.36 |
| 0 | 0 | 0 | 2.3 | 4 | 1.31 |
| 0 | 0 | 0 | 1.1 | 5.37 | 1.17 |
| 0 | 0 | 0 | 1.1 | 4 | 1.12 |
| 0 | 0 | 0 | 0.9 | 5.37 | 1.11 |
| 0 | 0 | 0 | 0.9 | 4 | 1.06 |
| 0 | 0 | 50 | 2.3 | 5.37 | 1.25 |
| 0 | 0 | 50 | 2.3 | 4 | 1.20 |
| 0 | 0 | 50 | 1.1 | 5.37 | 1.06 |
| 0 | 0 | 50 | 1.1 | 4 | 1.01 |
| 0 | 0 | 50 | 0.9 | 5.37 | 1.00 |
| 0 | 0 | 50 | 0.9 | 4 | 0.95 |
| 0 | 0 | 100 | 2.3 | 5.37 | 1.20 |
| 0 | 0 | 100 | 2.3 | 4 | 1.16 |
| 0 | 0 | 100 | 1.1 | 5.37 | 1.02 |
| 0 | 0 | 100 | 1.1 | 4 | 0.97 |
| 0 | 0 | 100 | 0.9 | 5.37 | 0.95 |
| Maasoojuspump ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 2.3 | 5.37 | 1.36 |
| 0 | 50 | 0 | 2.3 | 5.37 | 1.35 |
| 0 | 100 | 0 | 2.3 | 5.37 | 1.34 |
| 0 | 150 | 0 | 2.3 | 5.37 | 1.33 |

| Õhk-vesi soojuspump ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
|--|-----|-----|-----|------|------|
| 0 | 0 | 50 | 0.9 | 5.37 | 1.00 |
| 0 | 100 | 50 | 1.1 | 4 | 0.99 |
| 0 | 100 | 100 | 1.1 | 5.37 | 1.00 |
| 50 | 200 | 0 | 0.9 | 5.37 | 1.00 |
| 50 | 250 | 0 | 0.9 | 5.37 | 0.99 |
| 100 | 0 | 0 | 1.1 | 4 | 1.00 |
| 100 | 250 | 100 | 2.3 | 4 | 1.00 |
| 100 | 300 | 100 | 2.3 | 4 | 0.99 |
| 150 | 50 | 100 | 2.3 | 4 | 0.99 |
| 150 | 100 | 0 | 1.1 | 5.37 | 0.99 |
| 200 | 0 | 0 | 1.1 | 5.37 | 0.99 |
| 200 | 200 | 50 | 2.3 | 4 | 1.00 |
| 200 | 200 | 100 | 2.3 | 5.37 | 1.00 |
| 200 | 250 | 50 | 2.3 | 4 | 0.99 |
| 200 | 250 | 100 | 2.3 | 5.37 | 0.99 |
| 250 | 50 | 50 | 2.3 | 4 | 1.00 |
| 250 | 100 | 50 | 2.3 | 4 | 0.99 |
| 250 | 100 | 100 | 2.3 | 5.37 | 0.99 |
| 300 | 0 | 50 | 2.3 | 4 | 1.00 |
| Kaugküte ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 50 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.79 |
| 100 | 0 | 100 | 0.9 | 4 | 0.78 |
| 100 | 300 | 50 | 0.9 | 4 | 0.79 |
| 100 | 300 | 100 | 0.9 | 5.37 | 0.79 |
| 150 | 50 | 50 | 0.9 | 4 | 0.79 |
| 150 | 50 | 100 | 0.9 | 5.37 | 0.79 |
| 150 | 150 | 100 | 1.1 | 4 | 0.79 |
| 150 | 200 | 100 | 1.1 | 4 | 0.78 |
| 200 | 50 | 100 | 1.1 | 4 | 0.78 |
| 200 | 200 | 50 | 0.9 | 5.37 | 0.79 |
| 200 | 250 | 50 | 0.9 | 5.37 | 0.78 |
| 200 | 300 | 50 | 0.9 | 5.37 | 0.78 |
| 250 | 100 | 50 | 0.9 | 5.37 | 0.79 |
| 250 | 250 | 50 | 1.1 | 4 | 0.79 |
| 250 | 250 | 100 | 1.1 | 5.37 | 0.79 |
| 250 | 300 | 50 | 1.1 | 4 | 0.78 |
| 250 | 300 | 100 | 1.1 | 5.37 | 0.78 |
| 300 | 50 | 50 | 0.9 | 5.37 | 0.78 |
| 300 | 150 | 50 | 1.1 | 4 | 0.78 |
| 300 | 150 | 100 | 1.1 | 5.37 | 0.79 |

| Tõhus kaugküte ja loomulik ventilatsioon | | | | | |
|---|-----|-----|-----|------|------|
| 50 | 150 | 50 | 0.9 | 4 | 0.85 |
| 50 | 150 | 100 | 0.9 | 5.37 | 0.85 |
| 50 | 200 | 50 | 0.9 | 4 | 0.84 |
| 50 | 200 | 100 | 0.9 | 5.37 | 0.84 |
| 100 | 0 | 100 | 1.1 | 4 | 0.84 |
| 100 | 150 | 50 | 0.9 | 5.37 | 0.85 |
| 100 | 300 | 50 | 1.1 | 4 | 0.85 |
| 150 | 0 | 50 | 0.9 | 5.37 | 0.84 |
| 150 | 50 | 50 | 1.1 | 4 | 0.85 |
| 150 | 50 | 100 | 1.1 | 5.37 | 0.85 |
| 150 | 100 | 100 | 1.1 | 5.37 | 0.84 |
| 200 | 250 | 0 | 0.9 | 4 | 0.85 |
| 200 | 250 | 50 | 1.1 | 5.37 | 0.85 |
| 200 | 300 | 0 | 0.9 | 4 | 0.85 |
| 200 | 300 | 50 | 1.1 | 5.37 | 0.84 |
| 250 | 100 | 0 | 0.9 | 4 | 0.85 |
| 250 | 100 | 50 | 1.1 | 5.37 | 0.85 |
| 250 | 150 | 0 | 0.9 | 4 | 0.84 |
| 250 | 150 | 50 | 1.1 | 5.37 | 0.84 |
| 300 | 50 | 0 | 0.9 | 4 | 0.85 |
| 300 | 50 | 50 | 1.1 | 5.37 | 0.84 |
| Tõhus kaugküte ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 2.3 | 5.37 | 1.36 |
| 0 | 0 | 0 | 2.3 | 4 | 1.31 |
| 0 | 0 | 0 | 1.1 | 5.37 | 1.17 |
| 0 | 0 | 0 | 1.1 | 4 | 1.12 |
| 0 | 0 | 0 | 0.9 | 5.37 | 1.11 |
| 0 | 0 | 0 | 0.9 | 4 | 1.06 |
| 0 | 0 | 50 | 2.3 | 5.37 | 1.25 |
| 50 | 300 | 100 | 2.3 | 5.37 | 1.08 |
| 50 | 300 | 100 | 2.3 | 4 | 1.04 |
| Puidukatel ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 0 | 0 | 50 | 0.9 | 5.37 | 1.00 |
| 0 | 100 | 50 | 1.1 | 4 | 0.99 |
| 0 | 100 | 100 | 1.1 | 5.37 | 1.00 |
| 50 | 200 | 0 | 0.9 | 5.37 | 1.00 |
| 50 | 250 | 0 | 0.9 | 5.37 | 0.99 |
| 100 | 0 | 0 | 1.1 | 4 | 1.00 |
| 100 | 250 | 100 | 2.3 | 4 | 1.00 |
| 100 | 300 | 100 | 2.3 | 4 | 0.99 |

| | | | | | |
|--|-----|-----|-----|------|------|
| 150 | 50 | 100 | 2.3 | 4 | 0.99 |
| 150 | 100 | 0 | 1.1 | 5.37 | 0.99 |
| 200 | 0 | 0 | 1.1 | 5.37 | 0.99 |
| 200 | 200 | 50 | 2.3 | 4 | 1.00 |
| 200 | 200 | 100 | 2.3 | 5.37 | 1.00 |
| 200 | 250 | 50 | 2.3 | 4 | 0.99 |
| 200 | 250 | 100 | 2.3 | 5.37 | 0.99 |
| 250 | 50 | 50 | 2.3 | 4 | 1.00 |
| 250 | 100 | 50 | 2.3 | 4 | 0.99 |
| 250 | 100 | 100 | 2.3 | 5.37 | 0.99 |
| 300 | 0 | 50 | 2.3 | 4 | 1.00 |
| Pelletikatel ja loomulik ventilatsioon | | | | | |
| 150 | 250 | 100 | 0.9 | 4 | 0.72 |
| 150 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.71 |
| 200 | 0 | 100 | 0.9 | 4 | 0.73 |
| 200 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.72 |
| 200 | 300 | 100 | 0.9 | 5.37 | 0.74 |
| 200 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.69 |
| 250 | 0 | 100 | 0.9 | 4 | 0.72 |
| 250 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 250 | 300 | 100 | 0.9 | 5.37 | 0.72 |
| 250 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.68 |
| 300 | 0 | 100 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 300 | 50 | 50 | 0.9 | 4 | 0.74 |
| 300 | 300 | 50 | 0.9 | 4 | 0.71 |
| 300 | 300 | 100 | 1.1 | 4 | 0.73 |
| Pelletikatel ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 0 | 0 | 50 | 2.3 | 5.37 | 1.25 |
| 0 | 50 | 50 | 2.3 | 5.37 | 1.24 |
| 0 | 250 | 0 | 2.3 | 4 | 1.28 |
| 0 | 300 | 0 | 2.3 | 4 | 1.27 |
| 50 | 0 | 0 | 2.3 | 5.37 | 1.28 |
| 50 | 0 | 0 | 2.3 | 4 | 1.23 |
| 50 | 50 | 0 | 2.3 | 5.37 | 1.27 |
| 50 | 100 | 0 | 2.3 | 5.37 | 1.26 |
| 50 | 150 | 0 | 2.3 | 5.37 | 1.25 |
| 50 | 200 | 0 | 2.3 | 5.37 | 1.25 |
| 50 | 250 | 0 | 2.3 | 5.37 | 1.24 |
| 50 | 300 | 0 | 2.3 | 5.37 | 1.24 |
| 100 | 0 | 0 | 2.3 | 5.37 | 1.23 |
| Gaas-kondensatsioonikatel ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|---|------|
| 150 | 150 | 100 | 0.9 | 4 | 0.73 |
| 150 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.72 |
| 150 | 250 | 100 | 0.9 | 4 | 0.72 |
| 150 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.71 |
| 200 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.72 |
| 200 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.71 |
| 200 | 150 | 100 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 200 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 250 | 0 | 100 | 0.9 | 4 | 0.72 |
| 250 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 250 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 250 | 150 | 100 | 0.9 | 4 | 0.69 |
| 250 | 200 | 50 | 0.9 | 4 | 0.73 |
| 250 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.68 |
| 300 | 0 | 100 | 0.9 | 4 | 0.70 |
| 300 | 50 | 100 | 0.9 | 4 | 0.69 |
| 300 | 100 | 50 | 0.9 | 4 | 0.73 |

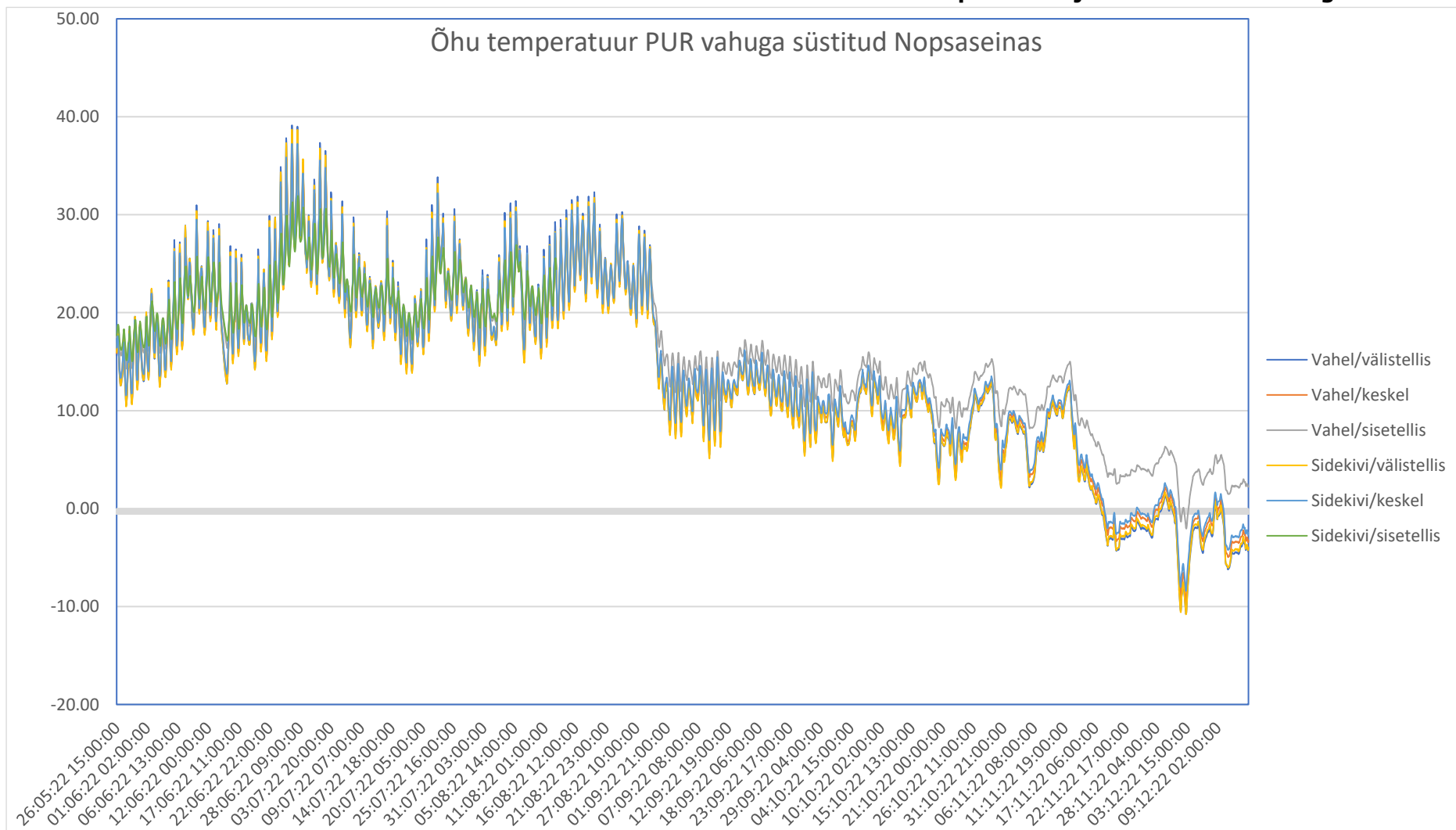
L4.5.3. Renoveerimata hoone B – energiatõhususklassi saavutamiseks võimalikud kombinatsioonid

| Välisseinte lisasoojustuse paksus | Katuslae lisasoojustuse paksus | Keldrilae lisasoojustuse paksus | Akna soojuslähivus | Õhulekkearv | H/A _{kõetav} (W/(m ² *K)) |
|---|--------------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------|---|
| Maasoojuspump ja loomulik ventilatsioon | | | | | |
| 50 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.80 |
| 100 | 150 | 50 | 0.9 | 4 | 0.80 |
| 100 | 200 | 100 | 0.9 | 5.37 | 0.80 |
| 150 | 0 | 50 | 0.9 | 4 | 0.80 |
| 150 | 0 | 100 | 0.9 | 5.37 | 0.80 |
| 200 | 300 | 50 | 1.1 | 4 | 0.80 |
| 200 | 300 | 100 | 1.1 | 5.37 | 0.80 |
| 250 | 150 | 50 | 1.1 | 4 | 0.80 |
| 250 | 150 | 100 | 1.1 | 5.37 | 0.80 |
| 300 | 50 | 50 | 1.1 | 4 | 0.80 |
| Maasoojuspump ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 2.3 | 4 | 1.31 |
| 0 | 50 | 0 | 2.3 | 4 | 1.30 |
| 0 | 200 | 0 | 2.3 | 5.37 | 1.33 |
| 0 | 250 | 0 | 2.3 | 5.37 | 1.32 |

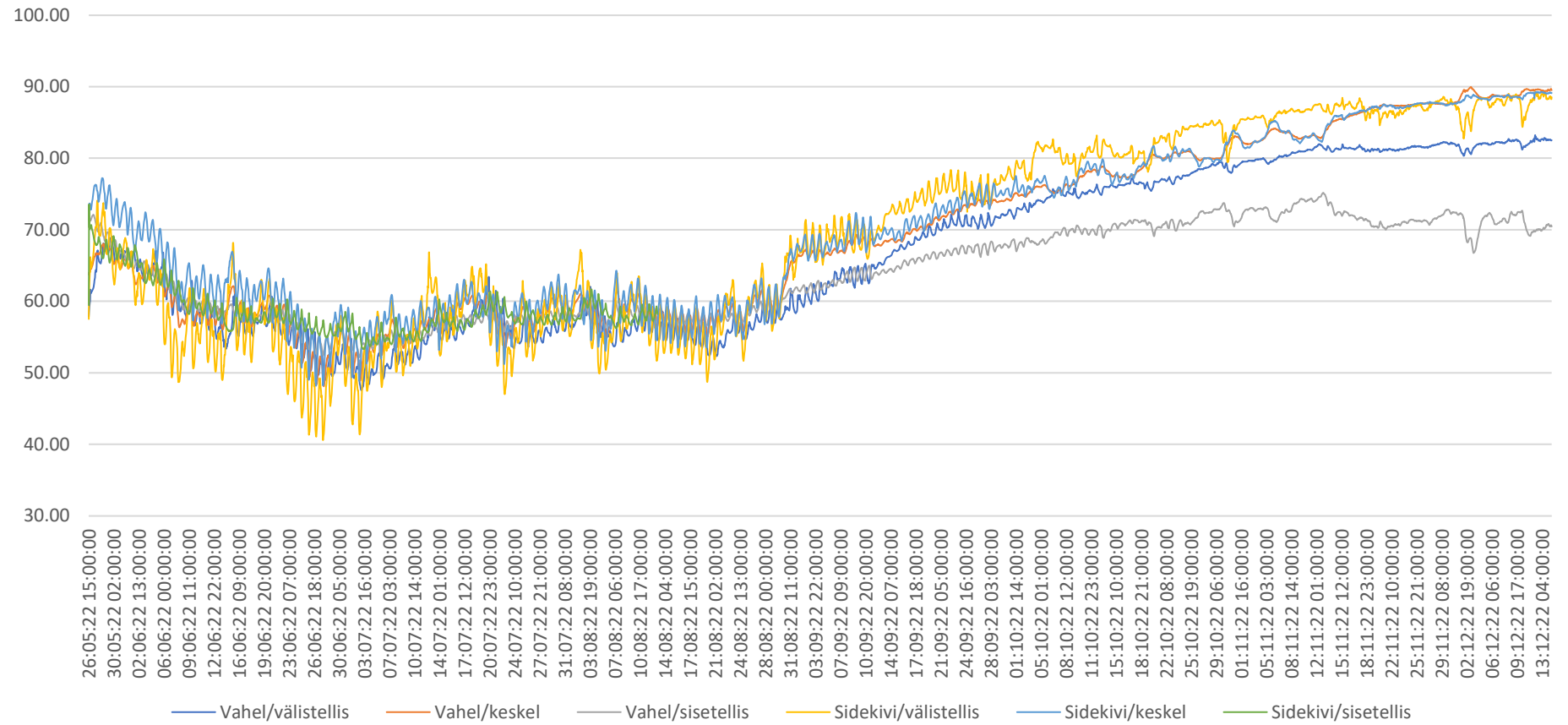
| | | | | | |
|--|-----|-----|-----|------|------|
| 0 | 300 | 0 | 2.3 | 5.37 | 1.32 |
| 100 | 200 | 0 | 2.3 | 5.37 | 1.20 |
| 150 | 0 | 0 | 2.3 | 5.37 | 1.20 |
| Õhk-vesi soojuspump ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 250 | 150 | 100 | 0.9 | 4 | 0.69 |
| 250 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.68 |
| 250 | 250 | 100 | 0.9 | 4 | 0.68 |
| 250 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.68 |
| 300 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.68 |
| 300 | 150 | 100 | 0.9 | 4 | 0.68 |
| 300 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 300 | 250 | 100 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 300 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| Tõhus kaugküte ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 0 | 200 | 50 | 0.9 | 4 | 0.92 |
| 0 | 250 | 50 | 0.9 | 4 | 0.92 |
| 0 | 250 | 100 | 0.9 | 5.37 | 0.92 |
| 0 | 300 | 50 | 0.9 | 4 | 0.91 |
| 0 | 300 | 100 | 0.9 | 5.37 | 0.91 |
| 50 | 0 | 50 | 0.9 | 5.37 | 0.92 |
| 50 | 100 | 50 | 1.1 | 4 | 0.91 |
| 50 | 100 | 100 | 1.1 | 5.37 | 0.92 |
| 100 | 100 | 0 | 0.9 | 4 | 0.92 |
| 100 | 100 | 50 | 1.1 | 5.37 | 0.91 |
| 150 | 200 | 0 | 0.9 | 5.37 | 0.92 |
| 150 | 250 | 0 | 0.9 | 5.37 | 0.92 |
| 150 | 300 | 0 | 0.9 | 5.37 | 0.91 |
| 200 | 50 | 0 | 0.9 | 5.37 | 0.92 |
| 200 | 100 | 0 | 0.9 | 5.37 | 0.91 |
| 200 | 200 | 0 | 1.1 | 4 | 0.92 |
| 200 | 250 | 0 | 1.1 | 4 | 0.91 |
| 250 | 0 | 0 | 0.9 | 5.37 | 0.92 |
| 250 | 100 | 0 | 1.1 | 4 | 0.91 |
| 300 | 250 | 100 | 2.3 | 4 | 0.92 |
| 300 | 300 | 100 | 2.3 | 4 | 0.92 |
| Puidukatel ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 250 | 150 | 100 | 0.9 | 4 | 0.69 |
| 250 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.68 |
| 250 | 250 | 100 | 0.9 | 4 | 0.68 |
| 250 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.68 |
| 300 | 100 | 100 | 0.9 | 4 | 0.68 |

| | | | | | |
|---|-----|-----|-----|------|------|
| 300 | 150 | 100 | 0.9 | 4 | 0.68 |
| 300 | 200 | 100 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 300 | 250 | 100 | 0.9 | 4 | 0.67 |
| 300 | 300 | 100 | 0.9 | 4 | 0.66 |
| Pelletikatel ja mehaaniline ventilatsioon soojustagastusega | | | | | |
| 50 | 250 | 50 | 0.9 | 4 | 0.84 |
| 50 | 250 | 100 | 0.9 | 5.37 | 0.84 |
| 50 | 300 | 50 | 0.9 | 4 | 0.83 |
| 50 | 300 | 100 | 0.9 | 5.37 | 0.83 |
| 100 | 50 | 100 | 1.1 | 4 | 0.83 |
| 100 | 200 | 50 | 0.9 | 5.37 | 0.84 |
| 100 | 250 | 50 | 0.9 | 5.37 | 0.84 |
| 100 | 300 | 50 | 0.9 | 5.37 | 0.83 |
| 150 | 50 | 50 | 0.9 | 5.37 | 0.83 |
| 150 | 100 | 50 | 1.1 | 4 | 0.84 |
| 150 | 150 | 50 | 1.1 | 4 | 0.83 |
| 150 | 150 | 100 | 1.1 | 5.37 | 0.83 |
| 200 | 0 | 50 | 1.1 | 4 | 0.84 |
| 200 | 0 | 100 | 1.1 | 5.37 | 0.84 |
| 250 | 200 | 0 | 0.9 | 4 | 0.84 |
| 250 | 200 | 50 | 1.1 | 5.37 | 0.84 |
| 250 | 250 | 0 | 0.9 | 4 | 0.83 |
| 250 | 250 | 50 | 1.1 | 5.37 | 0.83 |
| 250 | 300 | 0 | 0.9 | 4 | 0.83 |
| 300 | 100 | 0 | 0.9 | 4 | 0.84 |
| 300 | 100 | 50 | 1.1 | 5.37 | 0.84 |
| 300 | 150 | 0 | 0.9 | 4 | 0.83 |

Lisa 5 Tartu 34 temperatuuri ja suhtelise niiskuse graafikud



Suhtelise niiskise tase PUR vahuga süstitud Nopsaseinas



GRAAFILINE OSA