



**TALLINNA
TEHNIKA KÕRGKOO**

Anni Palanen

Liisa Pedassaar

**ENERGIATÕHUSUSE
PARANDAMISE VÕIMALUSED
VÕRU LINNA
MILJÖÖVÄÄRTUSLIKE
HOONETE NÄITEL**

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2023

Anni Palanen

Liisa Pedassaar

**ENERGIATÕHUSUSE
PARANDAMISE VÕIMALUSED
VÕRU LINNA
MILJÖÖVÄÄRTUSLIKE HOONETE
NÄITEL**

LÕPUTÖÖ

Ehitusinstituut

Hoonete ehituse õppekava

Juhendaja: Anti Hamburg

Tallinn 2023

Meie

Anni Palanen ja Liisa Pedassaar,

tõendame, et lõputöö on meie kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autoritele ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja (nimi, /allkirjastatud digitaalselt/) Anti Hamburg

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina,

Anni Palanen

(*autori nimi*)

sünnikuupäev: 28.11.1987

Mina,

Liisa Pedassaar

(*autori nimi*)

sünnikuupäev: 30.03.1980

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Energiaühenduse parandamise võimalused Võru linna miljööväärtslike hoonete näitel

(*lõputöö pealkiri*)

1. reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
3. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas,

/allkirjastatud digitaalselt/

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõpetaja: **Anni Palanen, Liisa Pedassaar**
Õppertühm: KHE2019
Eriala: Hoonete ehitus (1827)
Lõputöö teema: **Energiatõhususe parandamise võimalused Võru linna miljööväärtuslike hoonete näitel**

Lähteandmed töö koostamiseks:

Lõputöö koostatakse teadusarendusprogrammi LIFE IP BuildEST Võru renoveerimise õpilabori raames.

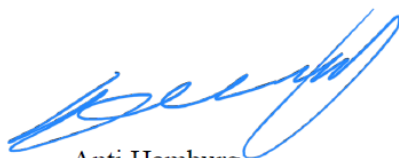
Lõputöö eesmärk on uurida muinsuskaitse erinõuetega eramute ja väiksemate kortermajade energiatõhususe parandamise võimalusi. Seejuures uuritakse, kas ja kuidas on võimalik saavutada soojuskadude vähenemine vähemalt 60% ja vähemalt C energiatõhususklassi saavutamine.

Töö sisu, ülesehitus ja lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- tutvuda uuritavate hoonete ja nende omanikega, et välja selgitada hoonete ehituslik seisukord ning konstruktiivne lahendus ja hinnata hoonete energiakasutust;
- teha kindlaks hoonete püsimise ja sisekliima seisukohast hädavajalikud tööd;
- selgitada välja hoonetele kehtivad muinsuskaitse nõuded ja piirangud;
- eelnevat arvesse võttes töötada välja sobivad tervikliku rekonstrueerimise lahendused igale hoonetele;
- hinnata väljatöötatud lahendustega tervikliku rekonstrueerimise mõju hoonete soojuskao vähenemisele ja energiakasutusele;
- teha järeldused energiatõhususe parandamise võimalustest ja takistustest miljööväärtuslikes hoonetes.

Seletuskirja ning graafilise materjali sisu ja maht: 100-120 lk

Lõputöö juhendaja:



Anti Hamburg

22.02.2023

Lõpetaja:



Liisa Pedassaar

22.02.2023

Anni Palanen



22.02.2023

Kinnitaja:

Aivars Alt
ehitusinstituudi direktor



22.02.2023

Lõputöö ülesanne antud: 27.10.2022

Lõputöö esitamise tähtaeg: 02.05.2023

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	8
1 UURIMISTÖÖ TEOREETILINE TAUST JA METOODIKA.....	10
1.1 Energiatõhususe mõisted ja komponendid	10
1.1.1 Hoone netoenergiavajadus	11
1.1.2 Tarnitud energia	14
1.1.3 Lokaalne taastuvenergia	15
1.2 Valdkonda reguleerivad õigusaktid, juhendid ja standardid	15
1.3 Uurimistöö metoodika	17
2 ÜLEVAADE UURITAVATEST HOONETEST	21
2.1 Uurimisobjektide tutvustus.....	21
2.1.1 F. R. Kreutzwaldi 25a	22
2.1.2 Karja 23a	25
2.1.3 Karja 6	29
2.1.4 Katariina allee 4b	31
2.1.5 Katariina allee 9	34
2.1.6 Liiva 19	37
2.1.7 Liiva 26	39
2.1.8 Liiva 9	40
2.1.9 Mäe 4.....	43
2.1.10 Roosi 35.....	45
2.1.11 Roosi 43.....	46
2.2 Hoonete ehitustehniline seisukord ja hädavajalikud tööd	48
2.3 Hoonete valimi täpsustamine.....	59
2.4 Hoonete mõõdetud energiakasutus	60
2.5 Hoonete arvutuslik energiakasutus	63
2.5.1 Soojuskaod läbi piirdetarindite.....	64
2.5.1.1 Põrand pinnasel	66
2.5.1.2 Keldri lagi	67
2.5.1.3 Välissein.....	69
2.5.1.4 Pööningu vahelagi.....	71
2.5.1.5 Avatäited	73
2.5.1.6 Välispiirde summaarne soojuserikadu	73

2.5.2	Hoonete standardkasutus ja tehnosüsteemidest tulenev energiakasutus	75
3	HOONETE ENERGIATÕHUSUSE PARANDAMISE VÕIMALUSED	81
3.1	Rekonstrueerimispakett 1	81
3.1.1	Rekonstrueerimispakett 1 - F. R. Kreutzwaldi 25a	82
3.1.2	Rekonstrueerimispakett 1 - Karja 23a	84
3.1.3	Rekonstrueerimispakett 1 - Katariina allee 4b	85
3.1.4	Rekonstrueerimispakett 1 - Liiva 19	87
3.1.5	Rekonstrueerimispakett 1 - Liiva 26	88
3.1.6	Rekonstrueerimispakett 1 - Mäe 4	89
3.1.7	Kokkuvõte rekonstrueerimispaketiga 1 saavutatavast soojuskadude vähenemisest	90
3.1.8	Ülevaade rekonstrueerimispaketi 1 tehnosüsteemide lahendustest.....	93
3.2	Rekonstrueerimispakett 2	93
3.3	Rekonstrueerimispakettidega saavutatav rahaline sääst	100
3.4	Etapiline rekonstrueerimine	102
3.5	Järeldused ja ettepanekud	103
	KOKKUVÕTE.....	106
	SUMMARY	108
	VIIDATUD ALLIKAD.....	110
	LISAD	114
	Lisa 1. Kreutzwaldi 25a energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused algolukorras	115
	Lisa 2. Kreutzwaldi 25a energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused pärast rekonstrueerimist..	116
	Lisa 3. Karja 23a energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused algolukorras	117
	Lisa 4. Karja 23a energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused pärast rekonstrueerimist.....	118
	Lisa 5. Katariina allee 4b energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused algolukorras	119
	Lisa 6. Katariina allee 4b energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused pärast rekonstrueerimist	120
	Lisa 7. Liiva 19 energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused algolukorras	121
	Lisa 8. Liiva 19 energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused pärast rekonstrueerimist	122
	Lisa 9. Liiva 26 energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused algolukorras	123
	Lisa 10. Liiva 26 energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused pärast rekonstrueerimist.....	124
	Lisa 11. Mäe 4 energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused algolukorras.....	125
	Lisa 12. Mäe 4 energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused pärast rekonstrueerimist	126

SISSEJUHATUS

Selle ajastu üheks suurimaks väljakutseks on inimtegevusest põhjustatud kliimamuutuste ja keskkonnaprobleemidega tegelemine. Ekstreemsete ilmastikunähtuste sagenemine ning õhu, vee ja mullastiku saastumine on saanud tõsiseks ohuks ökosüsteemidele, inimeste tervisele ning jätkusuutlikkusele laiemalt. Olukorra parandamiseks Euroopas esitleti 2019. aasta detsembris Euroopa rohelist kokkulepet [1], millega võeti vastu otsus hakata järk-järgult rakendama uut, jätkusuutlikkust ja inimeste heaolu keskmeks seadvat majanduskasvu strateegiat. Kokkuleppe üheks missiooniks paljudest on kasvuhoonegaaside netoheite viimine nulli ehk kliimaneutraalsuse saavutamine Euroopas 2050. aastaks. [1]

Kliimaneutraalsuse saavutamise üheks meetmeks teiste seas on hoonefondi süsinikdioksiidi heite vähendamine olemasoleva hoonefondi kulutõhusa rekonstrueerimise kaudu. Eestis on vastav tegevuskava ja meetmed kirjeldatud hoonete rekonstrueerimise pikaajalises strateegias [2]. Strateegias esitatud statistika kohaselt moodustavad kodumajapidamised 40% kogu energia lõpptarbimisest. Ülejäänud 60% jaguneb transpordi, tööstuse, äri- ja avalike teenuste sektorite vahel. Ligikaudu 85% eluhoonete tarbimisest on soojusenergia ja 15% elektrienergia. [2, p. 13] Arvestades, et hoonete tervikliku rekonstrueerimisega on soojusenergia tarbimist võimalik vähendada keskmiselt ligikaudu 50%, siis on elamute rekonstrueerimisel potentsiaalselt suur mõju Eesti kogu energiatarbimisele. Samal ajal on tähtis, et rakendatavad energiatõhususe meetmed hõlmaks ka hoonete tehnosüsteeme ja tagaks tervisliku sisekliima.

Eesti hoonete rekonstrueerimise pikaajalise strateegia eesmärk on aastaks 2050 kulutõhusalt rekonstrueerida olemasolevad hooned liginullenergiahooneteks, mille energiatõhususe tase vastab vähemalt energiamärgise klassile C [2, p. 11]. Siinkohal on aga väljakutseks eramud, väikesed kortermajad ja miljööväärtuslike piirkondade hooned, mida on seni vähem uuritud [3]. Käesoleva lõputöö eesmärk ongi uurida just muinsuskaitse erinõuetega eramute ja väiksemate kortermajade energiatõhususe parandamise võimalusi. Seejuures uuritakse, kas ja kuidas on võimalik saavutada soojusenergia kulude vähenemine vähemalt 60% ja vähemalt C energiatõhususklassi saavutamine.

See ambitsioonikas uurimiseesmärk püstitati teadusarendusprogrammi LIFE IP BuildEST Võru renoveerimise õpilabori „Võru kogukonnahüpe“ raames, mille töögruppi lõputöö autorid alates 2022. aasta oktoobrist kaasati. „LIFE IP BuildEST ehk renoveerimismaraton on projekt, mille käigus otsitakse parimaid lahendusi, et hoogustada ja ellu viia Eesti hoonete rekonstrueerimise pikaajalise strateegia eesmärged kodude energiakulude vähendamiseks ja hoonete kliimakindluse

parandamiseks“ [3]. Nimetatud projekti raames korraldas Võru Linnavalitsus 2022. aasta suvel konkursi, millega kutsus üles Võru vanalinna muinsuskaitsealal või selle kaitsevööndis paiknevate eramute ja väiksemate korterelamute omanikke osa võtma Võru linna ajalooliste hoonete pilootrenoveerimise projektist. Projektiga toetatakse miljööväärtuslike hoonete terviklikku rekonstrueerimist 2026. aastaks, pakkudes hoonete omanikele kogu protsessi vältel tasuta nõustamist ja juhendamist aitamaks leida sobivaimad tehnilised rekonstrueerimislahendused ja rahastamisvõimalused. [4] Hooned, mis konkursiga välja valiti ja mille omanikud on valmis rekonstrueerimisega lõpuni minema, on käesoleva lõputöö uurimisobjektideks.

Lõputöö eesmärgini jõudmiseks on püstitatud järgmised ülesanded:

- tutvuda uuritavate hoonete ja nende omanikega, et välja selgitada hoonete ehituslik seisukord ning konstruktiivne lahendus ja hinnata hoonete energiakasutust;
- teha kindlaks hoonete püsimise ja sisekliima seisukohast hädavajalikud tööd;
- selgitada välja hoonetele kehtivad muinsuskaitsealised nõuded ja piirangud;
- eelnevat arvesse võttes töötada välja sobivad tervikliku rekonstrueerimise lahendused igale hoonele;
- hinnata väljatöötatud lahendustega tervikliku rekonstrueerimise mõju hoonete soojuskaotuse vähenemisele ja energiakasutusele;
- teha järeldused energiatõhususe parandamise võimalustest ja takistustest miljööväärtuslikes hoonetes.

Lõputöö eesmärgi saavutamiseks kasutatakse mitmesuguseid andmekogumismeetodeid: paikvaatlused, mõõtmised, ankeetküsitlused ja intervjuud. Kogutud andmete põhjal tehakse vajalikud energiatõhususe arvutused ja analüüsid, lähtudes valdkonda reguleerivatest õigusaktidest ja standarditest ning tuginedes varasemalt koostatud SA KredEx tellimusel Tallinna Tehnikaülikooli ning Eesti Kütte ja Ventilatsiooni ühenduse poolt koostatud asjakohastele uuringutele ja juhendmaterjalidele. Uurimistöö tulemused ja järeldused esitatakse tekstiliselt, mida täiendatakse tabelite ja illustratsioonidega.

Lõputöö koostamisel tehti koostööd järgmiste LIFE IP BuildEST projekti partneritega: Tallinna Tehnikaülikool (Targo Kalamees, Murel Truu, Anti Hamburg, Siim Lomp, Mark Vaino), Eesti Kunstiakadeemia (Andres Ojari, Maris Mändel, Helena Rummo, Elina Liiva, Aljona Gineiko), Võru Linnavalitsus (Tiina Hallimäe, Diana Vene, Polina Voitiks), MTÜ Tartu Regiooni Energiaagentuur (Martin Kikas, Annika Urbas, Ain Konsap), Muinsuskaitseamet (Reesi Sild, Tiina Pettai), Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium (Anni Martin, Lauri Suu).

1 UURIMISTÖÖ TEOREETILINE TAUST JA METOODIKA

Euroopa roheline kokkulepega on püstitatud ambitsioonikas eesmärk vähendada kasvuhoonegaaside netoheidet niivõrd, et aastaks 2050 saavutatakse kliimaneutraalsus kogu Euroopas. Selle eesmärgi saavutamiseks peab oma panuse andma iga Euroopa Liidu liikmesriik ja nii ka Eesti. Tulenevalt asjaolust, et peaaegu pool Eestis kasutatavast energiast kulub hoonetele, on hoonete energiasäästlikumaks muutmine koos fossiilsetel kütustel põhinevate energialahenduste asendamisega taastuenergia põhinevate lahenduste vastu olulise mõjuga Eesti süsiniku jalajälje vähendamisel.

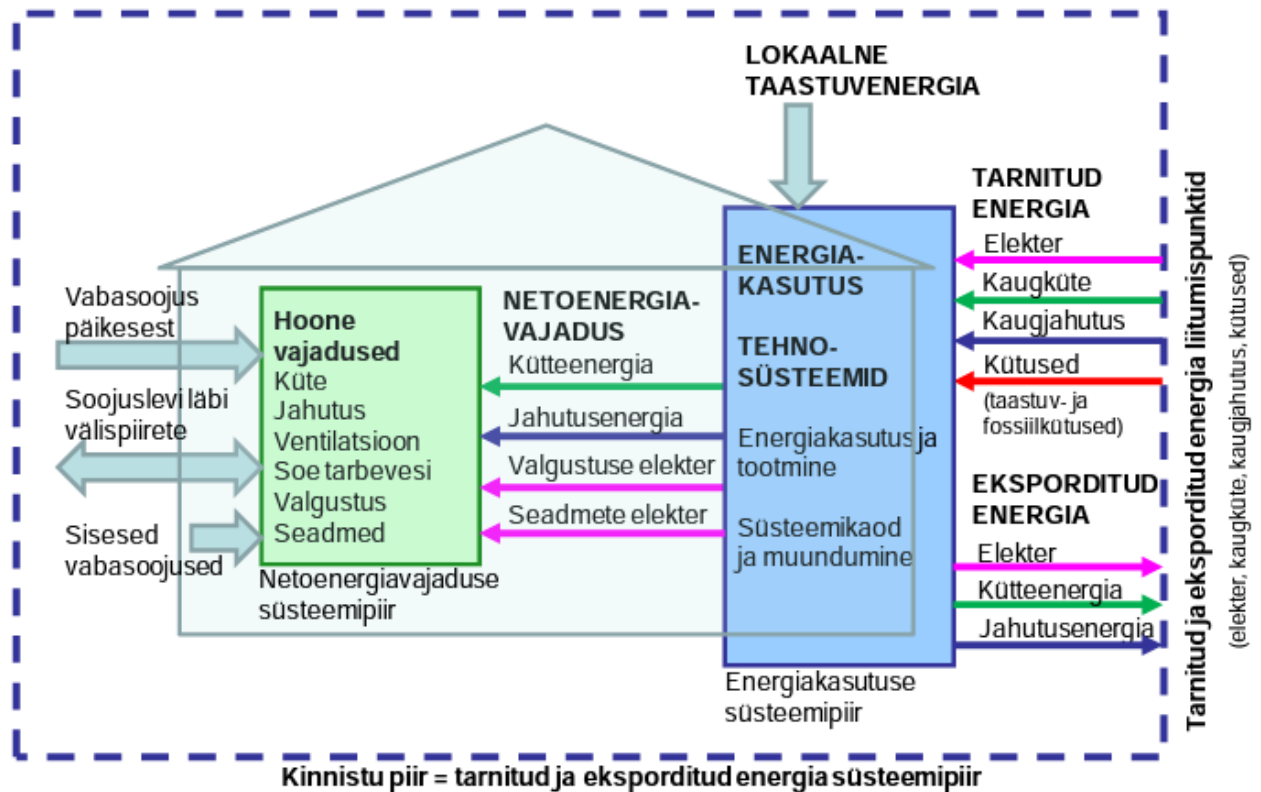
Statistikaameti andmetel on Eestis 2021. aasta lõpu seisuga 202 225 [5] enne 2001. aastat ehitatud eluhoonet, mida võib pidada energiatõhususe mõistes kaasajastamist vajavateks. Muinsuskaitsealuste ja miljöövääruslike hoonete osakaal nendest pole täpselt teada, kuna puudub sellekohane keskne register ja statistika. On teada, et ehitismälestisi, mis paiknevad 12 muinsuskaitsealal üle Eesti, on arvuliselt 5265 [6], nende seas avalikud hooned ja mitteeluhooned. Muinsuskaitsealade juurde kuuluvad ka kaitsevööndid, kus paiknevatele hoonetele kehtivad samuti muinsuskaitsele nõuded ja piirangud. Kuna muinsuskaitse piirangutega hooned on ehitatud üldjuhul enne 1991. aastat, vajavad need ehitusliku seisukorra ja energiakasutusliku poole pealt kindlasti kaasajastamist. Kuigi muinsuskaitse piirangutega hooned moodustavad kogu Eesti hoonefondist vaid väikese osa, on oluline ka sellistele hoonetele leida võimalusi energiatõhususe parandamiseks. Seda lisaks riiklike kliimaeesmärkide huvidele ka majapidamiste endi energiakulude vähendamise ja sisekliima parandamise eesmärgil.

Selles peatükis selgitatakse energiatõhususe mõisteid ja komponente, antakse ülevaade valdkonda reguleerivatest õigusaktidest, juhenditest ja standarditest ning selgitatakse lõputöö läbiviimise protsessi ja kasutatavaid uurimismeetodeid. Peatükiga püütakse selgitada hoonete energiatõhususe parandamise tähtsust ja valmistada lugejat ette lõputöö järgmistes peatükkides esitatava informatsiooni paremaks mõistmiseks.

1.1 Energiatõhususe mõisted ja komponendid

Hoone energiatõhusust väljendatakse energiatõhususarvuga (ETA). See kajastab hoone terviklikku energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks. Energiatõhususarv arvutatakse hoone köetava pinna ruutmeetri kohta hoone tüüpilisel kasutamisel. Hoone tüüpiline ehk standardkasutus oleneb hoone kasutusotstarbest,

välis- ja sisekliimast, hoone ja tehnosüsteemide kasutusajast ning vabasoojusest. [7] Hoone energiatõhususarvu leidmiseks koostatakse energiabilanss, millega tehakse kindlaks hoone summaarne energiakasutus ning selle energia katmiseks tarnitava energia komponendid ja kogus [8, p. 18]. „Summaarse energiakasutuse alusel määratakse tarnitud ja eksporditud energiakasutused ning hoone energiatõhususarv“ [7]. Energiatõhususe mõisted ja komponendid on skemaatiliselt näidatud Joonisel 1.



Joonis 1. Energiatõhususe mõisted ja komponendid [9, p. 8], [10]

Energiatõhususarv ETA arvutatakse primaarenergia jagamisel hoone köetava pinnaga vastavalt valemile (1) [9, p. 8]:

$$ETA = \frac{\sum_i \text{tarnitud energia} \times \text{kaalumistegur} - \sum_i \text{eksporditud energia} \times \text{kaalumistegur}}{\text{köetav pindala}} \quad (1)$$

1.1.1 Hoone netoenergiavajadus

Hoone netoenergiavajadus on soojus- ja elektrienergia, mida vajatakse hoone sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks ning valgustuse ja seadmete kasutamiseks. Seejuures ei arvestata süsteemist tulenevaid energiakadusid ega energia muundamist. [10] Hoone netoenergiavajadus kaetakse tarnitud

energiast, lokaalsest taastuvenergiast, päikesest saadavast vabasoojusest ning vähesel määral ka hoones olevatest inimestest ja kasutusel olevatest seadmetest eralduva soojusega. Netoenergiavajadus jaguneb järgmiste hoone vajaduste vahel [10]:

- ruumide küte;
- ruumide jahutus;
- ventilatsiooniõhu soojendamine;
- ventilatsiooniõhu jahutamine;
- tarbevee soojendamine;
- valgustus;
- seadmete kasutamine.

Eesti kliimas on eluhoonete suurimaks energiakulu kohaks ruumide kütmine. Eluruumides tuntakse end soojuslikult mugavalt temperatuuri vahemikus 21...25 °C [11, p. 40], mis tähendab, et suuremal osal aastast on välistemperatuur madalam kui sisetemperatuur ning soojuslikult mugava ruumitemperatuuri tagamiseks tuleb ruume kütta. Eluruumide jahutamise vajadus on samadel põhjustel märksa väiksem. Välis- ja sisekeskkonna temperatuuri ning vastavaid kestusi iseloomustatakse kraadpäevade ja kraadtundide arvuga, mis varieeruvad üle Eesti [12, p. 161]. Ruumitemperatuuri langemise ja seega kütmise vajaduse peamine põhjus on hoone piirdetarindite kaudu tekkivad soojuskaod. Piirdetarindite soojuskaod sõltuvad hoone geomeetriast ning piirdetarindite sooja- ja õhupidavusest [9, p. 14].

Hoone geomeetria puhul mõjutavad soojuskadusid ja liigsoojuse tekkimist hoone mahuline lahendus ehk kompaktsus ja hoone orientatsioon ilmakaarte suhtes [9, p. 9]. Mida rohkem on hoonel välispiirdeid võrreldes köetavate ruumide põranda pinnaga, seda ebakompaktsem see hoone on ning seda suurem on soojuskadu läbi piirdetarindite [13, p. 26]. See tähendab seda, et näiteks mitmekorruseline hoone on kompaktsuse poolest tõhusam kui ühekorruseline hoone ning arhitektuurselt sopiline (liigendatud) hoone on ebatõhusam kui lihtsa nelinurkse plaanilahendusega hoone. Suur akende osakaal välisseinast põhjustab talvisel ajal suuri soojuskadusid, suvisel ajal aga ruumide ülekuumenemist ja seega hoopiski jahutusvajadust. Kui uue hoone projekteerimisel saab hoone geomeetriat planeerida, siis vanema hoone rekonstrueerimisel selle olemasolevat arhitektuurilist ja mahulist lahendust väga muuta ei saa ning hoone ebakompaktsusest tulenev suurem soojuskadu ja/või jahutusvajadus on paratamatud.

Piirdetarindite (põrandate, seinte, akende, uste, pööningu vahelagede ja katuslagede) soojapidavusel on määravaks piirdetarindite soojusläbivus, mis sõltub tarindite konstruktsioonist, kasutatud

ehitusmaterjalide omadustest, nende materjalide paksusest ja ka ehitustööde kvaliteedist. Lisaks mõjutavad piirdetarindite soojapidavust ka piirdetarindite liitekohad ehk külmasillad, mille soojuslähivus on tarindi muudest osadest märksa suurem ja võib põhjustada ka niiskustehnilisi probleeme tarindi sees [13, p. 34]. Osa külmasildadest on paratamatud (näiteks välisseina välisnurk või akna ja välisseina liitekoht), ent osa tuleneb ehituskonstruktivistest lahendustest (näiteks lähiviigud soojustusest) ja on seega kontrollitavad. Külmasildadest tulenevat soojuskadu on võimalik vähendada läbimõeldud ehitustehniliste lahendustega, kus peamine põhimõte on vältida piirdetarindite soojustuse katkemist.

Piirdetarindite õhupidavusel on määravaks tarindi õhulekkekindlus, mille saavutamine nõuab sobilike materjalide kasutamist, õigeid töövõtteid ja hoolikat järelevalvet tööde kvaliteedi üle. Õhupidavuse tagamine on vältimatult oluline tarindite niiskusturvalisuse (niiskuskahjustused piirete sees) ning hoone kasutajate enesetunde (tuuletõmbus, lõhnad) ja tervise (radoon, hallituse eosed) seisukohast [9, p. 18]. Hoone õhupidavust väljendatakse infiltratsiooni õhulekkearvuga, mis näitab õhuvooluhulka, mis läbib ühe ruutmeetri suuruse pindalaga piiret, kui kahel pool piiret on teatud õhurõhkude erinevus, tavaliselt 50 paskalit [9, p. 18]. Hoone õhupidavuse hindamiseks on häid suuniseid antud SA KredEx tellimisel koostatud korterelamute energiaauditite koostamise juhendis [8, p. 16].

Hoone geometriast ning piirdetarindite sooja- ja õhupidavusest tulenev summaarne soojuskadu väljendab ühtlasi hoone kütteenergiavajadust, mis moodustab märkimisväärse osa kogu hoone energiavajadusest. Hoone energiatõhususe taseme ehk energiaklassi määramisel võetakse arvesse ka küttesüsteemi enda kasutegurit, mis sõltub soojusallika ning soojuse jaotamise väljastamise kasuteguritest [10]. Mida suurema kasuteguriga küttesüsteemi kasutatakse, seda keskkonnasäästlikuma lahendusega on tegemist. Seega muudab hoone energiatõhusamaks juba üksnes see, kui vana madalama kasuteguriga küttesüsteem välja vahetada uue ja parema kasuteguriga küttesüsteemi vastu. Muutes veel lisaks piirdetarindid sooja- ja õhupidavamaks, väheneb kütteenergia vajadus veelgi ning tekib täiendav sääst nii keskkonnaressursside kasutamise kui rahalise kulu vähenemise pealt. Hoonete rekonstrueerimisel on just sooja- ja õhupidavuse parandamise ning küttesüsteemi kaasajastamisega võimalik väga palju ära teha – need komponendid mõjutavad hoone energiatõhusust kõige enam.

Hoone välispiirete õhutihedamaks muutmine takistab siseruumide õhuvahetust ja niiskustehnilisi omadusi, mistõttu eeldab välispiirete sooja- ja õhupidavamaks muutmine alati ka täiendavate ventilatsioonilahenduste kasutamist. Vanemates hoonetes mehaaniline ventilatsioon tavaliselt

puudub. Ruumides toimub loomulik õhuvahetus korstnate, piirdetarindite ebatiheduste ja avatud akende kaudu. Hoone piirdetarindite sooja- ja õhupidavamaks muutmisel suurem osa senistest ruumiõhu ventileerimise võimalustest kaotatakse. Paigaldada tuleb kas värskeõhuklapid või mehaaniline ventilatsioon. Kõige energiatõhusamaks lahenduseks on soojustagastusega ventilatsioonisüsteem. Soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi puhul kasutatakse sisse tõmmatava värske õhu soojendamiseks osaliselt välja puhutava ruumiõhu soojust ja osaliselt elektrienergiat. Seega elektrienergia kulu võrreldes varasemaga mõnevõrra kasvab, kuid see-eest ruumide kütteenergiat ventilatsiooniõhu soojendamiseks kulub vähem. Elektrienergia suurenemist on aga võimalik kompenseerida lokaalsete taastuvenergialahendustega.

Hoone netoenergiavajadust mõjutavad ka majapidamises kasutatav soe tarbevesi, valgustus ja seadmed (kodumasinad, elektroonika). Sooja tarbevee kütteenergia vajadus sõltub sooja vee tarbimisest ning jahtumiskadudest torustiku kaudu. Tüüpiline sooja vee erikulu ja netoenergiavajadus määratakse hoone kasutusotstarbe järgi ning energiaarvutustes võetakse arvesse ka vee soojendamiseks kasutatava soojusallika kasutegurit või soojustegurit [9, p. 11, 10]. Hoone valgustuse ja seadmete tüüpiline kasutus määratakse samuti hoone kasutusotstarbe järgi, mille alusel määratakse nende soojuseraldus ning elektritarbimine [10]. Hoone kasutusotstarbed ning nendele vastavad soojuseralduse ja netoenergiavajaduse väärtused on toodud määruses nr 58 „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika”¹⁴.

1.1.2 Tarnitud energia

Hoone netoenergiavajaduse katmiseks vajaminev soojus- ja elektrienergia saadakse tarnitavast energiast ja kui see võimalus on loodud, siis ka lokaalsest taastuvenergiast. Igal tarnitava energia liigil on olenevalt selle energiakandjast oma kaalumistegur, mida hoone energiatõhususarvu arvutamisel arvesse võetakse. Määruse nr 63 „Energiatõhususe miinimumnõuded”¹⁴ § 9 lg 1 järgi on energiakandjate kaalumistegurid järgmised [7]:

- taastuvtootmisel põhinev kütus, puit ja puidupõhine kütus ning muu biokütus, välja arvatud turvas ja turbabrikett – 0,65;
- kaugküte – 0,9;
- tõhus kaugküte – 0,65;
- kaugjahutus – 0,4;
- tõhus kaugjahutus – 0,2;
- vedelkütus, kütteõli ja vedelgaas – 1,0;
- maagaas – 1,0;

- tahke fossiilkütus – 1,0;
- turvas ja turbabrikett – 1,0;
- elekter – 2,0.

Kütusest saadav tarnitud energia hulk arvutatakse kütuse koguse ja kütuse kütteväärtuse korrutisena. Kütuse kütteväärtus tuleks võtta kas tarnija poolt antud alumise kütteväärtuse või määruses nr 58 „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika¹⁴“ lisas 5 sätestatud kütteväärtuse järgi. [7] Viimase kohaselt on näiteks segapuidust küttepuude alumiseks kütteväärtuseks 1300 kWh kuupmeetri kohta. Tarnitavate energiahulkade läbi korrutamisel nende energiakandjate kaalumisteguritega leitakse summaarne tarnitud energiate kaalutud erikasutus. [10]

1.1.3 Lokaalne taastuenergia

Lokaalse taastuenergia tootmisel kasutatakse peamiselt päikeseenergiat. Päikeseenergiat kasutatakse kas soojuse tootmiseks päikesekollektoritega, elektri tootmiseks päikesepaneelidega või soojuspumpade kasutamisel [9, p. 95]. Päikesekollektorid sobivad Eesti kliimas pigem sooja tarbevee valmistamiseks. Nendega on võimalik katta isegi 50...70% aastasest tarbevee soojusest. Päikesekollektorite paigaldamisele tasub mõelda eriti siis, kui hoonet köetakse ahjude või katlaga, mille kütmine põhineb tahke- või vedelkütusel. Elektril põhineva küttesüsteemi korral (erinevad soojuspumba lahendused) on sobivamaks lahenduseks päikesepaneelid. Ühest ruutmeetrist päikesepaneelist on ideaaltingimustes võimalik elektrit saada 100...150 kWh aastas. Samas võib kasutada korraga ka mõlemat lahendust. Nii päikesekollektorite kui -paneelide puhul peab arvestama, et toodetav energia ei ole ühtlane. Mõlemal juhul toimub intensiivsem energiatootmine suvisel perioodil, mil energiat jääb isegi üle. Üleliigne soojusenergia salvestatakse sellisel juhul akumulatsioonipaaki ning elektrienergia akudesse või muundatakse vahelduvvooluks ja müüakse elektrivõrku. Talvisel perioodil on päikeseenergia tootmine oluliselt väiksem või puudub täiesti, mistõttu ei saa Eesti kliimas ainuüksi lokaalsetele taastuenergialahendustele loota. [9, pp. 87-91]

1.2 Valdkonda reguleerivad õigusaktid, juhendid ja standardid

Selleks, et uued ja oluliselt rekonstrueeritavad hooned oleksid varasemast energiatõhusamad ja tervisesõbralikuma sisekliimaga, on kehtestatud energiatõhususe miinimumnõuded. Vastavalt Ettevõtlus- ja infotehnoloogiaministri määrusele nr 63 „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded¹⁴“ väljendatakse hoone energiatõhususe nõuded energiatõhususarvuna ning hoone tehnosüsteemi, tarindi ja ruumitemperatuuri nõuetena [7]. Sama määruse lisa 2 sätestab oluliselt rekonstrueeritavate

hoonete energiatõhususarvude piirväärtused, mis on ühtlasi energiamärgise klassi C alumisteks piirväärtusteks [7, 14]:

- väikeelamul köetava pinnaga alla 120 m² 185 kWh/(m²·a);
- väikeelamul köetava pinnaga 120...220 m² 160 kWh/(m²·a);
- ridaelamul 160 kWh/(m²·a);
- korterelamul 150 kWh/(m²·a).

Ehitusseadustiku § 62 lg 2 p 3 järgi ei kohaldata energiatõhususe miinimumnõudeid aga ehitusmālestistele ja miljōvāārtuslikele hoonetele, mille olemust vōi vālisilmet energiatõhususe miinimumnōuete tāitmine oluliselt muudaks [15].

Hoone energiatõhususe miinimumnōuetele vastavuse tōendamiseks kasutatavat arvutusmetoodikat ja energiamārgiste vāljaandmise korda kirjeldatakse Majandus- ja taristuministri (MTM) māäruses nr 58 „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika¹⁴“. Māäruses sātestatakse energiaarvutuse lābiviimise etapid ja ūldpōhimōtted ning antakse energiaarvutuste tegemiseks vajalikud, hoone tūūpilisel kasutusel pōhinevad vālis- ja sisekliima, hoone ja tehnosūsteemi kasutus- ja kāiduaegade, vabasoojuse ning hoone vālispiirde ōhulekke lāhteandmed. Māäruse lisades on muu hulgas ette antud ka energiaarvutuste lāhteandmete ja tulemuste esitamise vormid. [10]

Hoone energiatõhususe miinimumnōuetele vastavust tōendatakse energiamārgisega, mis pōhineb kas energiaarvutusel, mōōdetud vōi hinnatud energiakasutuse andmetel vōi vāikeelamu puhul energiatõhususe miinimumnōuetele vastavuse tōendamise lihtsustatud meetodil. Energiamārgise andmist reguleerib MTM māärus nr 36 „Nōuded energiamārgise andmisele ja energiamārgisele¹⁴“. [14]

Lisaks eelnimetatud kolmele peamisele energiatõhusust reguleerivale ōigusaktile reguleerivad valdkonda ka jārgmised Majandus- ja taristuministri māärused [16]:

- māärus nr 61 „Ehitise auditi tegemise kord“;
- māärus nr 28 „Elamu energiaauditile esitatavad nōuded“;
- māärus nr 40 „Hoone energiatõhusust oluliselt mōjutavale tehnosūsteemile esitatavad nōuded“;
- māärus nr 47 „Hoone energiatõhusust oluliselt mōjutava tehnosūsteemi energiatõhususe hindamise ja hinnangu kohta ehtisregistrisse kantavate andmete loetelu ja esitamise kord“;
- māärus nr 47 „Rahvahulkade kogunemisega seotud hooneliigid, mille puhul on nōutav energiamārgise olemasolu“.

Sihtasutuse KredEx tellimisel on energiaarvutuste tõhusamaks tegemiseks ja energiatõhusate hoonete projekteerimiseks koostatud mitmeid täiendavaid juhendeid ja näidisprojekte. Läbi on viidud ka erinevaid uuringuid eluasemefondi seisukorra välja selgitamiseks ja vanemate majade rekonstrueerimiseks vajalike tehniliste lahenduste väljatöötamiseks. Kõigi nende juhendmaterjalide ja uuringutega on võimalik tutvuda SA KredEx veebilehel. [17]

Energiatõhususega seotult on koostatud ka mitmeid Eesti ja Euroopa standardeid. Mõned teemakohased Eesti standardid on:

- EVS-EN ISO 6946:2017 – Hoonete piirdetarindid ja komponendid. Soojustakistus ja soojuslähivus. Arvutusmeetodid;
- EVS 908-1:2016 – Hoone piirdetarindi soojuslähivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire;
- EVS-EN ISO 9972:2015 – Hoonete soojuslik toimivus. Hoonepiirete õhulekke määramine. Ventilaatoriga survestamise meetod;
- EVS-EN ISO 10211:2017 – Külmasillad hoones. soojusvoolud ja pinnatemperatuurid. Detailed arvutused;
- EVS-EN ISO 13370:2008 – Hoonete soojuslik toimivus. Soojuslevi pinnasesse. Arvutusmeetodid;
- EVS-EN 16798-1:2019+NA:2019 – Hoone energiatõhusus. Hoonete ventilatsioon. Osa 1: Sisekeskkonna lähteandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust keskkonnast, valgustusest ja akustikast;
- EVS-EN ISO 10456:2008 – Ehitusmaterjalid ja -tooted. Soojus- ja niiskustehnilised omadused. Tabuleeritud arvutusväärtused ja deklareeritavate ning arvutusväärtuste määramise meetodid.

Siintoodu on vaid väike osa hoonete energiatõhusust puudutavast kirjandusest, mida on Eestis ja Euroopas välja antud üsnagi palju. Ent sellegipoolest uuritakse valdkonda veelgi kuluoptimaalsemate lahenduste leidmise nimel pidevalt edasi. Tänu põhjalikult koostatud standarditele, juhenditele ja uuringutele on energiatõhusate tervisliku sisekliimaga hoonete planeerimine ja ehitamine, seal hulgas rekonstrueerimine, järjest hõlpsam ja ühtsem.

1.3 Uurimistöö metoodika

Hoonete energiatõhusamaks muutmist on viimastel kümnenditel hoogsalt uuritud ja toetatud, kuid vähem tähelepanu on pööratud eramutele, väiksematele korterelamutele ning miljööväärtuslikele hoonetele. Võru linna hoonete renoveerimise õpilaboris just sellist tüüpi hoonetega tegeletaksegi ning

renoveerimisele seatud energiasäästueesmärk on seejuures sihilikult ambitsioonikas: „saavutada piirkonnapõhiselt hoonetes vähemalt 60% energiasääst soojusbilansis arvesse minevast energiakulust“ [18].

Selles lõputöös uuritaksegi renoveerimismaratoni LIFE IP BuildEST Võru pilootprojekti osalevate muinsuskaitsete piirangutega eramute ja väiksemate korterelamute energiatõhususe parandamise võimalusi. Tegemist on teadusarendusprogrammiga, mille sisuks on uuendada ja viia ellu Eesti hoonete rekonstrueerimise pikaajalise strateegia eesmärgid. Lõputöös püütakse leida vastuseid küsimustele:

- Kas ja kuidas on võimalik kehtivate muinsuskaitsealaste piirangutega saavutada 60% soojusenergia sääst?
- Kas ja kuidas on võimalik saavutada C energiaklass?

Lõputöö eesmärgi saavutamiseks on püstitatud järgmised ülesanded:

- tutvuda uuritavate hoonete ja nende omanikega, et välja selgitada hoonete ehituslik seisukord ning konstruktiivne lahendus ja hinnata hoonete energiakasutust;
- teha kindlaks hoonete püsimise ja sisekliima seisukohast hädavajalikud tööd;
- selgitada välja hoonetele kehtivad muinsuskaitsete nõuded ja piirangud;
- eelnevat arvesse võttes töötada välja sobivad tervikliku rekonstrueerimise lahendused igale hoonele;
- hinnata väljatöötatud lahendustega tervikliku rekonstrueerimise mõju hoonete soojuskao vähenemisele ja energiakasutusele;
- teha järeldused energiatõhususe parandamise võimalustest ja takistustest miljööväärtuslikes hoonetes.

Võru renoveerimise õpilaboriga aidatakse kaasa aastaks 2026 kaheksa ajaloolise hoone renoveerimisele ning hoonete vahelise ruumi korrastamisele Võru vanalinna muinsuskaitsealal ja selle kaitsevööndis. Selleks korraldas Võru linn 2022. aasta suvel konkursi, millega kutsuti üles Võru vanalinna muinsuskaitsealal või selle kaitsevööndis paiknevate eramute ja väiksemate korterelamute omanikke oma hooneid terviklikult renoveerima. Õpilabori raames pakuvad Tartu Regiooni Energiaagentuur, Eesti Kunstiakadeemia ja Tallinna Tehnikaülikool konkursiga väljavalitud hoonete omanikele tasuta tuge ja nõustamist alates projekteerimise lähteülesande koostamisest ehitise valmimiseni. [4], [18] Võru linn pakub omalt poolt rahalist tuge ehitusprojektide koostamiseks ning SA KredEx kaudu on võimalik saada rahalist tuge rekonstrueerimistoetuse, renoveerimislaenu ja

laenu käenduse meetmetest [19]. Lisaks on võimalik muinsuskaitseametilt [20], [21].

Lõputöö eesmärgi saavutamiseks kasutati mitmesuguseid andmekogumismeetodeid: paikvaatlused, mõõtmised, ankeetküsitlused ja intervjuud. Esmalt paluti elanikel täita ankeetküsitlus hoone sisekliima ja üldise seisukorraga rahulolu kohta ning 27. – 28. oktoobril 2022. aastal käidi õpilabori uurimisrühmaga Võrus kohapeal hooned üle vaatamas ja elanikega suhtlemas. Välitöödel tutvuti konkursi esimeses etapis välja valitud 11 hoone ja nende omanikega, mille käigus:

- kaardistati hoonete olemasolev olukord: ehituslik seisukord, puudused, probleemid;
- pildistati üles kõik hooned ja muinsuskaitse seisukohast väärtuslikud detailid;
- vaadati üle ja mõõdeti hoonete konstruktsioone ja piirdetarindeid: kandvad konstruktsioonid, aknad ja uksed, piirdetarindite materjalikihid, nende paksus ja omadused;
- paigaldati sisekliima ja õhurõhuerinevuse mõõteseadmed osadesse eluruumidesse;
- intervjueriti hoonete elanikke ja täideti küsimustikke, et koguda täiendavat infot elamistingimuste, sisekliima, ehituslike ja tehniliste probleemide ning hoone kasutuse kohta;
- elanikega suhtlemisel hinnati ka nende soovi ja valmisolekut renoveerimistöödega lõpuni minna.

Andmete kogumisega tegeles Tallinna Tehnikaülikooli, Kunstiakadeemia, Tartu Regiooni Energiaagentuuri ja Muinsuskaitseameti teaduritest ja spetsialistidest koosnev töörühm ning lõputöö autorid. Välitööd toimusid kahel päeval ja iga hoone ülevaatamiseks oli ettenähtud 1...1,5 tundi. Lõputöö autorid vaatasid välitööde käigus üle hoonete konstruktsioonid ja piirdetarindid ning viisid läbi vajalikud tarindite mõõtmised (sh võtsid akna- ja ukseavade mõõdud) mõõdulindi ja kaugusmõõturiga. Lisaks tegid nad hoonetest fotosid ja panid kirja ka teiste välitöödel osalejate tähelepanekuid. Kogu välitöödel kogutud info lisati LIFE IP BuildEST „projektipanka“ ning lõputöö autoritel võimaldati sellele vaba ligipääs oma uurimistöö läbiviimiseks.

Pärast välitöödel käimist hakkasid lõputöö autorid kogutud andmete põhjal ning erialastest standarditest, juhenditest ja määrustest juhindudes tegelema energiaarvutusteks vajalike lähteandmete kokku panemisega. Esimene eesmärk oli 2022. aasta detsembri keskpaigaks hinnata, milliste hoonete puhul on muinsuskaitse piiranguid arvestades võimalik saavutada vähemalt 60% soojusenergia kulude vähenemine. Sellest sõltus, millistele hoonetele 11-st pakutakse võimalust renoveerimise õpilaboris osalemist jätkata. Sobimatuks osutusid kolm hoonet. Nendest üks hinnati muinsuskaitse spetsialistide poolt aga eriti väärtuslikuks. Leiti, et kuigi 60% soojusenergia säästu pole selle hoone puhul muinsuskaitse piiranguid arvesse võttes võimalik kuidagi saavutada, saavad sellele hoonele välja töötatud lahendused olema suurepäraseks näidiseks teiste sarnaste hoonete

energiatõhusamaks renoveerimisel. Seetõttu otsustati selle hoone omanikele õpilaboris osalemise võimalust siiski pakkuda. Teisele kahele hoonele, mis õpilaboris jätkamise tingimustele ei vastanud, anti detsembri keskel Võrus toimunud teisel hoone omanikega kohtumisel kaasa soovitus, mida saavad nad täiendavalt oma hoone energiatõhusamaks muutmisel ära teha. Ülevaade kõikidest 11-st konkursiga algselt väljavalitud hoonest on antud lõputöö peatükis 2.1 ning nende hoonete ehitustehnilist seisukorda koos hädavajalike töödega on kirjeldatud lõputöö peatükis 2.2.

Kaheksa hoone omanikult, kes kutsuti detsembri keskel õpilaboris osalemisega jätkama ja renoveerimisega lõpuni minema, jäadi jaanuari keskpaigaks oma osalemise jätkamise kohta vastust ootama. Õpilabori raames otsustas jätkata ja renoveerimisega lõpuni minna kuus hoonet, mille terviklikuks rekonstrueerimiseks oli Võru linnal järgmise sammuna tarvis korraldada hange projekteerijate leidmiseks. Pilootprojekti meeskonna ülesandeks sai projekteerimise lähteülesannete koostamine. Sellest tulenevalt oli lõputöö autorite ülesanne nende kuue hoone energiaarvutustega veelgi täpsemaks minna, analüüsida tulemusi ja välja pakkuda kõige optimaalsemad rekonstrueerimislahendused olemasolevaid võimalusi ja piiranguid arvestades. Sellega piirnes lõputöö autorite panus Võru renoveerimise õpilaboris töösse. Lõputöö eesmärk – uurida miljööväärtuslike eramute ja väiksemate kortermajade energiatõhususe parandamise võimalusi – sai täidetud. Uurimistöö tulemusi on kirjeldatud lõputöö kolmandas peatükis.

Lõputöö energiaarvutuste osas, alates peatükist 2.4, on kajastatud vaid kuut õpilaboris jätkata otsustanud hoonet ja peatükis 2.5 tehaksegi kokkuvõtte nende hoonete algolukorrast energiatõhususe mõttes. Lõputöö kolmandas peatükis tutvustatakse uurimistöö tulemusena selgunud sobivaimaid rekonstrueerimislahendusi nendele kuuele hoonele koos vastavate energiaarvutuste tulemustega. Välja tuuakse ka tervikliku rekonstrueerimise rahaline mõju hoonete aastasele soojusenergia kuludele. Viimaks, peatükis 3.3, tehakse kokkuvõtte ja järeldused kogu uurimistöö käigus selgunud uute teadmiste ja üleskerkinud probleemide osas ning esitatakse ettepanekud edasiste sarnaste uuringute läbiviimiseks.

2 ÜLEVAADE UURITAVATEST HOONETEST

Selle peatüki eesmärk on anda põhjalik ülevaade lõputöös uuritud hoonete rekonstrueerimisest ehituslikust ja energiakasutuslikust seisukorrast, et luua vajalik võrdlusbaas lõputöö kolmandas peatükis välja pakutavate rekonstrueerimislahenduste mõju hindamiseks. Selleks antakse käesolevas peatükis esmalt ülevaade LIFE IP BuildEST Võru renoveerimise õpilabori eelvalikusse pääsenud 11 hoone üldistest andmetest ning kirjeldatakse iga hoone muinsuskaitse seisukohast väärtuslikke detaile ja erinõuetest tulenevaid piiranguid. Ülevaade antakse ka hoonete ehitustehnilisest seisukorrast ja ehitiste säilimiseks ning elementaarsete elamistingimuste tagamiseks nõutavatest hädavajalikest töödest. Seejärel täpsustatakse LIFE IP BuildEST projekti tingimustest lähtuvalt uuritavate hoonete valimit ning tuuakse välja Võru õpilaboris osalemist jätkavate, kasutuses olevate hoonete mõõdetud energiakasutused. Viimaks esitatakse uuritavate hoonete arvutuslikud energiakasutused, selgitades seejuures vastavate arvutuste tegemise põhimõtteid ning analüüsitakse edasiste energiaarvutuste ja võrdluste tegemiseks valitud lähteandmete valimise põhimõtteid.

2.1 Uurimisobjektide tutvustus

LIFE IP BuildEST renoveerimismaratoni raames Võru Linnavalitsuse poolt 2022. aasta suvel korraldatud konkursile kandideeris kokku 16 hoonet, millest eelvalikusse pääses edasi 11 hoonet. Esimeses etapis lähtuti hoonete välja valimisel renoveerimise terviklikkusest, hoone asukohast ja selle mõjust linnaruumile ning omanike valmisolekust ja motivatsioonist hoone renoveerida. [22]

27. - 28. oktoobril 2022. aastal käidi hooneid Võru õpilabori uurimisrühma poolt üle vaatamas. Selle käigus kaardistati hoonete lähteolukord, muinsuskaitsele nõuded ja piirangud ning omanike esialgne valmidus läbida terviklik renoveerimisprotsess. Uuritavate hoonete hulgas olid: F. R. Kreutzwaldi 25a, Karja 23a, Karja 6, Katariina allee 4b, Katariina allee 9, Liiva 19, Liiva 26, Liiva 9, Mäe 4, Rooski 35 ja Rooski 43 hooned. Hooned paiknevad Võru linna muinsuskaitsealal või selle kaitsevööndis (Joonis 2).

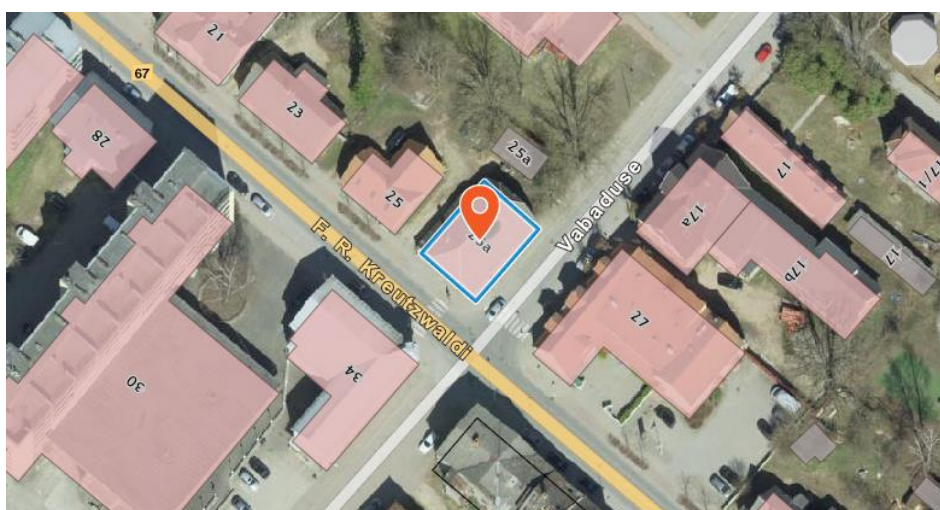


Joonis 2. Võru linna muinsuskaitseala ja kaitsevöönd [23]

Järgnevalt antakse ülevaade kõigi eelvalikust edasi pääsenud 11 hoone üldandmetest ja muinsuskaitse seisukohast väärtuslikuks peetavast ja säilitamist vajavatest detailidest.

2.1.1 F. R. Kreutzwaldi 25a

Ehitisregistri andmetel on tegemist kolme või enama korteriga elamuga (EHR kood 113019104). Hoone asub Võru maakonnas, Võru linnas, F. R. Kreutzwaldi tn 25a kinnistul katastritunnusega 91901:008:0840 (Joonis 3). [24]



Joonis 3. F. R. Kreutzwaldi tn 25a asendiskeem [25]

Tegemist on kahekorruselise, pööningu ning osalise keldriga hoonega (Fotod 1 ja 2). Maja võeti esmaselt kasutusse 1917. aastal. Suletud netopinda on 259,2 m², millest köetav pind moodustab 234,1 m². Hoones on kuus korterit. Hoone on osaliselt kasutusest väljas. Hetke seisuga elatakse sees kahes korteris ning kaks korterit on remondi ootel.



Foto 1. F. R. Kreutzwaldi ja Vabaduse tänava poolne nurk [18]



Foto 2. F. R. Kreutzwaldi tn poolne külg [18]

Hoone kuulub Võru vanimate hoonete hulka ja on uuritavate hoonete hulgast muinsuskaitse seisukohast kõige väärtuslikum (mälestise registri number 27008/182) [26]. Hoonele on kehtestatud mitmeid muinsuskaitselisi piiranguid. Säilitada tuleb hoovipoolne välisuks (Foto 3), metallmanustega aknad ja akende piirdeliistud Vabaduse tn pool (Foto 4), väikesed kaarjad pööninguaknad (Foto 5), sepanaeltega kinnitatud algupärane laudis tänava pool (Foto 6) ning korstnad (Foto 7), sealhulgas mantelkorstna kehand esimesel korrusel.



Foto 3. F. R. Kreutzwaldi tn 25a kahepoolne välisuks tenderpiitade, kalasabavoodri ja barokse sepislingiga [27]



Foto 4. F. R. Kreutzwaldi tn 25a metallmanustega aknad ja akende piirdeliistud [18]



Foto 5. F. R. Kreutzwaldi tn 25a väike kaarjas pööninguaken [18]



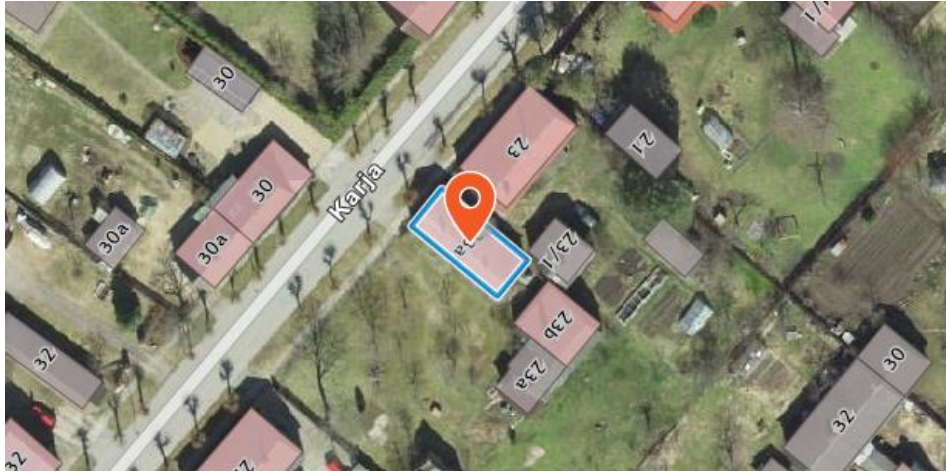
Foto 6. F. R. Kreutzwaldi tn 25a sepanaeltega kinnitatud algupärane laudis [18]



Foto 7. F. R. Kreutzwaldi 25a säilitamisele kuuluv korsten [18]

2.1.2 Karja 23a

Ehitisregistri andmetel on tegemist kolme või enama korteriga elamuga (EHR kood 113026131). Omanikul on aga soov omandid lähiajal ümber jaotada kas üksikelamuks või kahe korteriga elamuks. Hoone asub Võru maakonnas, Võru linnas, Karja tn 23a kinnistul katastritunnusega 91901:007:0120 (Joonis 4). [24]



Joonis 4. Karja 23a asendiskeem [25]

Tegemist on ühekorruselise, pööningu ning keldriga hoonega (Fotod 8, 9 ja 10). Maja võeti esmaselt kasutusse 1900. aastal. Köetav pind on 84 m². Hoones on kolm korterit. Hoone on tänase seisuga kasutusest väljas.



Foto 8. Karja 23a hoovipoolne külg [18]



Foto 9. Karja 23a (kirre) [18]



Foto 10. Karja 23a tänavapoolne külg [18]

Hoonele on kehtestatud mitmeid muinsuskaitselisi piiranguid (mälestise registri number 27008/21) [26]. Hoone on väärtuslik tänu tema vanusele ning säilinud dekooridetailidele nagu näiteks vana voodrilaud ja ebasümmeetriliselt paigutatud avatäited. Säilitada tuleb vanad palkseinad, siseuksed, tellisvõlvlagi pottsepa keldris (Foto 11) ning maakivist vundamendi jupp ühel hooviküljel (Foto 12). Kõrvalhoonel on vaja säilitada ainult esimene punastest tellistest fassaad (Foto 13). Kuna tegemist on arheoloogiatundliku maaga, on tähtis säilitada krundi ajaloolist väärtust ning maastikupilti, mis seab piirangud küttesüsteemi valikul. [27]



Foto 11. Karja 23a tellisvõlvlagi pottsepa keldris [18]



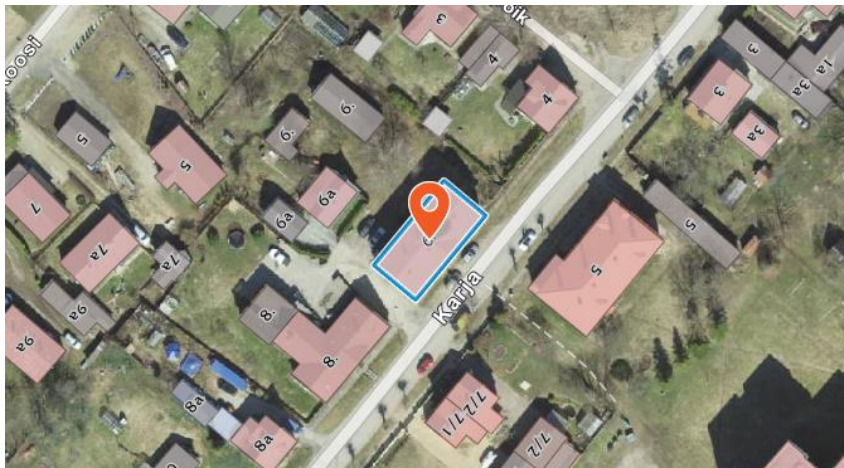
Foto 12. Karja 23a maakivisokkel [18]



Foto 13. Karja 23b - punastest tellistest fassaadiga kõrvalhoone [18]

2.1.3 Karja 6

Ehitisregistri andmetel on tegemist kolme või enama korteriga elamuga (EHR kood 113019214). Hoone asub Võru maakonnas, Võru linnas, Karja tn 6 kinnistul katastritunnusega 91901:002:0003 (Joonis 5). [24]



Joonis 5. Karja 6 asendiskeem [25]

Tegemist on kahekorruselise, pööningu ning osalise keldriga hoonega (Fotod 14 ja 15). Maja võeti esmaselt kasutusse 1903. aastal. Kõetavat pinda on kokku 237,2 m². Hoones on 10 korterit. 2019. aastal hoone katus renoveeriti.



Foto 14. Karja 6 tänavapoolne külg [18]



Foto 15. Karja 6 hoovipoolne külg [18]

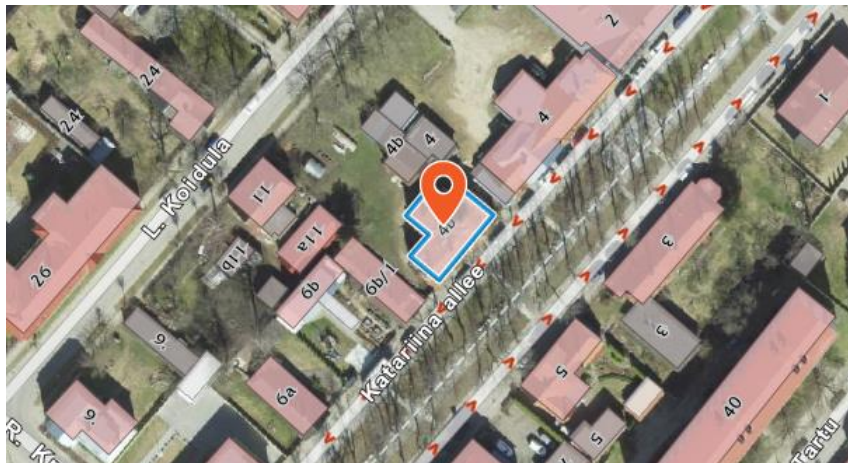
Hoonel on suhteliselt vähe muinsuskaitsete piiranguid. Asub kaitsevööndis aga mitte muinsuskaitsealal (mälestise registri number on 27008/393). [26] Algupärane laudis ei oma suurt muinsusväärtust, võib asendada koopiaaudisega. Säilitada tuleb osa maakivi vundamendist (Foto 16).



Foto 16. Karja 6 maakivivundament [18]

2.1.4 Katariina allee 4b

Ehitisregistri andmetel on tegemist kolme või enama korteriga elamuga (EHR kood 113019008). Hoone asub Võru maakonnas, Võru linnas, Katariina allee 4b kinnistul katastritunnusega 91901:007:0003 (Joonis 6). [24]



Joonis 6. Katariina allee 4b asendiskeem [25]

Tegemist on kahekorruselise, pööningu ning osalise keldriga hoonega (Fotod 17, 18 ja 19). Maja võeti esmaselt kasutusse 1917. aastal. Suletud netopinda on 423,7 m², millest köetav pind moodustab 358,9 m². Hoones on kaheksa korterit.



Foto 17. Katariina allee 4b tänavapoolne külg [18]



Foto 18. Katariina allee 4b hoovipoolne külg, renoveeritav seiniosa [18]



Foto 19. Katariina allee 4b hoovipoolne külg, tampsavi sein [18]

Hoonel on suur arhitektuuriajalooline väärtus (mälestise registri number 27008/254) [26]. Säilitada tuleb olemasolev krohvviimistlus ja dekoratiivsed detailid (krohvitud osal), algupärane seinalaudis hoone esiküljel, tänavapoolne trepikoda (Foto 20), klaasitud ülaosaga välisuks hooviküljel (Foto 21) ning korstnad ja korstnapitsid (Foto 22). [27]



Foto 20. Katariina allee 4b miljööväärtuslik trepikoda [18]



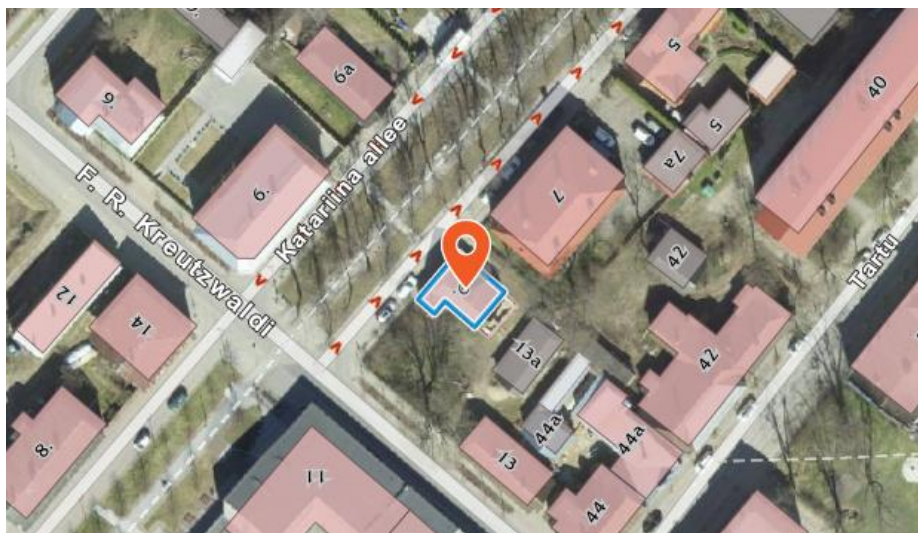
Foto 21. Katariina allee 4b hoovipoolne uks [18]



Foto 22. Katariina allee 4b korsten [18]

2.1.5 Katariina allee 9

Ehitisregistri andmetel on tegemist üksikelamuga (EHR kood 113019093). Hoone asub Võru maakonnas, Võru linnas, Katariina allee 9 kinnistul katastritunnusega 91901:001:0241 (Joonis 7). [24]



Joonis 7. Katariina allee 9 asendiskeem [25]

Tegemist on kahekorruselise, pööningu ning osalise keldriga hoonega (Fotod 23 ja 24). Maja võeti esmaselt kasutusse 1900. aastal. Suletud netopinda on 132,2 m², millest köetav pind moodustab 104,7 m². Hoones on viis tuba. Hoone on täna kasutusest väljas, kuna omanik on alustanud kapitaalremondiga.



Foto 23. Katariina allee 9 tänavapoolne külg [18]



Foto 24. Katariina allee 9 hoovipoolne külg [18]

Hoonele on kehtestatud mitmeid muinsuskaitselisi piiranguid (mälestise registri number 27008/540) [26]. Hoone on Muinsuskaitseameti hinnangul väärtuslik. Säilitada tuleb maakivist sokkel (Foto 25), terastaladel võlvid keldris (Foto 26), algupärased akende ja uste piirdeliistud, katusetarind, korstnad ja korstnapitsid (Foto 27). Taastada võib tänavapoolsel küljel algsest olnud peakse. [27] Vundament on laotud uutest kividest Muinsuskaitse lõpliku kooskõlastusega (Foto 28).



Foto 25. Katariina allee 9 maakivist sokkel [18]



Foto 26. Katariina allee 9 võlvid keldris [18]



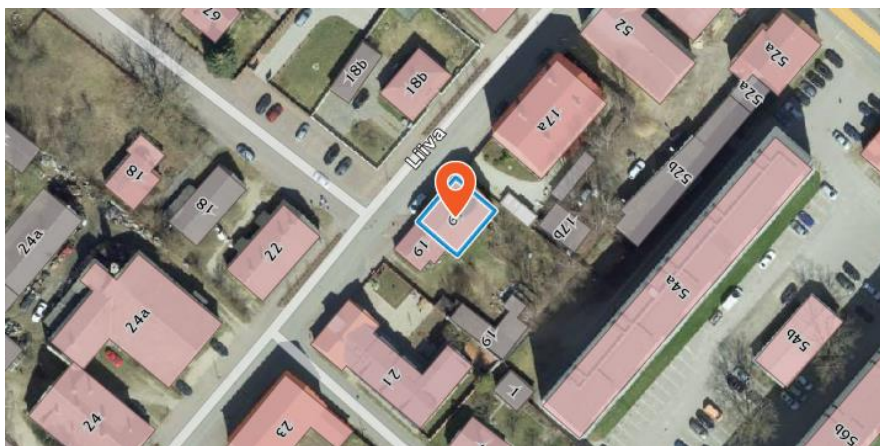
Foto 27. Katariina allee 9 säilitamisele kuuluvad korstnad ning akende piirdeliistud [18]



Foto 28. Katariina allée 9 uutest kividest vundament [18]

2.1.6 Liiva 19

Ehitisregistri andmetel koosneb Liiva 19 hoone kahest elamust. Tegemist on kolme või enama korteriga elamuga (EHR kood 113026175) ja kahe korteriga elamuga (EHR kood 113026182). Hoone asub Võru maakonnas, Võru linnas, Liiva tn 19 kinnistul katastritunnusega 91901:009:0180 (Joonis 8). [24]



Joonis 8. Liiva 19 asendiskeem [25]

Tegemist on ühe- ja kahekorruselise, pööningu ning osalise keldriga hoonega (Fotod 29 ja 30). Maja võeti esmaselt kasutusse 1900. aastal. Suletud netopinda on kokku 289,2 m², sellest uuem osa moodustab 241,9 m², vanem osa 47,3 m². Kõetavat pinda on 267,5 m². Hoones on kokku kuus korterit.



Foto 29. Liiva 19 tänavapoolne külg [18]

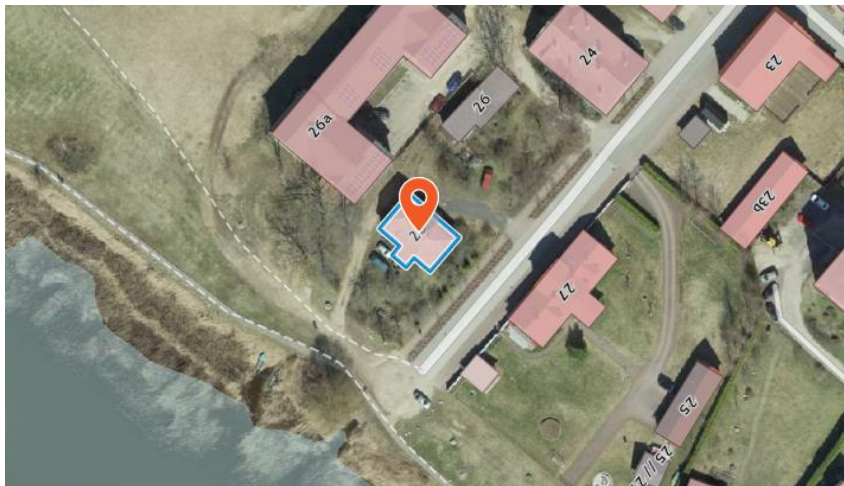


Foto 30. Liiva 19 hoovipoolne külg [18]

Hoone asub küll Võru muinsuskaitsealal kuid muinsuskaitse seisukohast takistusi renoveerimisel ei ole, kuna algupärase detailid ja materjalid on aja jooksul asendatud (mälestise registri number on 27008/51) [26]. Taastada tuleb korstnapitsid. [27]

2.1.7 Liiva 26

Ehitisregistri andmetel on tegemist kolme või enama korteriga elamuga (EHR kood 113019611). Hoone asub Võru maakonnas, Võru linnas, Liiva tn 26 kinnistul katastritunnusega 91901:008:0660 (Joonis 9). [24]



Joonis 9. Liiva 26 asendiskeem [25]

Tegemist on kahekorruselise, pööningu ning osalise keldriga hoonega (Fotod 31, 32 ja 33). Maja toodi Rõugest 1947. a. ning võeti esmaselt kasutusse 1949. aastal. Suletud netopinda on 236,3 m² millest köetav pind moodustab 210,7 m². Hoones on viis korterit.



Foto 31. Liiva 26 tänavapoolne külg [18]



Foto 32. Liiva 26 hoovipoolne külg [18]

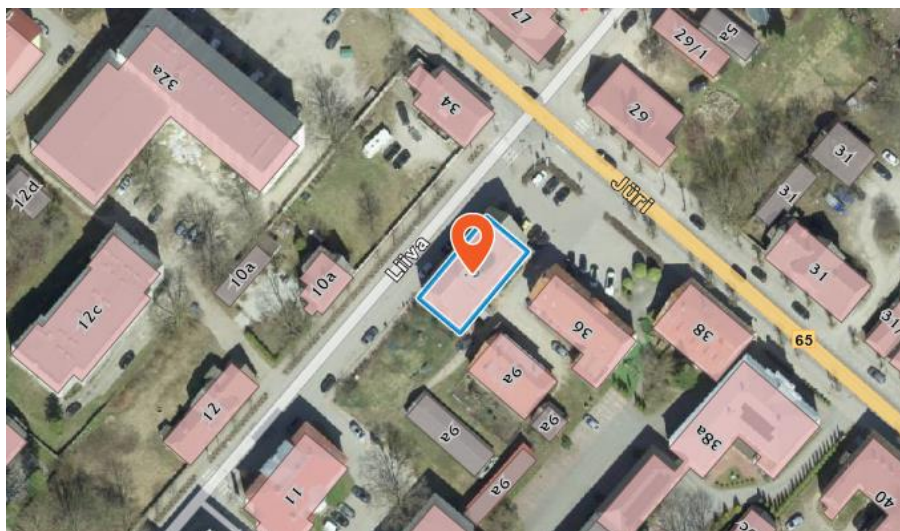


Foto 33. Liiva 26 järvepoolne külg [18]

Hoonel on suhteliselt vähe muinsuskaitsealaseid piiranguid. Asub kaitsevööndis aga mitte muinsuskaitsealal (mälestise registri number on 27008/432). [26]

2.1.8 Liiva 9

Ehitisregistri andmetel on tegemist kolme või enama korteriga elamuga (EHR kood 113021463). Hoone asub Võru maakonnas, Võru linnas, Liiva tn 9 kinnistul katastritunnusega 91901:009:0080 (Joonis 10). [24]



Joonis 10. Liiva 9 asendiskeem [25]

Tegemist on kolmekorruselise, pööningu ning osalise keldrikorrusega hoonega (Fotod 34 ja 35). Maja võeti esmaselt kasutusse 1900. aastal. Suletud netopinda on 593,5 m², millest köetav pind moodustab 441,9 m². Hoones on 12 korterit.



Foto 34. Liiva 9 tänavapoolne külg [18]



Foto 35. Liiva 9 hoovipoolne külg [18]

Hoonele on kehtestatud mitmeid muinsuskaitselisi piiranguid (mälestise registri number 27008/76). [26] Oluline on hoone välisilme säilitamine, dekoratiivsed detailid taastada olemasolevate eeskujul. Säilitada tuleb algupärane laudis, maakivist sokkel hoone kahel küljel (Foto 36), korstnad ja korstnapitsid. Mõned algupärased aknad tuleb restaureerida (Foto 37). [27]



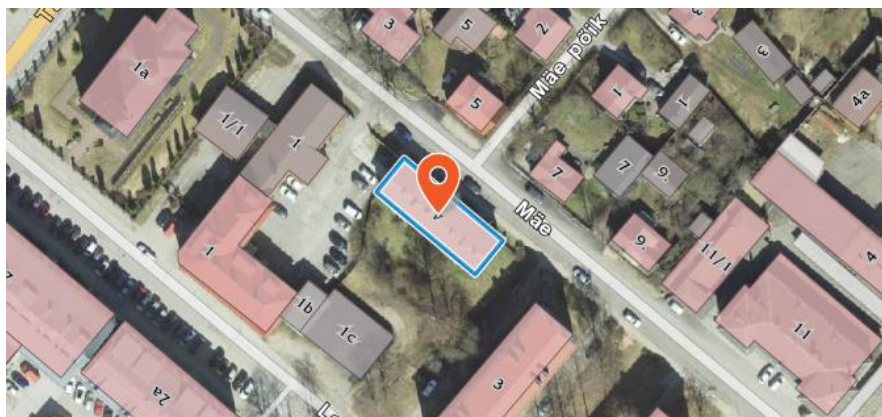
Foto 36. Liiva tn 9 maakivist sokkel [18]



Foto 37. Liiva tn 9 dekoratiivsed detailid sh laudis, aknad [18]

2.1.9 Mäe 4

Ehitisregistri andmetel on tegemist kolme või enama korteriga elamuga (EHR kood 113019006). Hoone asub Võru maakonnas, Võru linnas, Mäe tn 4 kinnistul katastriüksusega 91901:003:0990 (Joonis 11). [24]



Joonis 11. Mäe 4 asendiskeem [25]

Tegemist on kahekorruselise, pööningu ning osalise keldrikorrusega hoonega (Fotod 38 ja 39). Maja võeti esmaselt kasutusse 1960. aastal. Suletud netopinda on 507,0 m² millest köetav pind moodustab 414,6 m². Hoones on kaheksa korterit.



Foto 38. Mäe 4 tänavapoolne külg [18]



Foto 39. Mäe 4 hoovipoolne külg [18]

Hoonel on suhteliselt vähe muinsuskaitsealaseid piiranguid. Asub kaitsevööndis aga mitte muinsuskaitsealal (mälestise registri number on 27008/455). [26] Hoone soojustamise osas muinsuskaitselisi piiranguid ei ole. Põhiväärtuseks on miljööväärtuslikud trepikojad (Foto 40). Välisseinte soojustamisel tuleb säilitada karniiside ja aknalaua detailide geomeetria.

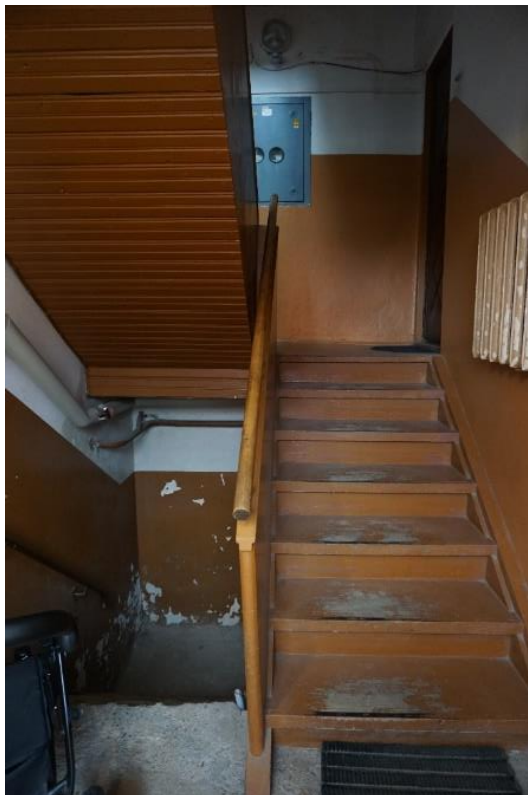
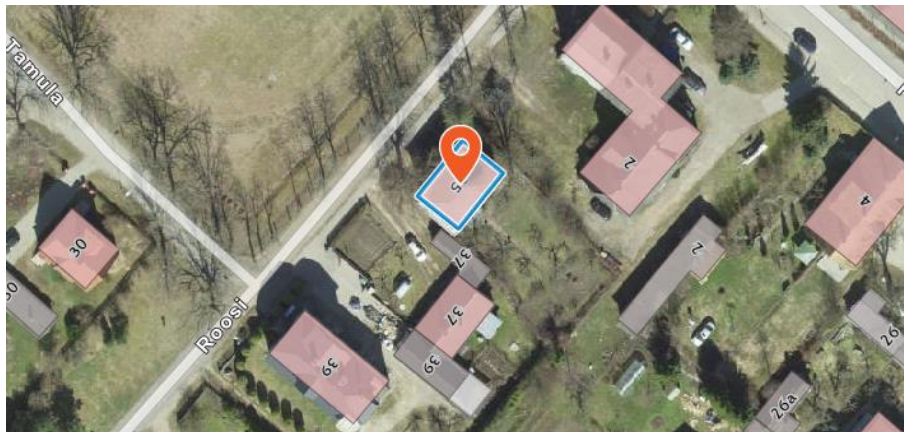


Foto 40. Mäe 4 miljööväärtuslik trepikoda [18]

2.1.10 Roosi 35

Ehitisregistri andmetel on tegemist üksikelamuga (EHR kood 113020132). Hoone asub Võru maakonnas, Võru linnas, Roosi tn 35 kinnistul katastritunnusega 91901:007:0990 (Joonis 12). [24]



Joonis 12. Roosi 35 asendiskeem [25]

Tegemist on kahekorruselise, pööningu ning keldrikorrusega hoonega (Fotod 41 ja 42). Maja võeti esmaselt kasutusse 1965. aastal. Suletud netopinda on 216,9 m² millest köetav pind moodustab 139,4 m². Hoones on neli tuba.



Foto 41. Roosi 35 tänavapoolne külg [18]

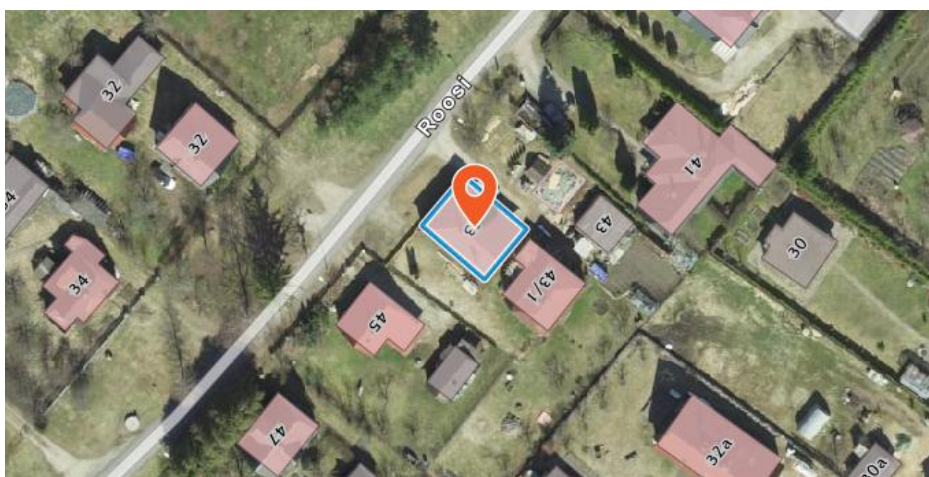


Foto 42. Roosi 35 hoovipoolne külg [18]

Hoonel on suhteliselt vähe muinsuskaitselisi piiranguid. Asub kaitsevööndis aga mitte muinsuskaitsealal (mälestise registri number on 27008/169). [26]

2.1.11 Roosi 43

Ehitisregistri andmetel on tegemist üksikelamuga (EHR kood 113019380). Hoone asub Võru maakonnas, Võru linnas, Roosi tn 43 kinnistul katastritunnusega 91901:007:0079 (Joonis 13). [24]



Joonis 13. Roosi 43 asendiskeem [25]

Tegemist on algupäraselt ühekorruselise, pööningu ning ilma keldrikorruseta hoonega (Fotod 43 ja 44). Hoone esialgset kuju on muudetud. Pööningukorrus ehitati välja 2005. aastal. Maja võeti esmaselt kasutusse 1923. aastal. Suletud netopinda (sh köetav pind) on 70,2 m².



Foto 43. Roosi 43 tänavapoolne külg [18]



Foto 44. Roosi 43 hoovipoolne külg [18]

Hoonel on suhteliselt vähe muinsuskaitselisi piiranguid. Asub kaitsevööndis aga mitte muinsuskaitsealal (mälestise registri number on 27008/358). [26] Omanik on alustanud maja renoveerimisega 2005.a. Originaalilmest ei ole palju säilinud.

2.2 Hoonete ehitustehniline seisukord ja hädavajalikud tööd

Paljusid uuritavaid hooneid ei ole kunagi põhjalikult renoveeritud ja elamistingimused nendes olid puudulikud. Et inimestel oleks tagatud ohutu ja tervislik elukeskkond, on vastavate õigusaktidega paika pandud nõuded, mis defineerivad elamisväärsed tingimused. Määrus nr 85 „Eluruumile esitatavad nõuded“ kehtestab nõuded eluruumi suurusele, valgustatusele, ligipääsetavatusele, sisekliimale ning veevarustusele. [28]

Selleks, et hoone olemasolev olukord ei halveneks, tuleb tagada tegevused ja meetmed hoone säilimise, elamisväärsuse ja ohutuse kindlustamiseks. Igale hoonele eraldi, vastavalt lähteolukorrale, määrati hädavajalikud renoveerimistööd, mis tähendavad esmast ja põhilist rekonstrueerimist. Vajalike tegevuste ja meetmete hulka kuuluvad eelkõige amortiseerunud ja ohtlike hooneosade uuendamine ning sisekliima parendamine [8]. Varasemad uuringud näitavad, et vanade puitkorterelamute puhul kuuluvad hädavajalike tööde hulka: katusetööd, välisseinte fassaadi laudise vahetus ja värvimine, vundamendi/sokli korrastamine (sh alumised palgid) ja sademeveesüsteemi väljaehitamine [29, p. 90]. Lisaks peab eluruumides olema tagatud optimaalne siseõhu temperatuur ning loomulik või mehaaniline ventilatsioon nõuetekohase õhuvahetuse tagamiseks. Ka külma vee saamise võimalus ning tualeti olemasolu on eluruumides elementaarne. [28] Seega hädavajalike tööde hulka kuuluvad ka tehnosüsteemide korrastamised sh elektri-, kütte-, ventilatsiooni-, vee- ja kanalisatsioonisüsteemide uuendamine.

Uuritavad hooned on enamjaolt rõhtpalkkonstruktsiooniga ja rajatud maakivivundamendile. Paar hoonet on ka telliskonstruktsiooniga. Fassaadid on kaetud välisvoodrilauaga või krohvitud. Säilinud on nii algupärast laudist kui ka originaalaknaid ja -uksi. Kõik hooned on puitsarikatel viil- või kelpkatusega, kaetud eterniidi või plekk-kattega. Pööninglaed on soojustatud kas termoliidi, liiva, saepuru või nende seguga. Osades hoonetes on omanike poolt tehtud erinevas ulatuses renoveerimistöid, näiteks korterite seestpoolt soojustamine, katusekatte vahetus või hoone välispiirde soojustamine ja viimistlemine. Aknad on osaliselt vahetatud peaaegu kõikides hoonetes. Järgnevas loetelus on välja toodud välitööde käigus tuvastatud hoonete peamised probleemid ja puudused:

- tubades olev kapillaarniiskus ja hallitus;
- vihmavee imbumine keldrisse ja keldri sagedased veeuputused;
- keldri liigniiskus ja hallitusseente elutsemine;
- puudulikust ventilatsioonist tingitud korterite halb õhuvahetus;
- katusepleki korrodeerumised;
- katusealuse laudise mädanemine;

- sokli veekahjustused;
- vundamendi vajumised ja lagunemised;
- põrandate vajumised.

Osadel hoonetel puuduvad vihmaveerennid ja allaviigud või vajab sademeveesüsteem korrastamist. Korstnad on lagunenud ja enamusel puudub pööningu läbiviigu osas soojustus. Hoonetel on küll olemas liitumine linna vee- ja kanalisatsioonitrassiga kuid osades hoonetes pole vesi majja veetud ja pesemisvõimalused puuduvad. Samuti on kasutusel kuivkäimlad. Elektrisüsteemid on üldjuhul aegunud. Hoonetel, mida ei kõeta ja mis on kasutusest väljas, kaasnevad probleemid tühjalts seismisest.

Hoonete tehnilist seisukorda hinnati visuaalsel vaatlusel võttes arvesse ka vestluseid elanikega ning eelnevalt kogutud andmeid ankeetküsitlusest hoone sisekliima kohta. Hindamise kriteeriumiteks oli hoone kandekonstruktsiooni ja piirdetarindite (vundament/sokkel, välisseinad, katus), korstnate, avatäidete ning vihmaveesüsteemi ehitustehniline seisukord. Tehnosüsteemide osas anti hinnang vee, kanalisatsiooni, kütte, ventilatsiooni ja elektrisüsteemi seisukorrale. Hindamisskaala loodi hoonete omavahelise võrdlemise alusel. Hinnangu andmisel tugineti uurimisrühma varasematele kogemustele sarnaste objektidega. Selle tulemusel määrati hoonete püsimise ja sisekliima seisukohast hädavajalikud tööd. Elementaarseteks elamistingimusteks lugesid lõputöö autorid ka tänapäevased primaarsed mugavused nagu toimiv veevarustus, kanalisatsioon ja pesemisvõimalused.

Hoonete seisukorra hindamisel kasutati skaalat 1...4:

- 1 - halvas seisukorras, tõsised kahjustused, elementaarsed elamistingimused puuduvad;
- 2 - kehvast seisukorras, mõõdukad kuni tõsised kahjustused;
- 3 - rahuldavas seisukorras, kerged kahjustused;
- 4 - heas seisukorras, üksikud kergemad kahjustused.

Ülevaade uuritavate hoonete olemasoleva olukorra ja hädavajalike tööde kohta on antud Tabelites 1...9.

Tabel 1. F. R. Kreutzwaldi 25a olemasolev olukord ja hädavajalikud tööd

Hoone osa	Olemasolev olukord	Hädavajalikud tööd
Vundament/sokkel	madal lubikrohvitud maakivisokkel; vundament vajunud	korrastada olemasolev sokkel, vajadusel vahetada välja maakivid uute vastu; hoone vajab tõstmist
Välisseinad	rõhtpalk/ rõhtlaudis; uus osa maja välisseinast vajunud	säilitada algupärasel kujul; olemasolev fassaadilaudis restaureerida; kitsam laudis asendada laia laudisega
Katused	kõrge poolkelpkatus/ eterniit; lagunenenud	paigaldada uus käsivalts katusekate või kivikatus
Korstnad	lagunenud; korstnal puudub pööningu läbiviigu osas soojustus	korda teha
Sarikad	ristlõikega 160x200 mm, sammuga 1400 mm	-
Pööninglagi	puittaladel/ soojustatud	-
Avatäited	säilinud on vanad puitaknad ja -uksed	paremini säilinud aknad korrastada, kehvemad asendada; säilitada ja restaureerida hoovipoolne originaalne välisuks
Vihmaveesüsteem	vihmaveerennid ja -allaviigud puuduvad	ehitada välja drenaaži- ja sadeveesüsteem
Vesi	toodud trepikotta aga ei ole korteritesse jaotatud; pesemisvõimalused puuduvad	luua pesemisvõimalused; paigaldada elektriboilerid
Kanalisatsioon	toodud maja kõrvale, kus heitvesi kanaliseeritakse maja külge ehitatud kahekohalise välikäimla lampkasti, mis on ühendatud linna kanalivõrguga; kuivkäimla all on salvkaev	rajatava veesüsteemiga lahendada ka reovee kanalisatsioon
Elekter	elektrisüsteem on aegunud ja vajab uuendamist; peakilp puudub	ehitada välja uus elektrisüsteem
Küte	ahiküte	hoone liita kaugküttevõrku, ehitada välja soojussõlm ja paigaldada radiaatorid
Ventilatsioon	puudub	mehaaniline ventilatsioonisüsteem

Hoone üldine seisukord on uurimisrühma hinnangul kehv (2). Tarind on kehv seisus ning hoone on tugevalt tänavapoolse kaldu. Korstnad on väga lagunenenud. Peamiseks probleemiks on puudulikud tehnosüsteemid: pesemisvõimaluste puudumine, kuivkäimla paiknemine väljaspool hoonet ja aegunud elektrisüsteem. Kogu elukondlik vesi tuuakse hoovis asuvast kaevust.

Tabel 2. Karja 23a olemasolev olukord ja hädavajalikud tööd

Hoone osa	Olemasolev olukord	Hädavajalikud tööd
Vundament/sokkel	madal maakivisokkel savitellisvööga; vundament pinnasesse mattunud	katta osaliselt krohviga (seoses muinsuskaitsealaste reeglitega erinev lähenemine hoone erinevatel külgedel)
Välisseinad	rõhtpalgid/ vana lai voodrilaud; laudis halvas seisus	eemaldada ja puhastada vana laudis; palgi vahed plommida
Katused	kaheastmeline viilkatus/ eterniit; katusekonstruktsioonid algsed	paigaldada uus käsivalts või eelvaltsitud katusekate; vajadusel asendada amortiseerunud konstruktsiooniosad
Korstnad	2 silikaatpitsiga korstent; ühelöörilised; puuduvad ventilatsiooni lõõr ja värskeõhu klapid	korda teha
Sarikad	ristlõikega 150x150 mm, sammuga 1300 mm	-
Pööninglagi	puittaladel/ soojustatud	-
Avatäited	aknad vanad ja halvas seisus, põhiliselt kahepoolsed eraldi raamidega puitaknad; ukSED on ühepoolsed tahveluksed	aknad asendada (väljaspool renoveeritud originaalaken + seespool 2x klaasiga puitaken); välisukseid asendada uute puidust tahvelustega
Vihmaveesüsteem	tsingitud plekist ümarad ripprennid ja torud	korrastada olemasolevaid renne ja torusid
Vesi	liitumine linna vee- ja kanalitrassiga; pesemisvõimalus puudub	luua pesemisvõimalused; paigaldada elektriboilerid
Kanalisatsioon	liitumine linna vee- ja kanalitrassiga; hoones WC ja ka kuivkäimla	rajatava veesüsteemiga lahendada ka reovee kanalisatsioon
Elekter	elektrikaabli sisend on tänapäevane, kuid kogu muu elektripaigaldis uuendamata; peakaitse C 20A	ehitada välja uus elektrisüsteem
Küte	ahiküte/ ei köeta	paigaldada õhk-vesi soojuspump hoone kütmiseks radiaatoritega ja sooja tarbevee saamiseks
Ventilatsioon	puudub	mehaaniline ventilatsioonisüsteem

Hoone üldine seisukord on uurimisrühma hinnangul kehv (2). Vundament on suures osas pinnasesse vajunud, säilitamisele kuulub vaid pisikene osa. Kuna hoone on kasutusest väljas ja seda ei köeta, on peamisteks probleemideks tubades olev kapillaarniiskus ning keldris elutsev seen. Samuti puuduvad pesemisvõimalused ning elektripaigaldis on amortiseerunud.

Tabel 3. Karja 6 olemasolev olukord ja hädavajalikud tööd

Hoone osa	Olemasolev olukord	Hädavajalikud tööd
Vundament/sokkel	madal maakivisokkel; vundament osaliselt mõranenud ja nurgas paigast nihkunud, puudub soojustus ja hüdroisolatsioon	sokkel vajab konstruktiivset tugevdamist; teostada raudbetoonvalu juhul kui ei ole võimalik taastada maakivivundamenti; sokli soojustamine samaväärselt seina paksusega
Välisseinad	rõhtpalk/ välisvoodrilaud; laudis halvas seisukorras	võimalik palgivahetus; palgi vahed plommida; katta fassaad uue koopiaudisega (lähtuvalt algsest projektist ja kirdepoolsest otsaseinast)
Katused	viilkatus/ plekk; renoveeritud	olemasolevat katusekatet vahetada ei ole vaja
Korstnad	telliskorstnad	korda teha
Sarikad	sarikad sammuga 1200 mm; uued sarikaotsad lihtsustatud, sobimatud	paigaldada uued saelõikelised sarikaotsad
Pööninglagi	soojustatud termoliidiga („termot“ vähem, „liiti“ rohkem)	-
Avatäited	mõned algsed aknad on säilinud, enamik on erinevatel aegadel välja vahetatud	asendada vanad aknad uute kahepaarmiliste puitakendega; paigaldada uued puidust tahveluksed, originaaluks säilitada pole vaja
Vihmaveesüsteem	vihmaveesüsteem vahetatud seoses katuse renoveerimisega	säilitada olemasolev
Vesi	liitumine linna vee- ja kanalitrassiga; soe vesi boileriga	luua pesemisvõimalused; paigaldada elektriboilerid
Kanalisatsioon	liitumine linna vee- ja kanalitrassiga	rajava veesüsteemiga lahendada ka reovee kanalisatsioon
Elekter	tänapäevane elektriliitumine, elektrikilbi peakaitse C 32A	ehitada välja uus elektrisüsteem
Küte	ahiküte, kahes korteris ainult elektriküte, ühes korteris õhksoojuspump	paigaldada maaküttesüsteem hoone kütmiseks radiaatoritega ja sooja tarbevee saamiseks
Ventilatsioon	puudub	mehaaniline ventilatsioonisüsteem

Hoone üldine seisukord on uurimisrühma hinnangul kehv (2). Vundament on osaliselt mõranenud ja nurgas paigast nihkunud. Palju kortereid (2/3) on seestpoolt soojustatud, katus on renoveeritud 2019. a. Suurimaks probleemiks on tänavapoolse drenaaži puudumine. Vihmavesi jookseb otse keldrisse, mis põhjustab uputusi ja liigniiskust keldri tarindites. Tubades on halb õhuvahetus puudlikust ventilatsioonist.

Tabel 4. Katariina allee 4b olemasolev olukord ja hädavajalikud tööd

Hoone osa	Olemasolev olukord	Hädavajalikud tööd
Vundament/sokkel	krohvitud maakivisokkel; soklis veekahjustused	krohvida
Välisseinad	rõhtpalk, tellis, tampsavi; kaetud horisontaalsee voodrilauaga või krohvitud	tänavapoolne krohvitud osa säilitada nii nagu on; ülejäänud krohvida, värvida
Katused	madal poolkelpkatus/ käsivaltsiga ühendustega värvitud must plekk; katuseplekk tugevasti korrodeerunud	paigaldada uus käsivalts või eelvaltsitud katusekate; vajadusel asendada amortiseerunud konstruktsiooniosad.
Korstnad	3 savitelliskorstent	korda teha
Sarikad	ristlõikega 150x150 mm	-
Pööninglagi	soojustatud termoliidiga	-
Avatäited	aknad osaliselt vahetatud; säilinud originaalaknad on põhiliselt kahepoolsed eraldi raamidega	aknad asendada uute kahepaarmiliste puitakendega, mis järgivad algupärast jaotust; originaalüksed säilitada ja renoveerida, tänavapoolne välisuks mis ei ole originaal, asendada
Vihmaveesüsteem	ümartorudega ja räästapealse renniga tsinkplekist lehriga renniühendus	korrastada olemasolevaid renne ja torusid
Vesi	liitumine linna vee- ja kanalitrassiga; korterites salvkaevu vesi, keldris salvkaev	ehitada välja kaugküttesüsteem tsentraalne soojaveevarustussüsteem
Kanalisatsioon	liitumine linna vee- ja kanalitrassiga	rajatava veesüsteemiga lahendada ka reovee kanalisatsioon
Elekter	peakaitse C 32A, uus toide	ehitada välja uus elektrisüsteem
Küte	ahiküte; ühes korteris õhksoojuspump	hoone liita kaugküttevõrguga, ehitada välja soojussõlm ja paigaldada radiaatorid
Ventilatsioon	puudub	mehaaniline ventilatsioonisüsteem

Hoone üldine seisukord on uurimisrühma hinnangul rahuldav (3). Hoones on alustatud välisseinte renoveerimist, mis on Muinsuskaitseameti poolt peatatud (lisatud soojustus tuleb eemaldada). Peamised probleemid on sagedasti uputav kelder, korrodeerunud katuseplekk ja sokli veekahjustused. Kanalisatsioon on välja ehitatud väga ebasüsteemaatiliselt.

Tabel 5. Katariina allee 9 olemasolev olukord ja hädavajalikud tööd

Hoone osa	Olemasolev olukord	Hädavajalikud tööd
Vundament/sokkel	murtud raudkivi, mille peal savitellisvöö; vundament laotud uutest kividest	olemasolevat soklit ei muuda; säilib juba maakivi dekoratiivplaadiga ümber tehtud sokkel
Välisseinad	rõhtpalk/ lai horisontaalne voodrilaud	fassaadilaudise vahetamisel säilitada maksimaalselt algupärast laudist, kombineerida terviklikule fassaadile
Katused	viilkatus/ eterniit	paigaldada uus katusekate; katusekatte vahetamise käigus vajadusel asendada amortiseerunud konstruktsiooniosad
Korstnad	3 korstent: 2 savitellist, 1 silikaadist	korda teha
Sarikad	ristlõikega 170x170, sammuga 1400 mm	-
Pööninglagi	soojustatud linaluu ja liivaga	-
Avatäited	hoone krundipoolisel küljel puidust klaasitud tahvelustega kahekordne verandauks, hoone krundipoolses otsas puidust ühepoolne voodriga uks; kahepoolsed eraldi raamid ruitaknad	aknad asendada (väljaspool renoveeritud 1x klaasiga originaalaken + seespool 2x klaasiga ruitaken); originaalukseid säilitada ja renoveerida.
Vihmaveesüsteem	kaasaegne ümartorude ja –rennidega tsinkplekist lehitrit renniühendusega	säilitada olemasolev
Vesi	puudub	välja ehitada kaugküttesbaasil tsentraalne soojaveevarustussüsteem
Kanaliseatsioon	puudub	rajava veesüsteemiga lahendada ka reovee kanaliseatsioon
Elekter	peakaitse 25A	ehitada välja uus elektrisüsteem
Küte	ahiküte/ ei köeta	hoone liita kaugküttevõrku, ehitada välja soojussõlm ja paigaldada radiaatorid
Ventilatsioon	puudub	mehaaniline ventilatsioonisüsteem

Omanik on omal käel alustanud hoones suuremamahulist ümberehitust, mistõttu ei olnud hoone ülevaatamise hetkel kasutuses. Hoone hinnati üldise seisukorra poolest rahuldavaks (3).

Tabel 6. Liiva 19 olemasolev olukord ja hädavajalikud tööd

Hoone osa	Olemasolev olukord	Hädavajalikud tööd
Vundament/sokkel	savitellisvööga maakivisokkel, soojustatud osaliselt EPS-ga; vundament lagunenu, hoone on “maa sisse vajunud”	sokkel vajab konstruktiivset tugevdamist; võimalusel maakivivundament restaureerida
Välisseinad	rõhtpalk/ välisvoodrilaud	võimalik palgivahetus; palgi vahed plommida; fassaadilaudis vahetada uue vastu
Katused	viilkatus/ uuem osa käsitsi valtsitud musta tahvelplekiga; vanem osa eterniitkattega	paigaldada uus käsivalts katusekate; vajadusel asendada amortiseerunud konstruktsiooniosad
Korstnad	uuem osa: 2 savitelliskorstent; vanem osa: 1 kõrge silikaattellistest korsten	korda teha, korstnapitsid taastada
Sarikad	ristlõikega 120x150 mm, sammuga 1250 mm	-
Pööninglagi	puittaladel/ soojustatud liivaga	-
Avatäited	uuem osa: kaheraamilised puitaknad, tahveluksed; vanem osa: kolmeosalised puitaknad, vooderdatud uks	asendada hoone kõik aknad uute kaheraamiliste puitakendega; välisüksed vahetada
Vihmaveesüsteem	vihmaveerennid ja -allaviigud puuduvad	ehitada välja drenaaži- ja sadeveesüsteem
Vesi	liitumine linna vee- ja kanalitrassiga; vesi kinni keeratud	kinnistu sisene torustik välja vahetada; ehitada välja kaugküttesõlm tsentraalne soojaveevarustussüsteem
Kanalisatsioon	liitumine linna vee- ja kanalitrassiga; kanalitorustik on osaliselt uuendatud, hoones on ka kuivkäimla	rajatava veesüsteemiga lahendada ka reovee kanalisatsioon
Elekter	elektri peakilp on tänapäevane ja nõuetele vastav, muu elektripaigaldis ebaühtlase kvaliteeditasemega; peakaitse C 25A	ehitada välja uus elektrisüsteem
Küte	ahiküte/ ei köeta	hoone liita kaugküttevõrku; ehitada välja soojussõlm ja paigaldada radiaatorid
Ventilatsioon	puudub	mehaaniline ventilatsioonisüsteem

Hoone üldine seisukord on uurimisrühma hinnangul halb (1). Hoone on täna kasutusest väljas ning uuritavate hoonete hulgast kõige kehvemas seisus ja vajab täisrekonstrueerimist. Peamiseks probleemiks on lagunenu vundament ja piirdetarindid. Hoone tänavapoolne nurk on ära vajunud ja vundament maa sisse vajunud. Vesi ja kanalisatsioon on majas olemas kuid kinni keeratud.

Tabel 7. Liiva 26 olemasolev olukord ja hädavajalikud tööd

Hoone osa	Olemasolev olukord	Hädavajalikud tööd
Vundament/sokkel	betoonist madalvundament; soojustamata	olemasolev sokkel säilitada ja krohvida
Välisseinad	rõhtpalk/ välisvoodrilaud	palgi vahed plommida; paigaldada uus fassaadilaudis
Katused	kelpkatus/ eterniit	paigaldada uus katusekate; katusekate vahetamise käigus asendada amortiseerunud konstruktsiooniosad
Korstnad	korstnal puudub pööningu läbiviigu osas soojustus	korda teha
Sarikad	ristlõikega 150x150 mm, sammuga 1400 mm	-
Pööninglagi	puittaladel/ soojustatud termoliidiga (ainult liit)	-
Avatäited	kõik aknad vahetatud; üheraamilised pakettaknad	asendada hoone kõik aknad uute kaheraamiliste puitakendega; välisüksed vahetada
Vihmaveesüsteem	vihmaveerennid ja -allaviigud puuduvad	ehitada välja drenaaži- ja sadeveesüsteem
Vesi	liitumine linna vee- ja kanalitrassiga; 3 korteris on pesemisvõimalused (vann/dušš) ning vesiklosett	ehitatada välja kaugküttega tsentraalne soojaveearustussüsteem
Kanaliseatsioon	liitumine linna vee- ja kanalitrassiga	rajatava veesüsteemiga lahendada ka reovee kanalisatsioon
Elekter	elektrivõrguga ühinenud; peakaitse C 32A	ehitada välja uus elektrisüsteem
Küte	ahiküte; ajutiselt paigaldatud õhksoojuspumbad	hoone liita kaugküttevõrku, ehitada välja soojussõlm ja paigaldada radiaatorid
Ventilatsioon	puudub	mehaaniline ventilatsioonisüsteem

Hoone üldine seisukord on uurimisrühma hinnangul rahuldav (3). Kõikides korterites on tehtud vähemal või rohkemal määral renoveerimistöid.

Tabel 8. Liiva 9 olemasolev olukord ja hädavajalikud tööd

Hoone osa	Olemasolev olukord	Hädavajalikud tööd
Vundament/sokkel	maakivisokkel savitellisvööga	sokkel vajab konstruktiivset tugevdamist; võimalusel maakivivundament restaureerida; sokkel soojustada samaväärselt seina paksusega
Välisseinad	rõhtpalk/ horisontaalne voodrilaud	võimalik palgivahetus; palgi vahed plommida; olemasolev fassaadilaudis vähemalt osaliselt säilitada, ülejäänud asendada uue koopiaaudisega
Katused	viilkatus/ eterniit	paigaldada uus käsivalts või eelvaltsitud katusekate (mitte klassikprofiil), sobib ka kivikatus; katusekatte vahetamise käigus vajadusel asendada amortiseerunud konstruktsiooniosad
Korstnad	2 savitelliskorstent	korda teha
Sarikad	ristlõikega 50x150 mm, sammuga 1200 mm	-
Pööninglagi	talad ja lauad katuse all/ soojustatud liivaga	-
Avatäited	kolmeosalised puitaknad; tahvel tiibuksed	asendada hoone vanad aknad uute kaheraamiliste puitakendega, originaalaknad võimalusel säilitada; välisüksed asendada uute puidust tahvelustega
Vihmaveesüsteem	tsingitud plekist ümarate rennide ja äravoolutorudega, lihtsa lehtriga renniühendusega	korrastada olemasolevaid renne ja torusid
Vesi	liitumine linna vee- ja kanalitrassiga; 1. korrusel pesemisvõimalused	ehitada välja kaugküttebaasil tsentraalne soojaveearustussüsteem
Kanalisatsioon	liitumine linna vee- ja kanalitrassiga	-
Elekter	peakaitse C 40A	ehitada välja uus elektrisüsteem
Küte	ahiküte	hoone liita kaugküttevõrku; ehitada välja soojussõlm ja paigaldada radiaatorid
Ventilatsioon	puudub	mehaaniline ventilatsioonisüsteem

Hoone üldine seisukord on uurimisrühma hinnangul rahuldav (3). Hoone nõuab lisaks välisele rekonstrueerimisele ka sisemisi muudatusi: kolmas korrus vajab uut planeeringut. Peamiseks probleemiks on põrandate suured vajumised. Pesemisvõimalused on vaid esimesel korrusel.

Tabel 9. Mäe 4 olemasolev olukord ja hädavajalikud tööd

Hoone osa	Olemasolev olukord	Hädavajalikud tööd
Vundament/sokkel	betoon/savitellis; puudub hüdroisolatsioon ja drenaaz	krohvida
Välisseinad	tellis "Harju" sein/ krohvitud	krohvida
Katused	viilkatus/ eterniit	paigaldada uus katusekate; katusekatte vahetamise käigus asendada amortiseerunud konstruktsiooniosad
Korstnad	korstnad pööningu läbiviigu osas soojustamata	korda teha
Sarikad	ristlõikega 50x150 mm, sammuga 1200 mm	-
Pööninglagi	soojustatud termoliidiga	-
Avatäited	enamus aknaid vahetatud	olemasolevad aknad vahetada välja uute 3x pakettakende vastu; välisüksed vahetada
Vihmaveesüsteem	rahuldavas seisukorras, probleemiks keldrisse valguv sademevesi	ehitada välja drenaazi- ja sadeveesüsteem
Vesi	liitumine linna vee- ja kanalitrassiga	ehitada välja kaugkütte baasil tsentraalne soojaveearustussüsteem
Kanalisatsioon	liitumine linna vee- ja kanalitrassiga; soe vesi elektriboileriga; kanalisatsiooni püstikud lõpevad katuse all, pööningul	rajatava veesüsteemiga lahendada ka reovee kanalisatsioon
Elekter	vana elektrijuhtmestik; maja elektri pea- ja jaotuskilbid on ehitatud välja tänapäevaste nõuete kohaselt, vanad elektrikilbid on veel eemaldamata	ehitada välja uus elektrisüsteem
Küte	kaugküte/ ahiküte	tõhus kaugküte; olemasolev küttesüsteem demonteerida ja ehitada uus koos uue soojussõlmega
Ventilatsioon	puudub	mehaaniline ventilatsioonisüsteem

Hoone üldine seisukord on uurimisrühma hinnangul hea (4). Peamisteks probleemideks on mädanev katusealune laudis, uputav kelder parklapoolsest seinast ning hallitus teise korruse remonditud korteris.

Roosi tn 35 ja Roosi tn 43 hoonete puhul tabelikujul ülevaateid ei koostatud, kuna antud hooned on võrreldes teistega paremas seisukorras. Omanikud on juba eelnevalt vähemal või rohkemal määral teostanud renoveerimistöid ja uuendanud tehnosüsteeme. Võru renoveerimise õpilaboris jätkavate hoonete valimit on täpsustatud järgmises peatükis.

2.3 Hoonete valimi täpsustamine

Kõikide hoonete puhul oli renoveerimistööde kriteeriumiks saavutada soojuskadude vähenemine vähemalt 60%. Hoonete paiknemine Võru vanalinna muinsuskaitsealal või selle vööndis seab mitmeid piiranguid renoveerimislahenduste väljatöötamise osas, mis tingib olukorra, et osade hoonete puhul ei õnnestu antud kriteeriumit saavutada.

Esialgsete energiaanalüüside tulemusel ei andnud hoone soojustamine suuri tulemusi Roosi 35 puhul. Hoone oli küllaltki heas seisukorras ja see ei täitnud õpilabori ambitsiooni. Antud hoone oli ka arhitektuuri ja muinsuskaitse seisukohast vastuoluline. Välisseinte soojustamine ei oleks olnud sobiv rekonstrueerimislahendus kuna hoone välisilmet tuleb säilitada võimalikult originaalsena. Omanikel oli aga valmisolek ja võimekus projektis osaleda. Ka Roosi 43 oli projekti jaoks liiga heas seisukorras. Omanik oli juba eelnevalt teostanud energiatõhusust andvaid rekonstrueerimistöid ning hoonel ei olnud enam potentsiaali saavutada 60% soojusenergiäsäästu. Sobimatuks osutus ka F. R. Kreutzwaldi 25a hoone, mis oli uuritavate hoonete hulgast muinsuskaitse seisukohast kõige väärtuslikum, kuid ka üks kõige kehvemas seisus olevaid hooneid. Muinsuskaitselisi piiranguid arvesse võttes (seinu ei saa väljastpoolt soojustada) ei täitnud seegi hoone esialgsete arvutuste kohaselt 60% kriteeriumit. Hoone otsustati siiski õpilaborisse kaasata, olles näidishooneks toimetulekustrateegiate leidmiseks muinsuskaitseliselt väärtuslike hoonete energiasäästu saavutamisel. Antud hoone puhul jäävad aga üles finantseerimisprobleemid ning leida tuleb täiendavaid rahastusvõimalusi.

Karja 6, Katariina allee 9 ning Liiva 9 vastasid konkursi tingimustele ja sobisid õpilaboris osalema, kuid omanikud ise ei soovinud protsessiga edasi minna. Karja 6 hoone puhul jäi esialgselt hinnatud renoveerimislahendus maksumuse osas omanikele liiga kalliks. Kui hoone oleks saanud liita tõhusa kaugküttevõrguga, oleksid lahendused olnud odavamad ja omanikele vastuvõetavamad. Katariina allee 9 omanikul oli küll tahe projektis osaleda kuid kuna majal oli juba laen peal, ei soovitud enam lisalaenu võtta. Liiva 9 loobumise põhjuseks olid keerulised omandisuhted, mis takistaksid kortermajadele mõeldud renoveerimistoetuse saamist. Samuti puudus omanikel selge ja ühtne plaan hoone tulevikus osas.

Kuigi Võru linn pakub omalt poolt rahalist tuge ehitusprojektide koostamiseks ning SA KredEx katab pool rekonstrueerimise maksumusest, peab ka ühistul endal finantseerimisvõimekus olema. Pakutavad toetused ei ole sageli piisavad, kuna omafinantseeringuks vajaliku rahasumma pangast laenamine käib maapiirkonna elanike sissetulekute ja kinnisvara väärtuse juures üle jõu. Väikesed

korteriühistud ei pruugi olla jõudnud hoone remondifondi ka piisavalt raha koguda, et omal jõul ära teha renoveerimistoetuse taotlemiseks vajalikud eeltoimingud ja täita vajalikud eeltingimused.

Lõpptulemusena jäi Võru renoveerimise õpilaboris osalema kuus hoonet: F. R. Kreutzwaldi 25a, Karja 23a, Katariina allee 4b, Liiva 19, Liiva 26 ja Mäe 4. Nende hoonete energiatõhusamaks renoveerimise võimalusi koos vastavate energiaarvutustega uuriti käesoleva lõputööga ka lähemalt.

2.4 Hoonete mõõdetud energiakasutus

Hoonete mõõdetud energiakasutuse ehk tarbimisandmete alusel saab määrata hoonete kaalutud energiakasutuse (KEK). Täpsemad juhised annab selleks määrus nr 36 „Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele¹⁴“ [14]. Hoonete mõõdetud energiakasutus põhineb viimase kolme aasta (2020-2022) tarbimisandmetel. Tarbimisandmed koguti hoonete omanikelt 2023. aasta märtsis. Tarbimisandmed puuduvad Karja 23a ja Liiva 19 kohta, kuna nendes hoonetes ei elata ja need on kasutusest väljas. F.R Kreutzwaldi 25a, Katariina allee 4b, Liiva 26 ja Mäe tn 4 tarbimisandmed on esitatud Tabelites 10...13.

Korterelamute energiaauditi koostamise juhendi kohaselt saab kortermajade tarbimisandmete usaldusväärsust hinnata varasemalt mõõdetud kortermajade keskmiste väärtustega köetava pindala suhtes. Juhendi järgi on rekonstrueerimata kortermajade soojuse eritarbimine kütteks tavaliselt 150...200 kWh/(m²·a). Elektri keskmine eritarbimine jääb vahemikku 25...30 kWh/(m²·a), millele lisandub 5...10 kWh/(m²·a) elektripliidi kasutamisel. Tarbevee keskmine maht on suurusjärgus 1,0 m³/(m²·a), millest ligikaudu 40% moodustab soe tarbevesi. [8, p. 7] Üheski uuritavas hoones ei ole mõõdetud eraldi sooja vee tarbimist. Seega sooja tarbevee koguseks on arvestatud 40% tarbitud külma vee kogusest.

F. R. Kreutzwaldi 25a hoone on kasutuses vaid osaliselt ja seda kinnitavad ka hoone kohta esitatud tarbimisandmed Tabelis 10. Tarbimisandmetest nähtub, et soojuseenergia ja elektrienergia erikulu on keskmisest madalamad. Lisaks on teada, et korterites puudub vesi ja kanalisatsioon ning seega ka pesemisvõimalus, mistõttu tarbitakse ka vett keskmisest vähem. Ruume köetakse puuküttel ahjudega, mehaaniline ventilatsioon puudub.

Tabel 10. F. R. Kreutzwaldi 25a viimase kolme aasta (2020-2022) mõõdetud energiakasutus

F. R. Kreutzwaldi 25a	2020	2021	2022	Keskmine	Ühik
Soojusenergia tarbimine hoones (mõõdetud)	13,0	13,0	13,0	13,0	MWh/a
Soojustarbimine kütteks	13,0	13,0	13,0	13,0	MWh/a
Baasaastale vastav soojustarbimine	16,8	13,5	14,2	14,8	MWh/a

F. R. Kreutzwaldi 25a	2020	2021	2022	Keskmine	Ühik
Soojusenergia erikulu köetava pinna kohta	71,6	57,8	60,7	63,4	kWh/(m ² ·a)
Elektrienergia tarbimine hoones (mõõdetud)	5,9	4,4	5,2	5,2	MWh/a
Eritarbimine köetava pinna kohta	25,4	18,6	22,2	22,1	kWh/(m ² ·a)
Külma vee tarbimine hoones (mõõdetud)	10,0	10,0	10,0	10,0	m ³ /a
Sooja tarbevee osakaal 40%	4,0	4,0	4,0	4,0	m ³ /a
Elektrienergia hinnanguline tarbimine sooja tarbevee kütmiseks	0,2	0,2	0,2	0,2	MWh/a
Elektrienergia erikulu vee soojendamiseks köetava pinna kohta	1,0	1,0	0,6	0,9	kWh/(m ² ·a)
Elektrienergia hinnanguline tarbimine valgustusele ja seadmetele	5,7	4,1	5,0	4,9	MWh/a
Elektrienergia erikulu valgustusele ja seadmetele köetava pinna kohta	24,4	17,6	21,2	21,1	kWh/(m ² ·a)
Energiatarbimine kokku:	22,7	17,9	19,4	20,0	MWh/a
Energiatarbimine kokku köetava pinna kohta:	97,0	76,4	83,0	85,4	kWh/(m²·a)

Katariina allee 4b hoone on täielikult kasutuses ja see kajastub ka tarbimisandmetes, Tabelis 11. Soojusenergia keskmisest suurem erikulu võib viidata keskmisest kehvemale piirdetarindite sooja- ja õhupidavusele, pliitide kasutamisele ja/või kehvast seisust ahjudele. Hoone elektrienergia erikulu ning vee tarbimise maht on aga ligilähedased rekonstrueerimata kortermajade keskmistele näitajatele.

Tabel 11. Katariina allee 4b viimase kolme aasta (2020-2022) mõõdetud energiakasutus

Katariina allee 4 b	2020	2021	2022	Keskmine	Ühik
Soojusenergia tarbimine hoones (mõõdetud)	80,6	78,0	91,0	83,2	MWh/a
Soojustarbimine kütteks	80,6	78,0	91,0	83,2	MWh/a
Baasaastale vastav soojustarbimine	103,9	81,1	99,5	94,8	MWh/a
Soojusenergia erikulu köetava pinna kohta	289,5	226,0	277,4	264,3	kWh/(m ² ·a)
Elektrienergia tarbimine hoones (mõõdetud)	10,4	12,0	21,0	14,5	MWh/a
Eritarbimine köetava pinna kohta	29,1	33,4	58,6	40,3	kWh/(m ² ·a)
Külma vee tarbimine hoones (mõõdetud)	198,0	216,0	180,0	198,0	m ³ /a
Sooja tarbevee osakaal 40%	79,2	86,4	72,0	79,2	m ³ /a
Elektrienergia hinnanguline tarbimine sooja tarbevee kütmiseks	4,6	5,0	4,2	4,6	MWh/a
Elektrienergia erikulu vee soojendamiseks köetava pinna kohta	12,9	14,0	10,1	12,3	kWh/(m ² ·a)
Elektrienergia hinnanguline tarbimine valgustusele ja seadmetele	5,8	6,9	16,8	9,9	MWh/a
Elektrienergia erikulu valgustusele ja seadmetele köetava pinna kohta	16,2	19,3	46,9	27,5	kWh/(m ² ·a)
Energiatarbimine kokku:	114,3	93,1	120,6	109,3	MWh/a
Energiatarbimine kokku köetava pinna kohta:	318,6	259,4	335,9	304,6	kWh/m²·a

Liiva 26 hoone veetarbimise kohta andmeid ei esitatud, kuigi hoone kõik korterid on kasutuses ning hoones on vesi ja kanalisatsioon olemas. Hoone ülevaatamise käigus nähtu ja kuuldu põhjal köetakse

sooja tarbevett elektriboileritega. Seega võib järeldada, et osa tarbitud elektrienergiast on kasutatud tarbevee soojendamiseks, mis aga Tabelis 12 ei kajastu. Hoonet köetakse puukütteil ahjudega, seejuures on ebausutavalt suur selle hoone soojusenergia erikulu – võrreldes rekonstrueerimata kortermajade keskmise soojusenergia erikuluga lausa 4 korda suurem.

Tabel 12. Liiva 26 viimase kolme aasta (2020-2022) mõõdetud energiakasutus

Liiva 26	2020	2021	2022	Keskmine	Ühik
Soojusenergia tarbimine hoones (mõõdetud)	148,2	148,2	148,2	148,2	MWh/a
Soojustarbimine kütteks	148,2	148,2	148,2	148,2	MWh/a
Baasaastale vastav soojustarbimine	191,0	154,1	162,1	169,1	MWh/a
Soojusenergia erikulu köetava pinna kohta	906,6	731,5	769,4	802,5	kWh/(m ² ·a)
Elektrienergia tarbimine hoones (mõõdetud)	5,5	5,8	11,1	7,5	MWh/a
Eritarbimine köetava pinna kohta	26,0	27,6	52,9	35,5	kWh/(m ² ·a)
Külma vee tarbimine hoones (mõõdetud)	0,0	0,0	0,0	0,0	m ³ /a
Sooja tarbevee osakaal 40%	0,0	0,0	0,0	0,0	m ³ /a
Elektrienergia hinnanguline tarbimine sooja tarbevee kütmiseks	0,0	0,0	0,0	0,0	MWh/a
Elektrienergia erikulu vee soojendamiseks köetava pinna kohta	0,0	0,0	0,0	0	kWh/(m ² ·a)
Elektrienergia hinnanguline tarbimine valgustusele ja seadmetele	5,5	5,8	11,1	7,5	MWh/a
Elektrienergia erikulu valgustusele ja seadmetele köetava pinna kohta	26,0	27,6	52,9	35,5	kWh/(m ² ·a)
Energiatarbimine kokku:	196,5	159,9	173,3	176,6	MWh/a
Energiatarbimine kokku köetava pinna kohta:	932,6	759,1	822,3	838,0	kWh/m²·a

Mäe 4 hoone on täielikult kasutuses ja see kajastub ka tarbimisandmetes, Tabelis 13. Hoone on ühendatud kaugkütte võrku, ruumide kütmine toimub tsentraalselt, radiaatoritega. Sooja tarbevett köetakse elektriboileritega. Hoone soojusenergia ja elektrienergia erikulu ning vee tarbimise maht vastavad rekonstrueerimata kortermajade keskmistele näitajatele.

Tabel 13. Mäe tn 4 viimase kolme aasta (2020-2022) mõõdetud energiakasutus

Mäe tn 4	2020	2021	2022	Keskmine	Ühik
Soojusenergia tarbimine hoones (mõõdetud)	51,4	61,1	58,4	57,0	MWh/a
Soojustarbimine kütteks	51,4	61,1	58,4	57,0	MWh/a
Baasaastale vastav soojustarbimine	66,3	63,5	63,9	64,6	MWh/a
Soojusenergia erikulu köetava pinna kohta	159,8	153,2	154,2	155,8	kWh/(m ² ·a)
Elektrienergia tarbimine hoones (mõõdetud)	21,3	20,8	21,1	21,0	MWh/a
Eritarbimine köetava pinna kohta	51,3	50,1	50,8	50,7	kWh/(m ² ·a)
Külma vee tarbimine hoones (mõõdetud)	180,0	363,0	315,0	286,0	m ³ /a
Sooja tarbevee osakaal 40%	72,0	145,2	126,0	114,4	m ³ /a
Elektrienergia hinnanguline tarbimine sooja tarbevee kütmiseks	4,2	8,5	7,4	6,7	MWh/a

Mäe tn 4	2020	2021	2022	Keskmine	Ühik
Elektrienergia erikulu vee soojendamiseks köetava pinna kohta	10,1	20,4	17,7	16,1	kWh/(m ² ·a)
Elektrienergia hinnanguline tarbimine valgustusele ja seadmetele	17,1	12,3	13,7	14,4	MWh/a
Elektrienergia erikulu valgustusele ja seadmetele köetava pinna kohta	41,2	29,6	33,1	34,6	kWh/(m ² ·a)
Energiatarbimine kokku:	87,6	84,3	85,0	85,6	MWh/a
Energiatarbimine kokku köetava pinna kohta:	211,2	203,3	205,0	206,5	kWh/m²·a

Hoonete mõõdetud energiakasutust võrreldakse määruse nr 58 „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika”¹⁴ kohase standardkasutusest lähtuva arvutusliku energiakasutusega. Võrdlus on välja toodud lõputöö peatükis 2.5.2.

2.5 Hoonete arvutuslik energiakasutus

Hoone arvutuslikku energiakasutust väljendab energiatõhususarv *ETA*. Energiatõhususarvu välja selgitamiseks on vaja teha energiaarvutused hoone tüüpilisel ehk standardkasutusel. Erinevalt mõõdetud energiakasutusest, kus hoone kogu energiatarbimine on kindlaks tehtud tegelikult tarbitud energiakoguste mõõtmise põhjal, määratakse hoone arvutuslik energiakasutus komplekselt hoone piirdetarindite mõõtmete ja soojustehniliste omaduste, kasutusel olevate tehnosüsteemide ja taastuvenergialahenduste ning määruses nr 58 „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika”¹⁴ toodud välis- ja sisekliima, hoone ja tehnosüsteemi kasutus- ja käiduaegade, vabasoojuse ning välispiirete õhulekke lähteandmetega. [10] Arvutusliku energiakasutuse määramine olemasolevate hoonete puhul on vajalik, et teha kindlaks, milline on hoonete energiakasutus juhul, kui hoonete sisekliima vastab Eesti standardi EVS-EN 16798-1:2019 sisekliimaklassi II nõuetele ning hooned on oma tüüpilises kasutuses [8, p. 7]. Selleks, et välja selgitada hoone arvutuslik energiakasutus, tuleb teha kindlaks soojuskaod läbi hoone piirdetarindite, määrata hoone tüüpiline kasutus, välja selgitada kasutusel olevatest tehnosüsteemidest tulenev energiakasutus ning taastuvenergia lahendustest kaetav energiakulu.

Järgnevates alapeatükkides antaksegi ülevaade kõigi uuritud hoonete rekonstrueerimiseelse arvutusliku energiavajaduse määramiseks vajalikest lähteandmetest ning seejärel nende lähteandmete alusel arvutatud energiakasutustest. Saadud tulemuste põhjal määratakse hoonete rekonstrueerimiseelsed energiaklassid ning hinnatakse nende hoonete rekonstrueerimiseelset rahalist kulu jooksvate energiavajaduste katmiseks. Olemasoleva olukorra väljaselgitamine võimaldab hiljem hinnata tervikliku rekonstrueerimise mõju nii hoonete energiakasutusele kui energiavajaduste katmiseks tehtavale rahalisele kulule.

2.5.1 Soojuskaod läbi piirdetarindite

Soojuskaod läbi piirdetarindite määravad põhiosas ära hoone kütteenergiavajaduse, mis omakorda mõjutab kõige enam hoone kogu energiakasutust. Seetõttu mängivad hoone välispiirded energiaarvutustes olulist rolli. Välispiire on ruumi välisõhust eraldav piirdetarind. Piirdetarinditeks on näiteks põrand pinnasel, mitteköetava keldri lagi, välissein koos akende ja ustega, mitteköetava pööningu põrand ehk pööningu vahelagi jne [30]. Soojuskaod läbi hoone välispiirete on võrdelised nende pindala ja soojusläbivusega. Välispiirete soojuskadu mõjutavad lisaks ka tarindites olevad külmasillad ja õhulekked. Hoone välispiirete soojapidavust iseloomustatakse summaarse soojuserikaoga köetava pinna ruutmeetri kohta ning see arvutatakse valemi (2) abil [31, p. 20]:

$$\frac{\Sigma H}{A_{köetav}} = \frac{\Sigma U_i \cdot A_i + \Sigma \Psi_j \cdot I_j + \Sigma \chi_p \cdot n_p + \rho_a \cdot c_a \cdot V_{inf}}{A_{köetav}}, \quad (2)$$

kus	ΣH	– välispiirde summaarne soojuserikadu, W/K;
	U_i	– tarindi soojusläbivus, W/(m ² ·K);
	A_i	– tarindiosa pindala, m ² ;
	Ψ_j	– külmasilla joonsoojusjuhtivus, W/(m·K);
	I_j	– joonkülmasilla pikkus, m;
	χ_p	– külmasilla punktsoojusjuhtivus, W/(m·K);
	I_j	– punktkülmasildade arv, m;
	I_j	– joonkülmasilla pikkus, m;
	V_{inf}	– infiltratsiooni õhuvoolum, m ³ /s;
	ρ_a	– õhutihedus, 1,2 kg/m ³ ;
	c_a	– õhu erisoojus, 1005 J/(kg·K);
	$A_{köetav}$	– köetavate ruumide netopind, m ² .

Juhised hoone piirdetarindite ja komponentide soojusläbivuse arvutamiseks annab Eesti Standard EVS-EN ISO 6946:2017 [32]. Lõputöös on hoone piirdetarindi soojusläbivuste arvutamisel kasutatud lihtsustatud arvutusmeetodit, mille põhimõtte on järgmine [32, p. 16]:

- arvutatakse hoone piirdetarindi iga soojuslikult homogeense või mittehomoogeense osa soojustakistus;
- üksikute kihtide soojustakistuste järgi määratakse hoone piirdetarindi kogusoojustakistus, võttes (vajaduse korral) arvesse ka pindade soojustakistuste mõju;
- arvutatakse soojusläbivus;

- vajadusel korrigeeritakse soojusläbivust.

Soojusläbivus U on võrdne tarindi kogusoojustakistuse R_{tot} pöördväärtusega, vastavalt valemile (3) [32, p. 17]:

$$U = \frac{1}{R_{tot}}, \quad (3)$$

kus U – soojusläbivus, W/(m²·K);
 R_{tot} – kogusoojustakistus, m²·K/W.

Soojuslikult homogeensetest kihtidest koosneva tasapinnalise komponendi kogusoojustakistus R_{tot} , sellega risti kulgevale soojusvoole arvutatakse valemiga (4) [32, p. 18]:

$$R_{tot} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, \quad (4)$$

kus R_{tot} – kogusoojustakistus, m²·K/W;
 R_{si} – piirdetarindi sisepinna soojustakistus, m²·K/W;
 $R_1, R_2 \dots R_n$ – iga kihi arvutuslik soojustakistus, m²·K/W;
 R_{se} – piirdetarindi välispinna soojustakistus, m²·K/W;

Piirdetarindite sise- ja välispinna soojustakistused sõltuvad soojusvoo suunast ning määratakse vastavalt Eesti standardis EVS-EN ISO 6946:2017 [32, p. 22] toodud väärtustele.

Soojuslikult homogeense materjalikihi soojustakistus R leitakse valemiga (5):

$$R = \frac{d}{\lambda}, \quad (5)$$

kus R – soojustakistus, m²·K/W;
 d – materjalikihi paksus komponendis, m;
 λ – materjali arvutuslik soojuserijuhtivus, W/(m·K).

Juhul kui materjalikihi soojuserijuhtivus põhineb mõõdetud andmetel, tuleb välja arvutada materjalikihi arvutuslik soojuserijuhtivus vastavalt standardi ISO 10456 [33] juhiste. Muudel juhtudel saadakse materjalikihi soojuserijuhtivus sama standardi tabelväärtustest. [32, p. 18] Kui deklareeritavate, mõõte- või tabeliväärtuste piirtingimused vastavad tegelikele tingimustele, võib neid väärtusi kasutada otse kui arvutusväärtusi [33, p. 8].

Mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistus leitakse valemiga (6) [34]:

$$R_{tot} = \frac{R_{tot;upper} + R_{tot;lower}}{2}, \quad (6)$$

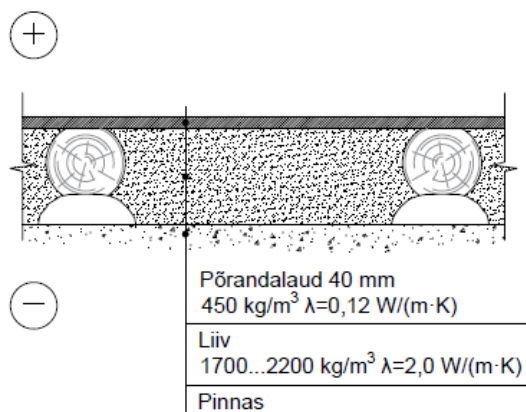
- kus R_{tot} – mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistus;
 $R_{tot;upper}$ – mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga risti olevaid seksioone), $m^2 \cdot K/W$;
 $R_{tot;lower}$ – mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga paralleelselt olevaid seksioone), $m^2 \cdot K/W$;

Lisaks eeltoodud üldistele arvutuspõhimõtetele tuleb iga piirdetarindi tüübi soojuslähivuse arvutamisel arvestada ka selle eripärast tulenevate nüanssidega, mistõttu on mõne piirdetarindi soojuslähivuse arvutusvalem mõnevõrra keerukam. Selgitused lõputöös kasutatud arvutuspõhimõtete ja valemite kohta on esitatud iga piirdetarindi tüübi juures.

Välispiirde summaarse soojuserikao arvutamisel peab arvesse võtma ka külmasildade mõju ja piirdetarindite õhupidavust. Lõputöös kasutatud külmasildade soojuslähivuse arvutusväärtused ja õhulekke arvud on hinnangulised. Hindamisel on lähtutud uuringu „Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga“ [29] tulemustest.

2.5.1.1 Põrand pinnasel

Kohapealsete vaatluste põhjal hinnati, et kõigi kuue hoone I korruse põrandad, mis ei olnud keldri kohal, olid rajatud pinnasele. Hinnanguline pinnasel oleva põranda konstruktsioon on näidatud Joonisel 14.



Joonis 14. Põrand pinnasel (P-1)

Juhised pinnasel põrandate soojuslähivuse arvutamiseks annab standard EVS-EN ISO 13370:2008. Pinnasel asuva põranda soojuslähivus sõltub põranda tunnusmõõdust B ja ekvivalentsest kogupaksusest d_f . Soojuslähivuse arvutamiseks valitakse valem sõltuvalt sellest, kumb eelnimetatud näitajatest suurem on. Soojustamata ja mõõdukalt soojustatud põrandatele on iseloomulik et põranda ekvivalente kogupaksus on väiksem kui põranda tunnusmõõt. [35, pp. 12-13] Nii on ka lõputöös pinnasel oleva põranda soojuslähivuse arvutamisel kasutatud valemit (7) [35, pp. 12-13]:

$$U_i = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1 \right), \quad (7)$$

- kus U_i – piirdetarindi soojuslähivus, $W/(m^2 \cdot K)$;
 λ – pinnase soojuseri juhtivus (külumumata pinnas), $W/(m \cdot K)$;
 B' – põranda tunnusmõõtmed, m;
 d_t – pinnasel asuva põranda ekvivalentne kogupaksus, m.

Arvutuslikud hoonete pinnasel asuvate põrandate soojuslähivused ja vastavad soojusjuhtivused on esitatud Tabel 14.

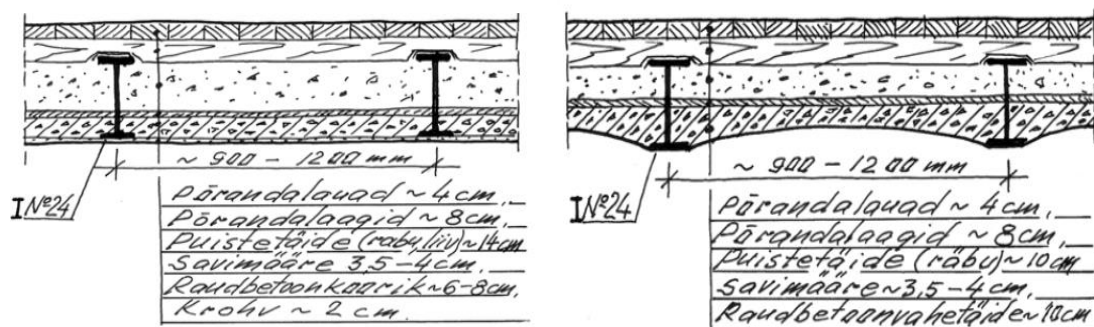
Tabel 14. Soojuskadu pinnasel oleva põranda (P-1) kaudu

Hoone ja tarindi tüüp	Tarindi pindala A_i , m^2	Tarindi soojusjuhtivus U , $W/(m^2 \cdot K)$	Tarindi soojuserikulu $H_{juhtivus}$, W/K
Põrand pinnasel P-1			
F. R. Kreutzwaldi 25a	167,5	0,53	89,5
Karja 23a	91,1	0,72	66,0
Katariina 4b	122,2	0,63	77,1
Liiva 19	155,6	0,62	95,9
Liiva 26	89,5	0,73	65,2
Mäe 4	74,6	0,73	54,3

Tabelis toodud piirdetarindi soojuserikulu $H_{juhtivus}$ väärtus on saadud tarindi pindala A_i ja tarindi soojuslähivuse U_i korrutamisel.

2.5.1.2 Keldri lagi

Kõikides hoonetes oli olemas kütmata kelder, kuid vaid Karja 23a hoones oli kelder maja keskel ja sissepääsuga hoonest seest. Kuna Karja 23a keldri kohta olid puudulikud andmed, siis selle hoone puhul otsustati keldri lage arvutustes mitte arvesse võtta ja lugeda kõik selle hoone I korruse põrandad pinnasel olevaks. Ülejäänud viie hoone puhul oli võimalik keldrisse pääseda ning hinnata keldri lae konstruktsiooni. Hinnangulised keldrite lagede lõiked on näidatud Joonisel 15.



Joonis 15. Keldri lae (K-1) oletatavad konstruktsioonid ja materjalide kihid [36, pp. 3-4]

Kõikide hoonete kütmata keldri lae soojuslähivused on leitud valemiga (8) [35, p. 18]:

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{U_f} + \frac{A_i}{(A_i U_{bf}) + (z P U_{bw}) + (h P U_w) + (0,33 \times n V)}, \quad (8)$$

- kus U_i – piirdetarindi soojuslähivus, $W/(m^2 \cdot K)$;
 U_f – väliskeskkonna ja keldri vahelise põranda soojuslähivus, $W/(m^2 \cdot K)$;
 U_w – keldriseinte soojusjuhtivus maapinnast kõrgemal, $W/(m^2 \cdot K)$;
 U_{bf} – keldripõranda soojuslähivus, $W/(m^2 \cdot K)$;
 U_{bw} – keldriseina soojuslähivus, $W/(m^2 \cdot K)$;
 A_i – keldri lae pindala, m^2 ;
 P – põranda avatud perimeeter, m;
 z – keldri sügavus maapinna suhtes, m;
 h – põrandapinna kõrgus ümbritseva pinnase tasapinna suhtes, m;
 n – keldri õhuvahetuskordsus tunni kohta, võib kasutada suurust $0,3 h^{-1}$;
 V – keldri sisekubatuur, m^3 .

Arvutuslikud hoonete keldri lagede soojuslähivused ja vastav soojuserikulu on esitatud Tabelis 15.

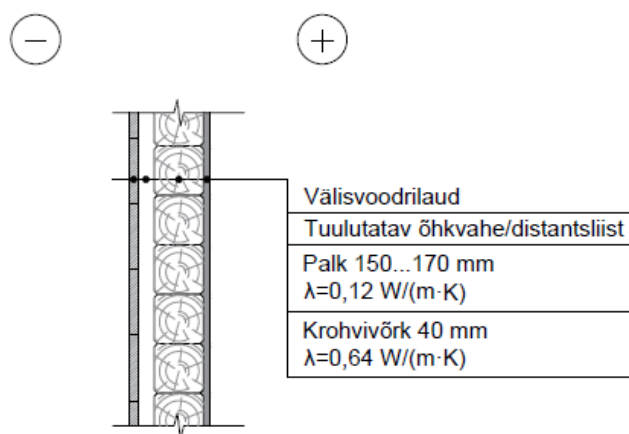
Tabel 15. Soojuskadu keldri lae (K-1) kaudu

Hoone ja tarindi tüüp	Tarindi pindala A_i , m^2	Tarindi soojusjuhtivus U , $W/(m^2 \cdot K)$	Tarindi soojuserikulu $H_{juhtivus}$, W/K
Keldri lagi K-1			
Kreutzwaldi 25a	23,0	0,50	11,5
Karja 23a	0,0	0,00	0,0
Katariina 4b	80,5	0,54	43,7
Liiva 19	31,3	0,53	16,7
Liiva 26	50,6	0,52	26,1
Mäe 4	160,6	0,56	89,5

Tabelis toodud piirdetarindi soojuserikulu $H_{juhtivus}$ väärtus on saadud tarindi pindala A_i ja tarindi soojuslähivuse U_i korrutamisel.

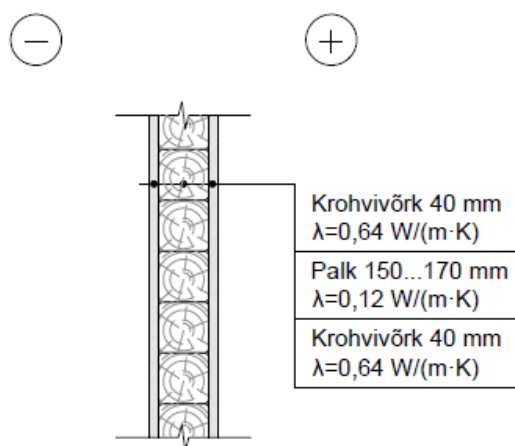
2.5.1.3 Välissein

Välisõhuga kontaktis olevaid seina tüüpe tuvastati neli erinevat: VS-1, VS-2, VS-3 ja VS-4. Kõige tüüpilisemaks välisseina konstruktsiooniks oli VS-1 tüüpi sein, mida esines kuuest hoonest viiel: F. R. Kreutzwaldi 25a, Karja 23a, Katariina allee 4b, Liiva 19 ja Liiva 26. Välisseina VS-1 tüüpiline lõige on näidatud Joonisel 16.



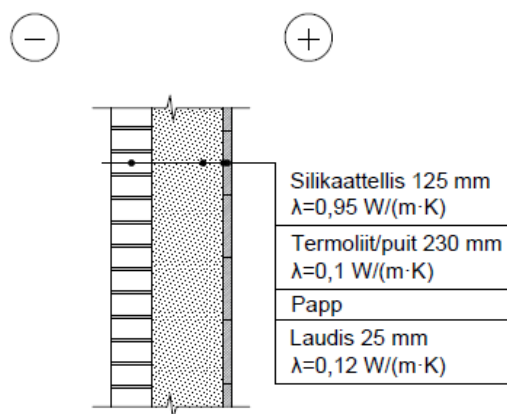
Joonis 16. Välisseina tüüp VS-1

Välisseina tüüpi VS-2 esines Kreutzwaldi 25a hoone teisel korrusel katuse all olevate ruumide piirdetarindina ja Katariina allee 4b hoone tänavapoolsel osal. Välisseina VS-2 tüüpiline lõige on näidatud Joonisel 17.



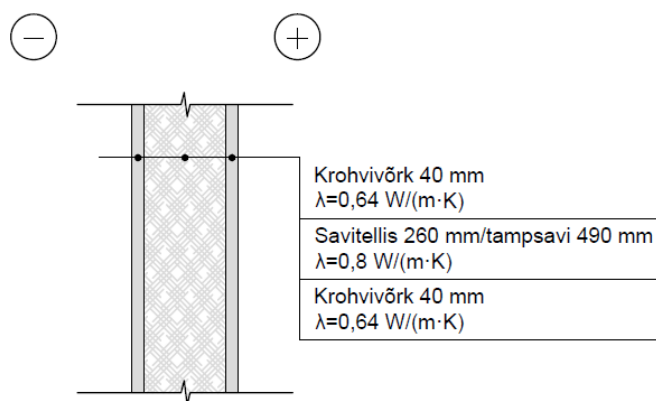
Joonis 17. Välisseina tüüp VS-2

Välisseina tüüp VS-3 esines vaid Mäe 4 hoone. Mäe 4 hoone oli ainus tellisseintega hoone, täpsemalt nn Harju tüüpi seintega hoone. See hoone üllataski projekti meeskonda just oma Harju tüüpi seintega, mis on iseloomulikud pigem eramutele, mitte aga kortermajadele. Välisseina VS-3 tüüpiline lõige on näidatud Joonisel 18.



Joonis 18. Välisseina tüüp VS-3 (Harju sein)

Välisseina tüüp VS-4 esines Katariina allée 4b hoone ühes otsaseinas. I korruse otsasein, mida peetakse muinsuskaitse seisukohast väga väärtuslikuks, on 490 mm tampsavist ja pealt krohvitud ning sama otsasein II korruse osas on 260 mm savitellistest pealt krohvitud. Tüüpsein VS-4 jaguneb seega vastavalt VS-4-A ja VS-4-B. Välisseina tüüp VS-4 on näidatud Joonisel 19.



Joonis 19. Välisseina tüüp VS-4 (tampsavist sein VS-4-A ja savitellistest sein VS-4-B)

Välisseinte soojusläbivused U_i on arvutatud valemi (3) järgi. Seejuures soojustakistuse R_{tot} arvutamisel on olenevalt tarindi homogeensusest või mittehomoogeensusest kasutatud valemit (4) või (5). Arvutuslikud hoonete välisseinte soojusläbivused ja vastav soojuserikulu on esitatud Tabelis 16.

Tabel 16. Soojuskadu välisseina (VS-1, VS-2, VS-3, VS-4A ja VS-4-B) piirdetarindi kaudu

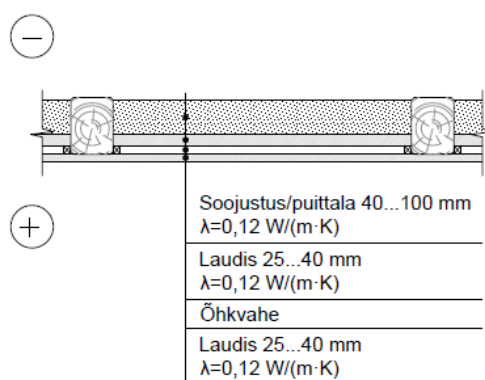
Hoone ja tarindi tüüp	Tarindi pindala A_i , m ²	Tarindi soojusjuhtivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojuserikulu $H_{juhtivus}$, W/K
Välissein VS-1			
Kreutzwaldi 25a	182,5	0,61	110,6
Karja 23a	102,2	0,61	61,9
Katariina 4b	206,0	0,62	127,6
Liiva 19	213,6	0,61	130,6
Liiva 26	240,4	0,61	146,3
Välissein VS-2			
Kreutzwaldi 25a	91,6	0,65	59,3
Katariina 4b	18,6	0,65	12,0
Välissein VS-3			
Mäe 4	330,8	0,36	117,7
Välissein VS-4-A			
Katariina 4b	73,2	1,10	80,6
Välissein VS-4-B			
Katariina 4b	25,5	1,61	41,1

Tabelis toodud piirdetarindi soojuserikulu $H_{juhtivus}$ väärtus on saadud tarindi pindala A_i ja tarindi soojuslähivuse U_i korrutamisel.

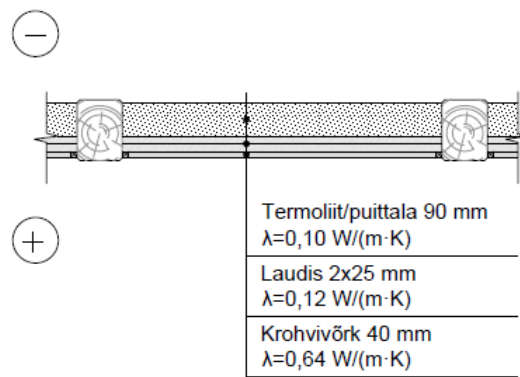
2.5.1.4 Pööningu vahelagi

Kõikidel hoonetel oli külm pööning, seega välispiirdeks loeti pööningu vahelage. Pööningu vahelae tüüpe tuvastati kolm: L-1, L-2 ja L-3. Kõige tüüpilisemaks osutus pööningu vahelae tüüp L-1, mida esines neljal hoonel kuuest: F.R. Kreutzwaldi 25a, Katariina allee 4b, Liiva 19 ja Liiva 26.

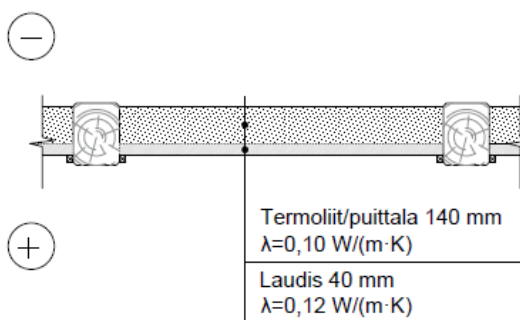
Pööningu vahelae L-1 tüüpiline lõige on näidatud Joonisel 20. Pööningu vahelae tüüp L-2 esines vaid Karja 23a hoones, vastav lõige on näidatud Joonisel 21. Pööningu vahelae tüüp L-3 esines vaid Mäe tn 4 hoones, vastav lõige on näidatud Joonisel 22.



Joonis 20. Pööningu vahelagi (L-1)



Joonis 21. Pööningu vahelagi (L-2)



Joonis 22. Pööningu vahelagi (L-3)

Pööningu vahelae soojusläbivus arvutatakse analoogselt välisseina soojusläbivuse arvutustele. Võrreldes välisseina piirdetarindiga liigub pööningu vahelae puhul soojus alt üles, mistõttu on sise- ja välispinna soojustakistuste väärtused välisseinte samadest väärtustest pisut erinevad. Arvutuslikud hoonete pööningu vahelae soojusläbivused ja vastav soojuserikulu on esitatud Tabelis 17.

Tabel 17. Soojuskadu pööningu vahelae (L-1, L-2 ja L-3) piirdetarindi kaudu

Hoone ja tarindi tüüp	Tarindi pindala A_i , m ²	Tarindi soojusjuhtivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojuserikulu $H_{juhtivus}$, W/K
Pööningu vahelagi L-1			
Kreutzwaldi 25a	190,5	1,12	214,1
Katariina 4b	202,7	0,63	126,8
Liiva 19	186,9	0,79	147,7
Liiva 26	140,2	1,03	144,0
Pööningu vahelagi L-2			
Karja 23a	91,1	0,65	59,4
Pööningu vahelagi L-3			
Mäe 4	235,2	0,53	125,6

Tabelis toodud piirdetarindi soojuserikulu $H_{juhtivus}$ väärtus on saadud tarindi pindala A_i ja tarindi soojusläbivuse U_i korrutamisel.

2.5.1.5 Avatäited

Avatäideteks on aknad ja uksed. Kõik uuritud hooned paiknesid ilmakaarte suhtes edela-kirde ning loode-kagu suunaliselt. Olemasolevate akende ja uste soojuslähivused määrati hinnanguliselt uuringu „Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga“ [29] tulemuste põhjal. Arvutustes kasutatud akende ja uste soojuslähivused ja vastavad soojusjuhtivused on esitatud Tabelis 18.

Tabel 18. Soojuskadu akende ja uste kaudu

Hoone ja tarindi tüüp	Tarindi pindala A_i , m ²	Tarindi soojusjuhtivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojuserikulu $H_{juhtivus}$, W/K
Aknad			
Kreutzwaldi 25a	26,8	2,30	61,6
Karja 23a	10,8	2,10	22,7
Katariina 4b	64,4	1,65	106,3
Liiva 19	38,5	2,22	85,4
Liiva 26	39,1	1,40	54,8
Mäe 4	66,1	1,47	97,2
Välisüksed			
Kreutzwaldi 25a	2,9	2,00	5,9
Karja 23a	4,6	2,00	9,2
Katariina 4b	9,0	2,00	18,1
Liiva 19	6,8	2,00	13,6
Liiva 26	6,9	2,00	13,9
Mäe 4	7,6	2,00	15,2

Tabelis toodud piirdetarindi soojuserikulu $H_{juhtivus}$ väärtus on saadud tarindi pindala A_i ja tarindi soojuslähivuse U_i korrutamisel.

2.5.1.6 Välispiirde summaarne soojuserikadu

Kokkuvõtlik ülevaade uuritud hoonete piirdetarindite soojuslähivustest, soojuserikulust ning nende põhjal arvutatud välispiirde summaarsest soojuserikaost on esitatud Tabelis 19. Iga hoone kohta esitatud andmed on kantud ka määruse nr 58 „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika“ lisas 2 ette antud energiaarvutuste lähteandmete esitamise blanketile, mis on koostatud *Microsoft Exceli* arvutustabeli abil. Täidetud andmetega blanketid on iga hoone kohta esitatud lõputöö Lisades.

Edasiste energiaarvutuste tegemiseks korrutatakse välispiirde summaarne soojuserikadu hoone tasakaalutemperatuurile vastava kütteperioodi kraadpäevade arvuga, mille tulemusel leitakse ruumide kütte netoenergiavajadus köetava pinna ruutmeetri kohta aastas.

Tabel 19. Koondülevaade hoonete rekonstrueerimiseelsete piirdetarindite soojuslähivustest, soojuserikulust ja summaarsest soojuserikaost

	P-1	K-1	VS-1	VS-2	VS-3	VS-4-A	VS-4-B	L-1	L-2	L-3	Aknad	Välis- uksed	A _i kokku, m ²	H _{juhtivus} kokku, W/K	H _{joonsl} kokku, W/K	H _{õhuleke} kokku, m ³ /(h·m ²)	H kokku, W/K	H/A kokku, W/(K·m ²)
F. R. Kreutzwaldi 25a, korruste arv 2, köetav pind 234,1 m ²																		
U, W/(m ² ·K)	0,53	0,50	0,61	0,65				1,12			2,30	2,0						
A _i , m ²	167,5	23,0	182,5	91,6				190,5			26,8	2,9	684,8					
H _{juhtivus} , W/K	89,5	11,5	110,6	59,3				214,1			61,6	5,9		552,3	27,5	86,0	665,9	2,8
Karja 23a, korruste arv 1, köetav pind 79,4 m ²																		
U, W/(m ² ·K)	0,72		0,61						0,65		2,10	2,0						
A _i , m ²	91,1		102,2						91,1		10,8	4,6	299,8					
H _{juhtivus} , W/K	66,0		61,9						59,4		22,7	9,2		219,1	20,8	25,8	265,7	3,3
Katariina allée 4b, korruste arv 2, köetav pind 358,9 m ²																		
U, W/(m ² ·K)	0,63	0,54	0,62	0,65		1,10	1,61	0,63			1,65	2,0						
A _i , m ²	122,2	80,5	206,0	18,6		73,2	25,5	202,7			64,4	9,0	802,1					
H _{juhtivus} , W/K	77,1	43,7	127,6	12,0		80,6	41,1	126,8			106,3	18,1		633,3	36,7	100,8	770,8	2,1
Liiva 19, korruste arv 2, köetav pind 267,5 m ²																		
U, W/(m ² ·K)	0,62	0,53	0,61					0,79			2,22	2,0						
A _i , m ²	155,6	31,3	213,6					186,9			38,5	6,8	632,7					
H _{juhtivus} , W/K	95,9	16,7	130,6					147,7			85,4	13,6		489,9	34,8	79,5	604,2	2,3
Liiva 26, korruste arv 2, köetav pind 210,7 m ²																		
U, W/(m ² ·K)	0,73	0,52	0,61					1,03			1,4	2,0						
A _i , m ²	89,5	50,6	240,4					140,2			39,1	6,9	566,7					
H _{juhtivus} , W/K	65,2	26,1	146,3					144,0			54,8	13,9		450,3	28,0	71,2	549,4	2,6
Mäe 4, korruste arv 2, köetav pind 414,6 m ²																		
U, W/(m ² ·K)	0,73	0,56			0,36					0,53	1,47	2,0						
A _i , m ²	74,6	160,6			330,8					235,2	66,1	7,6	874,9					
H _{juhtivus} , W/K	54,3	89,5			117,7					125,6	97,2	15,2		499,5	38,4	73,3	611,1	1,5

2.5.2 Hoonete standardkasutus ja tehnosüsteemidest tulenev energiakasutus

Hoone standardkasutus ehk tüüpiline kasutus on hoone kasutamise otstarbest, välis- ja sisekliimast, hoone ja tehnosüsteemide kasutusajast ning vabasoojusest tulenev hoone tavapärase kasutus energiatõhususe miinimumnõuetele vastavuse tõendamisel [10]. See tähendab, et arvutusliku energiakasutuse arvutused tehakse hoone kasutusotstarbele iseloomulike, määrustega paika pandud ruumitemperatuuride, ventilatsiooni õhuhulkade, sooja tarbevee, inimeste arvu ning valgustuse ja seadmete kasutuse lähteandmetega [31, p. 10].

Elamute puhul eristatakse kolme kasutusotstarvet [7]:

- ühe või kahe korteriga elamu või ridaelamu (edaspidi väikeelamu);
- kolme või enama korteriga elamu või ühiselamuhoonet (edaspidi korterelamu);
- kasarmu.

Viie lõputöös uuritava hoone kasutusotstarbeks on korterelamu ja üks hoone, Karja 23a, liigitub väikeelamuks. Oluliselt rekonstrueeritava korterelamu energiatõhususe piirväärtuseks on $150 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ning väikeelamu köetava pinnaga alla 120 m^2 energiatõhususe piirväärtuseks on $165 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ [7]. Need vastavad energiaklassile C [14].

Energiaarvutus ja suvise ruumitemperatuuri kontroll tehakse Eesti energiaarvutuste baasaastaga, mis ei sõltu hoone asukohast [10]. Elamu ruumitemperatuuri seadeväärtusena kasutatakse lihtsustatud arvutusmeetodi korral kütmisel 21°C ja jahutamisel 27°C ning ventilatsiooni õhuvooluhulga väärtuseks võetakse alla 120 m^2 köetava pinnaga väikeelamus ja korterelamus $0,5 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ [7]. Sooja tarbevee erikuluna kasutatakse mõlema kasutusotstarbe puhul $516 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, millele vastav netoenergiavajadus on $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. [10]

Korterelamu tüüpilised kasutusajad ja vabasoojused on järgmised [10]:

- kasutusaeg 24 tundi ööpäevas ja 7 päeva nädalas;
- kasutusaste 0,6;
- soojuseraldus valgustusest väikeelamus $6 \text{ W}/\text{m}^2$ ja korterelamus $8 \text{ W}/\text{m}^2$, valgustuse kasutusaste 0,1;
- soojuseraldus seadmetest $3 \text{ W}/\text{m}^2$, mis tuleb jagada läbi teguriga 0,7;
- soojuseraldus inimestest $3 \text{ W}/\text{m}^2$, mis tuleb jagada läbi teguriga 0,6;
- ruutmeetrite arv inimese kohta $28,3 \text{ m}^2/\text{inimene}$.

Tuleb tõdeda, et eeltoodud hoone standardkasutusest sõltuvad arväärtused sobivad energiaarvutuste tegemisel kasutamiseks pigem juhul, kui hoone, millele energiaarvutust tehakse, on täielikult või peaaegu täielikult kasutuses ning hoones on elementaarsed elamistingimused tagatud. Lõputöös uuritud kuuest hoonest vastab eelnimetatud kriteeriumitele täielikult vaid Mäe 4 korterelamu. Kaks hoonet, Karja 23a ja Liiva 19, on kasutusest täielikult väljas, kuna vajalikud elamistingimused puuduvad. Katariina allee 4b ja Liiva 26 on peaaegu täielikult kasutuses, kuid kehvemapoolse ehitusliku seisukorra ning puudulike tehnosüsteemidega. F. R. Kreutzwaldi 25a hoone on küll osaliselt kasutuses, kuid kehvast seisukorras nii ehitustehniliselt kui tehnosüsteemide poolest. Selleks, et hoonete rekonstrueerimiseelne arvutuslik energiakasutus oleks realistlikum ja et ei ülehinnataks rekonstrueerimisega saavutatavat energiasäästu, on lõputöös kasutatud kolme erinevat standardkasutuse varianti – A, B ja C:

- Standardkasutuse variandi A puhul on kasutatud energiatõhususe miinimumnõuete tõendamiseks ettenähtud standardkasutuse lähteandmeid, mille kohaselt on ruumitemperatuuri seadeväärtuseks kütmisel määratud $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja tarbevee soojendamise netoenergiavajaduseks $30\text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$. Standardkasutuse variandiga A on energiaarvutused tehtud kõikidel hoonetel.
- Standardkasutuse variandi B puhul otsustati uurimisrühma arutelude tulemusel määrata ruumitemperatuuri seadeväärtuseks kütmisel $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja tarbevee soojendamise netoenergiavajaduseks $30\text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ asemel $24\text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$. Ülejäänud lähteandmeid ei muudetud. Standardkasutuse variandiga B on energiaarvutused tehtud viiel hoonel. Mäe 4 hoone puhul ei peetud standardkasutuse variante B ja C asjakohasteks.
- Standardkasutuse variandi C puhul on ruumitemperatuuri seadeväärtuseks kütmisel määratud $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja tarbevee soojendamise netoenergiavajaduseks $24\text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$. Ülejäänud lähteandmeid ei muudetud. Standardkasutuse variandiga C on energiaarvutus tehtud vaid F. R. Kreutzwaldi 25a hoonel, teiste hoonete puhul ei peetud seda asjakohaseks.

Energiaarvutustes leitakse hoone soojus- ja elektrienergia kasutused nende netoenergiavajaduste jagamisel vastava süsteemi kasuteguriga ning need kajastatakse arvutustes summaarse energiakasutuse all. Summaarsed energiakasutused korrutatakse omakorda läbi energiakandjate kaalumisteguritega ja leitakse primaarenergiate kasutus. Viimaks lahutatakse primaarenergia kasutusest maha taastuvenergia lahendustest saadav kaalutud soojus- ja/või elektrienergia võimsus ning leitakse hoone energiatõhususarv.

Uuritavatest hoonetest ühes, Mäe 4 hoones, on soojusallikaks tõhus kaugküte kasuteguriga 0,9 ja energiakandjaks on tõhus kaugküte kaalumisteguriga 0,65. Ülejäänud viies hoones on soojusallikaks

ahi kasuteguriga 0,6 ja energiakandjaks on puit kaalumisteguriga 0,65. Üheski hoones ei ole kasutusel mehaanilist ventilatsiooni ega jahutust. Ventilatsiooniõhu soojendamine toimub ruumide kütte arvelt ja seega on ventilatsiooniõhu soojendamise soojusallika kasutegur ja energiakandja kaalumistegur samad, mis küttesüsteemil. Rekonstrueerimiseelse olukorra akende tuulutusest tekkiva ventilatsiooniõhu hulga on arvestatud $0,05 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$. See väärtus määrati uurimisrühma arutelude tulemusel. Sooja tarbevett köetakse kõikides hoonetes elektriboileritega. Elektrienergiaga köetava sooja tarbevee summaarne energiakasutus on võrdne netoenergiavajadusega, kuna elektri otsekütte puhul on soojusallika kasuteguriks 1,0. Primaarenergia kasutuse arvutamisel korrutatakse see omakorda läbi elektrienergia kaalumisteguriga 2. Summaarenergia kasutus sisaldab ka elektrienergia vajadust valgustusele ja seadmetele. Need väärtused võetakse hoone standardkasutusest tulenevatest lähteandmetest. Primaarenergia kasutuse arvutamisel korrutatakse need väärtused samuti elektrienergia kaalumisteguriga 2.

Ülevaade hoonete arvutuslikust energiakasutusest erinevate standardkasutuse variantide korral on esitatud Tabelis 20. Arvutused näitavad, et standardkasutuse variant A annab võrreldes variantidega B ja C ootuspäraselt suurima energiakasutuse ja seega ka energiatõhususarvu. Katariina allée 4b ja Liiva 19 puhul on sellest tulenevat erinevust märgata ka energiaklassis, mis on variant B puhul ühe taseme võrra kõrgem, kui variant A puhul. Kuna hoonete energiakasutused olenevad arvutustes kasutatud lähteandmetest märgatavalt, on oluline läbi mõelda, milline rekonstrueerimiseelne standardkasutuse variant edasisteks võrdlusteks valida, et rekonstrueerimisest tekkivat energiasäästu mitte ülehinnata.

Tabelisse 20 (peatüki lõpus) on parema ülevaate saamiseks ja võrdlemiseks lisatud ka nelja kasutuses oleva hoone mõõdetud energiakasutused. Võrreldes hoonete mõõdetud energiakasutust arvutuslike kasutustega erinevate standardkasutuse variantide juures selgub järgnev:

- Mäe 4 energiaarvutused on mõlemal juhul väga sarnased. Seega võib järeldada, et standardkasutuse variant A vastab ka tegelikkuses Mäe 4 hoone tüüpilisele kasutusele. Mäe 4 hoone mõõdetud ja arvutuslik energiakasutus vastavad mõlemad energiaklassile F. Selle hoone summaarne soojuserikadu läbi piirdetarindite on uuritud hoonetest ka kõige väiksem, vastavalt Tabeli 19 andmetele $1,5 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$.
- Katariina allée 4b mõõdetud energiakasutus on ligilähedasem standardkasutuse variandile B. Hoone on küll täielikult kasutuses, kuid seal puuduvad korralikud pesemisvõimalused, mida näitab standardkasutuse variandist B ligi kaks korda väiksem sooja vee tarbimine. Lisaks võib oletada, et hoone kehvemapoolse sooja- ja õhupidavuse (summaarne soojuserikadu läbi

piirdetarindite on vastavalt Tabel 19 andmetele $2,1 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$) ning ahikütte tõttu ei õnnestu ruumides kütteperioodil $21 \text{ }^\circ\text{C}$ keskmist temperatuuri hoida. Seega on standardkasutuse variant B sellele hoonele iseloomulik. Katariina allee 4b hoone mõõdetud energiakasutus vastab klassile F, hoone arvutuslik energiakasutus standardkasutuse variandi B puhul vastab klassile G ja variandi A puhul klassile H. Siit nähtub selgesti, et standardkasutusest tulenevatest lähteandmetest võib hoone energiaklassile oluline mõju olla, mis tõttu tuleks antud uurimistöö eesmärki silmas pidades valida standardkasutuseks varinat, mis on kõige ligilähedasem hoone mõõdetud kasutusele.

- Liiva 26 mõõdetud energiakasutus, nagu ka lõputöö peatükis 2.4 välja toodi, ei tundu olevat päris õige, kuna kütteenergia kasutus on arvutusliku soojusbilansi alusel rohkem kui kahe kordselt ülehinnatud. Lisaks ei esitatud andmeid vee tarbimise kohta. Seega ei saa Liiva 26 hoone mõõdetud energiakasutuse andmete põhjal tehtud energiaarvutusi tõsiselt võtta. Arvestades, et hoone on täielikult kasutuses ning hoones on pesemisvõimalused, sobib selle hoone tüüpiliseks kasutuseks variant A. Samas summaarne soojuserikadu läbi piirdetarindite on arvutuste järgi $2,6 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$, mis on kehvem kui Katariina allee 4b hoonel. Seega sobib selle hoone tüüpiliseks kasutuseks pigem variant B. Liiva 26 hoone energiaklass on iga standardkasutuse variandi puhul H.
- F. R. Kreutzwaldi 25a hoone mõõdetud energiakasutus on aga väga madal, mis viitab, et hoone on alakasutuses. Vastavalt määrusele nr 36 „Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele¹⁴“ hinnatakse selline hoone kõige kõrgema energiatõhususe klassi hooneks ehk H energiaklassi [14]. Selle hoone puhul on teada, et hoone ongi kasutuses vaid osaliselt ning et hoones puuduvad pesemisvõimalused. Lisaks on selle hoone summaarne soojuserikadu piiretarindite kaudu uuritavatest hoonetest üks suurimaid – $2,8 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$. Kuna hoone ei ole siiski täielikult kasutusest väljas, on selle hoone puhul energiaarvutused tehtud ka standardkasutuse variandiga C, mil ruumide kütte temperatuuri seadeväärtuseks on määratud $16 \text{ }^\circ\text{C}$. F. R. Kreutzwaldi 25a hoone energiaklass on iga standardkasutuse variandi puhul H.
- Karja 23a hoone on kasutusest täielikult väljas ning seetõttu on ka hoone energiakasutus null. Nii puuduvad selle hoone kohta ka mõõdetud energiakasutuse andmed. Tulenevalt hoone piirdetarindite ehituslikust lahendusest ja seisukorrast on hoone summaarseks soojuserikaoks läbi piirdetarindite $3,3 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$ ning energiaarvutuste põhjal on Karja 23a energiaklass H. Edasised arvutused tehakse standardkasutuse variandiga A.
- Liiva 19 hoone on samuti kasutusest täielikult väljas. Selle hoone summaarseks soojuserikaoks läbi piirdetarindite on $2,3 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$ ja energiaarvutuste põhjal on hoone energiaklass variandi A

puhul H ning varianti B puhul G. Edasised arvutused tehakse siiski standardkasutuse variandiga A.

Kokkuvõttes on edasistes energiaarvutustes sobilikeks rekonstrueerimiseelseteks ehk algolukorrale iseloomulikeks standardkasutuse variantideks F. R. Kreutzwaldi hoonel standardkasutuse variant C, Karja 23a hoonel variant A, Katariina allee 4b hoonel variant B, Liiva 19 hoonel variant A, Liiva 26 hoonel variant B ja Mäe 4 hoonel standardkasutuse variant A.

Tabel 20. Koondülevaade hoonete arvutuslikust energiakasutusest erinevate standardkasutuste korral, võrdlus mõõdetud energiakasutusega, kWh/(m²·a)

Standardkasutuse variant	Netoenergiavajadus				Summaarne energiakasutus					Primaarenergia kasutus					Klass
	Ruumide küte	Vent.õhu sooj.	Soe t.vesi	Kokku	Ruumide küte	Vent.õhu sooj.	Soe t.vesi	Valgustus, seadmed	Kokku	Ruumide küte	Vent.õhu sooj.	Soe t.vesi	Valgustus, seadmed	ETA/KEK	
F.R. Kreutzwaldi 25a, köetav pind 234,1 m ²															
Standardkasutus A	294,6	6,1	30,0	330,8	491,1	10,2	30,0	29,5	560,8	319,2	6,6	60,0	59,1	444,9	H
Standardkasutus B	245,4	6,1	24,0	275,5	408,9	10,2	24,0	29,5	472,7	265,8	6,6	48,0	59,1	379,5	H
Standardkasutus C	212,9	6,1	24,0	243,0	354,8	10,2	24,0	29,5	418,6	230,6	6,6	48,0	59,1	344,3	H
Mõõdetud	x	x	x	x	63,4		0,9	21,1	85,4	41,2		1,8	42,2	85,2	H
Karja 23 a, köetav pind 79,4 m ²															
Standardkasutus A	350,6	6,1	30,0	386,8	584,4	10,2	30,0	27,8	652,4	379,9	6,6	60,0	55,6	502,1	H
Standardkasutus B	292,7	6,1	24,0	322,8	487,8	10,2	24,0	27,8	549,8	317,0	6,6	48,0	55,6	427,3	H
Katariina allee 4b, köetav pind 358,9 m ²															
Standardkasutus A	203,7	6,1	30,0	239,9	339,6	10,2	30,0	29,5	409,3	220,7	6,6	60,0	59,1	346,4	H
Standardkasutus B	166,7	6,1	24,0	196,8	277,8	10,2	24,0	29,5	341,5	180,6	6,6	48,0	59,1	294,3	G
Mõõdetud	x	x	x	x	264,3		12,3	27,5	304,1	171,8		24,6	55,0	251,4	F
Liiva 19, köetav pind 267,5 m ²															
Standardkasutus A	222,8	6,1	30,0	258,9	371,3	10,2	30,0	29,5	441,0	241,3	6,6	60,0	59,1	367,0	H
Standardkasutus B	183,7	6,1	24,0	213,8	306,1	10,2	24,0	29,5	369,9	199,0	6,6	48,0	59,1	312,7	G
Liiva 26, köetav pind 210,7 m ²															
Standardkasutus A	257,3	6,1	30,0	293,4	428,8	10,2	30,0	29,5	498,6	278,7	6,6	60,0	59,1	404,4	H
Standardkasutus B	212,2	6,1	24,0	242,3	353,7	10,2	24,0	29,5	417,4	229,9	6,6	48,0	59,1	343,6	H
Mõõdetud	x	x	x	x	802,5		0,0	35,5	838,0	521,6		0,0	71,0	592,6	H
Mäe 4, köetav pind 414,6 m ²															
Standardkasutus A	131,2	6,1	30,0	167,3	150,3	7,0	30,0	30,0	217,3	97,7	4,6	60,0	60,1	222,3	F
Mõõdetud	x	x	x	x	155,8		16,1	34,6	206,5	140,2		32,2	69,2	241,6	F

Kõikide hoonete detailsemad energiaarvutused valituks osutunud standardkasutuse variandiga on leitavad lõputöö Lisadest.

3 HOONETE ENERGIATÕHUSUSE PARANDAMISE VÕIMALUSED

Nüüd, kus teada on lõputöös uuritavatele hoonetele kehtivad muinsuskaitserelised piirangud, hoonete rekonstrueerimiseelne ehituslik seisukord ja energiatõhususe tase ning paigas on hoonete algolukorrale iseloomulikud standardkasutuse variandid, saab välja töötada igale hoonele sobivad rekonstrueerimislahendused hoonete energiatõhususe parandamiseks. Selles peatükis pakutaksegi välja sobivad tervikliku rekonstrueerimise lahendused ning analüüsitakse, kas pakutud lahendused võimaldavad võrreldes rekonstrueerimiseelse olukorraga saavutada vähemalt 60% soojusenergia kulude vähenemine ning C energiaklassi jõudmise. Välja tuuakse ka tervikliku rekonstrueerimise rahaline mõju hoonete aastasele energiakuludele. Peatüki lõpus tehakse kokkuvõtte ja järeldused kogu uurimistöö käigus selgunud uute teadmiste ja üleskerkinud probleemide osas ning esitatakse ettepanekud edasiste sarnaste uuringute läbiviimiseks.

3.1 Rekonstrueerimispakett 1

Tulenevalt lõputöö eesmärgist kattub lõputöö uurimismetoodika osaliselt elamute energiaauditi koostamise põhimõtetega. Sellest tulenevalt on lõputöö peatükis 2.2 välja toodud uuritavate hoonete ehitustehniline seisukord ja hädavajalikud tööd, mis vastavalt kortermajade energiaauditite koostamise juhendile [8] kuuluvad rekonstrueerimispaketti 0. Selles pakettis sisalduvad hoone säilimiseks ja elamisväärsate elamistingimuste tagamiseks igal juhul vajaminevad tööd, mis ei pruugi hoone energiatõhusust otseselt mõjutada. Teise kortermajade energiaauditite koostamise juhendis kirjeldatud pakettiga pakutakse lahendused (lisaks 0-paketis toodule) hoone energiakasutuse vähendamiseks. Seda paketti nimetatakse rekonstrueerimispaketiks 1. Kolmandas ehk rekonstrueerimispaketis 2, lisanduvad lokaalsed taastuvenergialahendused. Siinkohal tuleb märkida, et energiakasutust vähendavate pakettide lahendused peavad olema ka majanduslikult kulutõhusad. [8, pp. 32-33]

Rekonstrueerimispaketiga 1 nähakse kindlasti ette piirdetarindite lisasoojustamine ning soojustagastusega ventilatsioonisüsteem. Muinsuskaitse alal ja selle kaitsevööndis paiknevate hoonete puhul peab arvestama, et piirkonna tänavamiljöö säiliks, mistõttu näiteks välisseintele soojustuse lisamisel tuleb ettepoole viia ka sokkel ja aknad ning lahendada räästa üleulatus fassaadist, et säiliks hoone algupärane välimus. [8, p. 33] Mõnel lõputöös uuritud hoonel peab algupärane sokkel kas osaliselt või tervenisti nähtavale jääma ja see seab piiranguid ka välisseinte soojustuse paksusele. Kohati ei ole välisseina lisasoojustamine seetõttu üldse võimalik. Põrandate lisasoojustamisel peab

jälgima, et põranda kõrgusmärk jääks pärast soojustamist ja kinni katmist algupärasele tasemele. Seega tuleb arvestada põranda süvendamise vajadusega, mis on võimalik pinnasel olevate põrandate puhul. Keldri kohal olevate põrandate puhul selguvad soojustamise võimalused kas täiendavate uuringute või ehitustööde käigus. Eelistatum on keldri kohal olev põrand soojustada pealt poolt, kui see pole võimalik, siis keldri lae alt.

Kõikide hoonete välispiirete soojuslähivuste arvustamisel on arvestatud järgmiste põhimõtetega:

- põrandad täidetakse vajadusel liivaga, paigaldatakse hüdroisolatsioon ja soojustatakse vahtpolüstürooliga, mille peale valatakse minimaalselt 60 mm paksune betoonplaat;
- välisseinte soojustusmaterjaliks on arvestatud olenevalt paigaldusvõimalusest mineraalvilla või tselluvillaga;
- pööningu vahelagede soojustusmaterjaliks on arvestatud kuivpaigaldusega (puiste) tselluvillaga;
- ühegi välispiirde puhul ei ole arvestatud siseviimistlusmaterjalide soojustakistust, sh põrandale tagasi paigaldatava originaallaudise soojustakistust, seega on kõikide tarindite soojuslähivused väikese varuga soojuslähivuse kahjuks.

Järgnevates alapeatükkides antaksegi ülevaade igale hoonele välja töötatud sobivatest energiatõhusust parandavatest rekonstrueerimislahendustest ilma lokaalsete taastuvenegialahendusteta.

3.1.1 Rekonstrueerimispakett 1 - F. R. Kreutzwaldi 25a

Rekonstrueerimispaketiga 1 nähakse ette põrandate, keldri lae, pööningu vahelae ja pööningukorruse seinte lisasoojustamine ning akende väljavahetamine energiatõhusate originaali imiteerivate puitraamidil akende vastu. Vastavalt muinsuskaitse nõuetele, tuleb paremas seisukorras tänavapoolsed aknad ja hoovipoolne välisüks restaureerida. Põranda lahti võtmisel soojustuse lisamiseks tuleb olemasolevaid vanu põrandalaudu maksimaalselt säilitada ja restaureerida ning pärast tagasi panna. Väärtuslik ja restaureerimisele kuuluv on ka fassaadilaudis. Kitsam fassaadilaudis tuleb välja vahetada algupärasema laia laudise vastu. Kuna hoone on ~200 aasta vanune, siis peab selle algupärasest välisilmet ja proportsioone maksimaalselt säilitama, mistõttu on välisseinte lisasoojustamise võimalused väga piiratud ning sokkel tuleb säilitada olemasoleval kujul tehes vaid hädavajalikud parandustööd ja maakivide asendused. Sellegipoolest on näiteks palgivahede takutamisega ning tuuletõkkekanga lisamisega võimalik parandada hoone õhutihedust. Detailne ülevaade rekonstrueerimispaketiga 1 ettenähtud energiasäästumeetmetest soojuskadude vähendamiseks välispiirete kaudu on esitatud Tabelis 21. Koondülevaade rekonstrueerimispaketiga 1

saavutatavast summaarse soojuserikao vähenemisest, mis arvestab ka külmasildade ja hoone ebatihedustest tulenevate soojuskadudega, on esitatud Tabel 27.

Tabel 21. F. R. Kreutzwaldi 25a piirdetarindite olemasolev olukord ja tehnilised parendusvõimalused

Algolukord					Tehnilised parendusvõimalused		
Piirde- tarind või selle osa	Olemasolevad materjalikihid	Tarindi pindala A_i , m ²	Tarindi soojusjuh- tivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojus- erikulu $H_{juhtivus}$, W/K	Meetmed energiasäästuks	Tarindi soojusjuh- tivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojus- erikulu $H_{juhtivus}$, W/K
Põrand pinnael P-1	Põrandalaud 40 mm; liiv 260 mm; pinnael	167,5	0,53	89,5	Soojustus 100 mm	0,23	39,3
Keldri lagi K-1	Põrandalaud 40 mm; betoon	23,00	0,50	11,5	Soojustus 100 mm	0,24	5,6
Välissein VS-1	Välisvoodrilaud 21 mm; tuulutatav õhkvahe; palk 150 mm; krohvivõrk 40 mm	182,5	0,61	110,6	Palgivahe takutamine; tuuletõkkekangas	0,61	110,6
Välissein VS-2	Krohvivõrk 40 mm; palk 150 mm; krohvivõrk 40 mm	91,6	0,65	59,3	Soojustus 100 mm; tuuletõkkeplaat 30 mm	0,22	20,1
Pööningu vahelagi L-1	Puitala 40 mm/soojustus liivane saepuru; laudis 25 mm; õhkvahe; laudis 25 mm	190,5	1,12	214,1	Soojustus 300 mm	0,12	22,3
Aknad	Vanad puitaknad	26,8	2,30	61,6	Väljaspool originaali imiteeriv puitraamid aken, seespool 2x pakettaken	0,80	21,4
Välisüksed	Vanad puitüksed	2,9	2,00	5,9	Säilitada ja restaureerida	2,00	5,9
Soojuskadu läbi piirdetarindite kokku:				552,3			225,3

Rekonstrueerimispaketiga 1 nähakse ette ka kaasaegsete tehnosüsteemide paigaldamine nõuetekohase sisekliima tagamiseks. Hoone on võimalik ühendada kaugkütte võrguga, seega tuleks ehitada välja soojussõlm ja paigaldada radiaatorid. Ka sooja tarbevee saamine nähakse ette kaugküttevõrgust. Nõuetekohase õhuvahtuse tagamiseks paigaldada soojustagastusega ventilatsioonisüsteem. Rekonstrueerimispaketi 1 tehnosüsteemide täpsemaid lahendusi ja mõju hoone energiakasutuse vähenemisele on käsitletud peatükis 3.1.8.

3.1.2 Rekonstrueerimispakett 1 - Karja 23a

Rekonstrueerimispaketiga 1 nähakse ette põrandate, välisseinte ja pööningu vahelae lisasoojustamine ning akende väljavahetamine energiatõhusate renoveeritud või originaali imiteerivate puitraamidelt akende vastu. Muinsuskaitse nõuete kohaselt tuleb jätta üks osa hoone õuepoolsest soklist originaalkujul nähtavale, mis seab piirangud selle sokliosa kohal oleva seina (VS-1-A) lisasoojustuse paksusele. Eksponeerimiseks jäetav sokliosa tuleb korrastada, ülejäänud osas soojustada ja katta krohviga. Lisaks tuleb olemasolevat fassaadilaudist maksimaalselt säilitada, renoveerida ja tagasi paigaldada, puuduv osa asendada koopialaudisega. Arhitektuurilisest seisukohast on tänavapoolsele fassaadile lubatud lisada aknaid, kuid lähtuma peab eesmärgist algupärast palkseina võimalikult palju säilitada. Välisüksed võib asendada uute puidust tahvelustega. Vanad siseüksed säilitada ja renoveerida. Detailne ülevaade rekonstrueerimispaketiga 1 ettenähtud energiasäästumeetmetest on esitatud Tabelis 22. Koondülevaade rekonstrueerimispaketiga 1 saavutatavast summaarse soojuserikao vähenemisest, mis arvestab ka külmasildade ja hoone ebatihedustest tulenevate soojuskadudega, on esitatud Tabel 27.

Tabel 22. Karja 23a piirdetarindite olemasolev olukord ja tehnilised parendusvõimalused

Algolukord					Tehnilised parendusvõimalused		
Piirde- tarind või selle osa	Olemasolevad materjalikihid	Tarindi pindala A_i , m ²	Tarindi soojusjuh- tivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojus- erikulu $H_{juhtivus}$, W/K	Meetmed energiasäästuks	Tarindi soojusjuh- tivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojus- erikulu $H_{juhtivus}$, W/K
Põrand pinnasel P-1	Põrandalaud 40 mm; liiv 60 mm; pinnas	91,1	0,72	66,0	Soojustus 200 mm	0,16	14,7
Välissein VS-1	Välisvoodrilaud 25 mm; tuulutatav õhkvahe; palk 150 mm; krohvivõrk 40 mm	102,2	0,61	61,9	VS-1-A: Soojustus 70 mm; tuuletõkkekanas	0,32	5,8
					VS-1-B: Soojustus 100 mm; tuuletõkkekanas	0,26	21,8
Pööningu vahelagi L-2	Puitala 90 mm/ soojustuseks termoliit; laudis 2x25 mm; krohvivõrk 40 mm	91,1	0,65	59,4	Soojustus 300 mm	0,11	9,9
Aknad	vanad puitaknad	10,8	2,10	22,7	Väljaspool renoveeritud puitraamidelt aken, seespool 2x pakettaken	0,80	8,6

Algolukord					Tehnilised parendusvõimalused		
Piirde-tarind või selle osa	Olemasolevad materjalikihid	Tarindi pindala A_i , m ²	Tarindi soojusjuhtivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojuserikulu $H_{juhtivus}$, W/K	Meetmed energiasäästuks	Tarindi soojusjuhtivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojuserikulu $H_{juhtivus}$, W/K
Välisüksed	vanad tahveluksed	4,6	2,00	9,2	Uued puidust tahveluksed	1,40	6,4
Soojuskadu läbi piirdetarindite kokku:				219,1			67,4

Rekonstrueerimispaketiga 1 nähakse ette ka kaasaegsete tehnosüsteemide paigaldamine nõuetekohase sisekliima tagamiseks. Hoonet ei ole võimalik ühendada kaugkütte võrguga ning maaküttelahendus ei sobi piirkonna arheoloogiliste piirangute tõttu. Seega on selle hoone puhul sobivaks küttelahenduseks õhk-vesi soojuspump. Ka sooja tarbevee saamine nähakse ette õhk-vesi soojuspumbaga. Nõuetekohase õhuvahetuse tagamiseks paigaldada soojustagastusega ventilatsioonisüsteem. Rekonstrueerimispaketi 1 tehnosüsteemide täpsemad lahendusi ja mõju hoone energiakasutuse vähenemisele on käsitletud peatükis 3.1.8.

3.1.3 Rekonstrueerimispakett 1 - Katariina allee 4b

Rekonstrueerimispaketiga 1 nähakse ette põrandate, keldri lae, välisseinte ja pööningu vahelae lisasoojustamine ning akende väljavahetamine energiatõhusate uute või originaali imiteerivate puitraamidil akende vastu. Olemasolevad heas seisukorras välisüksed renoveerida, üks välisüks välja vahetada. Muinsuskaitse nõuete kohaselt ei ole lubatud soojustada algupärast tampsavi seina ja krohvitud palkseinu. Olemasolev krohvviimistlus ja dekoratiivsed detailid tuleb säilitada ning vajadusel parandada. Laudisega kaetud tänavapoolsele palkseinale ja II korruse krohvitud savitellistest seinale võib lisada 100 mm soojustust, õuepoolsele laudisega kaetud palkseintele aga 200 mm soojustust. Algupärast seinalaudist tuleb vähemalt hoone esiküljel maksimaalselt säilitada ja taaskasutada. Dekoratiivsed detailid puitfassaadil taastada koopia. Originaalüksed Põranda soojustamisel eemaldatavad algupärased lauad tuleks maksimaalselt säilitada, renoveerida ja tagasi paigaldada. Detailne ülevaade rekonstrueerimispaketiga 1 ettenähtud energiasäästumeetmetest on esitatud Tabelis 23. Koondülevaade rekonstrueerimispaketiga 1 saavutatavast summaarse soojuserikao vähenemisest, mis arvestab ka külmasildade ja hoone ebatihedustest tulenevate soojuskadudega, on esitatud Tabel 27.

Tabel 23. Katariina allée 4b piirdetarindite olemasolev olukord ja tehnilised parendusvõimalused

Algulukord					Tehnilised parendusvõimalused		
Piirde-tarind või selle osa	Olemasolevad materjalikihid	Tarindi pindala A_i , m ²	Tarindi soojusjuhtivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojus-erikulu $H_{juhtivus}$, W/K	Meetmed energiasäästuks	Tarindi soojusjuhtivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojus-erikulu $H_{juhtivus}$, W/K
Põrand pinnasel P-1	Põrandalaud 40 mm; liiv 260 mm; pinnas	122,2	0,63	77,1	Soojustus 100 mm	0,25	31,1
Keldri lagi K-1	Põrandalaud 40 mm; betoon	80,50	0,54	43,7	Soojustus 100 mm	0,26	21,3
Välissein VS-1	Välisvoodrilaud 20 mm; tuulutatav õhkvahe; palk 150 mm; krohvivõrk 40 mm	206,0	0,62	127,6	VS-1-A: Soojustus 100 mm; tuuletõkkeplaat 30 mm	0,22	13,9
					VS-1-B: Soojustus 200 mm; tuuletõkkeplaat 30 mm	0,15	21,4
Välissein VS-2	Krohvivõrk 40 mm; palk 150 mm; krohvivõrk 40 mm	18,6	0,65	12,0	Ei soojusta	0,65	12,0
Välissein VS-4	VS-4-A: krohvivõrk 40 mm; tampsavi 490 mm; krohvivõrk 40 mm	73,2	1,10	80,6	VS-4-A: ei soojusta	1,10	80,6
	VS-4-B: krohvivõrk 40 mm; savitellis 260 mm; krohvivõrk 40 mm	25,5	1,61	41,1	VS-4-B: soojustus 100 mm	0,29	7,3
Pööningu vahelagi L-1	Puittala 100 mm/ soojustus liivane saepuru; laudis 40 mm; õhkvahe; laudis 25 mm	202,7	0,63	126,8	Soojustus 300 mm	0,11	21,9
Aknad	aknad 59 % uued	64,4	1,65	106,3	1x välimise klaasi ja 2x sisemise paketi puitraamid aken	0,80	51,5
Välisüksed	vanad puitüksed	9,0	2,00	18,1	Uus energiatõhus tänavapoolne välisüks	1,40	12,6
Soojuskadu läbi piirdetarindite kokku:				633,3			273,7

Rekonstrueerimispaketiga 1 nähakse ette ka kaasaegsete tehnosüsteemide paigaldamine nõuetekohase sisekliima tagamiseks. Hoone on võimalik ühendada kaugküttevõrku, seega tuleks ehitada välja soojussõlm ja paigaldada radiaatorid. Ka sooja tarbevee saamine nähakse ette

kaugküttevõrgust. Nõuetekohase õhuvahetuse tagamiseks paigaldada soojustagastusega ventilatsioonisüsteem. Rekonstrueerimispaketi 1 tehnosüsteemide täpsemad lahendusi ja mõju hoone energiakasutuse vähenemisele on käsitletud peatükis 3.1.8.

3.1.4 Rekonstrueerimispakett 1 - Liiva 19

Rekonstrueerimispaketiga 1 nähakse ette põrandate, keldri lae, välisseinte ja pööningu vahelae lisasoojustamine ning akende väljavahetamine uute energiatõhusate 1x välimise klaasi ja 2x sisemise paketiga puitraamidel akende vastu. Välisüksed vahetada uute vastu. Muinsuskaitse seisukohast hoonele erilisi piiranguid ei ole. Fassaadilaudise saab vahetada uue vastu. Sokkel tuleb konstruktiivselt uuendada ja soojustada samaväärselt seina paksusega. Detailne ülevaade rekonstrueerimispaketiga 1 ettenähtud energiasäästumeetmetest on esitatud Tabelis 24. Koondülevaade rekonstrueerimispaketiga 1 saavutatavast summaarse soojuserikao vähenemisest, mis arvestab ka külmasildade ja hoone ebatihedustest tulenevate soojuskadudega, on esitatud Tabel 27.

Tabel 24. Liiva 19 piirdetarindite olemasolev olukord ja tehnilised parendusvõimalused

Algolukord					Tehnilised parendusvõimalused		
Piirde-tarind või selle osa	Olemasolevad materjalikihid	Tarindi pindala A_i , m ²	Tarindi soojusjuhtivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojuserikulu $H_{juhtivus}$, W/K	Meetmed energiasäästuks	Tarindi soojusjuhtivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojuserikulu $H_{juhtivus}$, W/K
Põrand pinnasel P-1	Põrandalaud 40 mm; liiv 200 mm; pinnas	155,6	0,62	95,9	Soojustus 200 mm	0,19	29,0
Keldri lagi K-1	Põrandalaud 40 mm; betoon; EPS 30 mm	31,30	0,53	16,7	Soojustus 200 mm	0,14	4,5
Välissein VS-1	Välisvoodrilaud 25 mm; tuulutatav õhkvahe; palk 150 mm; krohvivõrk 40 mm	213,6	0,61	130,6	Soojustus 200 mm; tuuletõkkeplaat 30 mm	0,15	32,0
Pööningu vahelagi L-1	Puitala 85 mm/soojustus liivane saepuru; laudis 25 mm; õhkvahe; laudis 25 mm	186,9	0,79	147,7	Soojustus 300 mm	0,11	21,0
Aknad	90,9 % on vanad puitaknad	38,5	2,22	85,4	1x välimise klaasi ja 2x sisemise paketiga puitraamidel aken	0,80	30,8
Välisüksed	Vanad puitüksed	6,8	2,00	13,6	Säilitada ja restaureerida	1,40	9,5

Algolukord					Tehnilised parendusvõimalused		
Piirde-tarind või selle osa	Olemasolevad materjalikihid	Tarindi pindala A_i , m ²	Tarindi soojusjuhtivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojuserikulu $H_{juhtivus}$, W/K	Meetmed energiasäästuks	Tarindi soojusjuhtivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojuserikulu $H_{juhtivus}$, W/K
Soojuskadu läbi piirdetarindite kokku:				489,9			126,7

Rekonstrueerimispaketiga 1 nähakse ette kaasaegsete tehnosüsteemide paigaldamine nõuetekohase sisekliima tagamiseks. Hoone on juba ühendatud kaugkütte võrguga, kuid vaja on välja ehitada ka soojussõlm ning paigaldada radiaatorid. Ka sooja tarbevee saamine nähakse ette kaugküttevõrgust. Nõuetekohase õhuvahetuse tagamiseks paigaldada soojustagastusega ventilatsioonisüsteem. Rekonstrueerimispaketi 1 tehnosüsteemide täpsemad lahendusi ja mõju hoone energiakasutuse vähenemisele on käsitletud peatükis 3.1.8.

3.1.5 Rekonstrueerimispakett 1 - Liiva 26

Rekonstrueerimispaketiga 1 nähakse ette põrandate, keldri lae, välisseinte ja pööningu vahelae lisasoojustamine, akende väljavahetamine uute energiatõhusate 1x välimise klaasi ja 2x sisemise paketi puitraamidil akende vastu ning välisuste vahetamine uute vastu. Muinsuskaitse seisukohast hoonele erilisi piiranguid ei ole. Fassaadilaudise saab vahetada uue vastu. Sokkel soojustada samaväärselt seina paksusega ja viimistleda krohviga. Detailne ülevaade rekonstrueerimispaketiga 1 ettenähtud energiasäästumeetmetest on esitatud Tabelis 25. Koondülevaade rekonstrueerimispaketiga 1 saavutatavast summaarse soojuserikao vähenemisest, mis arvestab ka külmasildade ja hoone ebatihedustest tulenevate soojuskadudega, on esitatud Tabel 27.

Tabel 25. Liiva 26 piirdetarindite olemasolev olukord ja tehnilised parendusvõimalused

Algolukord					Tehnilised parendusvõimalused		
Piirde-tarind või selle osa	Olemasolevad materjalikihid	Tarindi pindala A_i , m ²	Tarindi soojusjuhtivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojuserikulu $H_{juhtivus}$, W/K	Meetmed energiasäästuks	Tarindi soojusjuhtivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojuserikulu $H_{juhtivus}$, W/K
Põrand pinnaal P-1	Põrandalaud 40 mm; liiv 210 mm; pinnaal	89,5	0,73	65,2	Soojustus 200 mm	0,16	14,5
Keldri lagi K-1	Põrandalaud 40 mm; betoon	50,60	0,52	26,1	Soojustus 200 mm	0,22	11,3
Välissein VS-1	Välisvoodrilaud 25 mm; tuulutatav õhkvahe; palk 150 mm; krohvivõrk 40 mm	240,4	0,61	146,3	Soojustus 200 mm; tuuletõkkeplaat 30 mm	0,15	36,1

Algolukord					Tehnilised parendusvõimalused		
Piirde- tarind või selle osa	Olemasolevad materjalikihid	Tarindi pindala A_i , m ²	Tarindi soojusjuh- tivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojus- erikulu $H_{juhtivus}$, W/K	Meetmed energiasäästuks	Tarindi soojusjuh- tivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojus- erikulu $H_{juhtivus}$, W/K
Pööningu vahelagi L-1	Puitala 50 mm/ soojustus liivane saepuru; laudis 25 mm; õhkvahe; laudis 25 mm	140,2	1,03	144,0	Soojustus 300 mm	0,12	16,2
Aknad	Uued pakettaknad	39,1	1,40	54,8	1x välimise klaasi ja 2x sisemise paketiga puitraamid aken	0,80	31,3
Välisused	Osaliselt uued	6,9	2,00	13,9	Uued energia- tõhusad välisused	1,40	9,7
Soojuskadu läbi piirdetarindite kokku:				450,3			119,1

Rekonstrueerimispaketiga 1 nähakse ette kaasaegsete tehnosüsteemide paigaldamine nõuetekohase sisekliima tagamiseks. Hoone on võimalik ühendada kaugküttevõrku, seega tuleks ehitada välja soojussõlm ja paigaldada radiaatorid. Ka sooja tarbevee saamine nähakse ette kaugküttevõrgust. Nõuetekohase õhuvahetuse tagamiseks paigaldada soojustagastusega ventilatsioonisüsteem. Rekonstrueerimispaketi 1 tehnosüsteemide täpsemad lahendusi ja mõju hoone energiakasutuse vähenemisele on käsitletud peatükis 3.1.8.

3.1.6 Rekonstrueerimispakett 1 - Mäe 4

Rekonstrueerimispaketiga 1 nähakse ette põrandate, keldri lagede, välisseinte ja pööningu vahelae lisasoojustamine, akende väljavahetamine uute energiatõhusamate 3x pakettakende vastu ning välisuste vahetamine uute vastu. Muinsuskaitse seisukohast hoonele erilisi piiranguid ei ole. Välisseinte lisasoojustamiseks sobib kaks varianti – kas soojustada ja viimistleda krohviga või soojustada ja paigaldada tuuletõkkeplaat, mille peale omakorda õhkvahega välisvoodrilaud. Viimane variant on kliimakindlam ja parema soojustakistusega. Välisseinte soojustamisel tuleb säilitada karniiside ja aknalaua detailide geomeetria. Sokkel soojustada samaväärselt seina soojustusega ning viimistleda krohviga. Detailne ülevaade rekonstrueerimispaketiga 1 ettenähtud energiasäästumeetmetest on esitatud Tabelis 26. Koondülevaade rekonstrueerimispaketiga 1 saavutatavast summaarse soojuserikao vähenemisest, mis arvestab ka külmasildade ja hoone ebatihedustest tulenevate soojuskadudega, on esitatud Tabel 27.

Tabel 26. Mäe 4 piirdetarindite olemasolev olukord ja tehnilised parendusvõimalused

Algolukord					Tehnilised parendusvõimalused		
Piirde- tarind või selle osa	Olemasolevad materjalikihid	Tarindi pindala A_i , m ²	Tarindi soojusjuh- tivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojus- erikulu $H_{juhtivus}$, W/K	Meetmed energiasäästuks	Tarindi soojusjuh- tivus U , W/(m ² ·K)	Tarindi soojus- erikulu $H_{juhtivus}$, W/K
Põrand pinnaal P-1	Põrandalaud 40 mm; liiv; pinnaal	74,6	0,73	54,3	Soojustus 100 mm	0,27	20,4
Keldri lagi K-1	Põrandalaud 40 mm; betoon	160,60	0,56	89,5	Soojustus 100 mm	0,23	36,4
Välissein VS-3	Silikaattellis 125 mm; termoliit/puit 230 mm; papp; laudis 25 mm	330,8	0,36	117,7	Soojustus 200 mm; tuuletõkkeplaat 30 mm	0,11	34,9
Pööningu vahelagi L-3	Termoliit/puitla 140 mm; laudis 40 mm	235,2	0,53	125,6	Soojustus 300 mm	0,10	24,7
Aknad	Enamus aknad vahetatud (2 vana)	66,1	1,47	97,2	Uued 3x pakett- aknad	0,80	52,9
Välisüksed	HDF + alumiinium kortermaja välisüksed	7,6	2,00	15,2	Uued energia- tõhusad välisüksed	1,40	10,6
Soojuskadu läbi piirdetarindite kokku:				499,5			179,7

Rekonstrueerimispaketiga 1 nähakse ette olemasolevate tehnosüsteemide energiatõhusamaks uuendamine. Hoone on juba ühendatud tõhusasse kaugküttevõrku ja ruumide kütmine toimub tsentraalselt radiaatoritega. Kui praegu toimub tarbevee soojendamine elektriboileritega, siis rekonstrueerimispakett 1 kohaselt nähakse ette sooja tarbevee saamine kaugküttevõrgust. Nõuetekohase õhuvahetuse tagamiseks paigalda soojustagastusega ventilatsioonisüsteem. Rekonstrueerimispaketi 1 tehnosüsteemide täpsemad lahendusi ja mõju hoone energiakasutuse vähenemisele on käsitletud peatükis 3.1.8.

3.1.7 Kokkuvõte rekonstrueerimispaketiga 1 saavutatavast soojuskadude vähenemisest

Koondülevaade rekonstrueerimispaketiga 1 saavutatavatest hoonete piirdetarindite soojuslähivustest ja summaarsest soojuserikaost, mis arvestab ka külmasildadest ja hoone ebatihedustest tulenevate soojuskadudega, on esitatud Tabel 27 ning võrdlus rekonstrueerimiseelse olukorraga on esitatud Tabel 28.

Tabel 27. Koondülevaade hoonete piirdetarindite soojusläbivustest, soojuserikulust ja summaarsest soojuserikaost rekonstrueerimispaketiga 1

	P-1	K-1	VS-1-A	VS-1-B	VS-2	VS-3	VS-4-A	VS-4-B	L-1	L-2	L-3	Aknad	Välis- uksed	A _i kokku, m ²	H _{juhtivus} kokku, W/K	H _{joonsl} kokku, W/K	H _{õhuleke} kokku, m ³ /(h·m ²)	H kokku, W/K	H/A kokku, W/(K·m ²)
F. R. Kreutzwaldi 25a, korruste arv 2, köetav pind 234,1 m ²																			
U, W/(m ² ·K)	0,23	0,24	0,61	0,00	0,22				0,12			0,80	2,00						
A _i , m ²	167,5	23,0	182,5	0,0	91,6				190,5			26,8	2,9	684,8					
H _{juhtivus} , W/K	39,3	5,6	110,6	0,0	20,1				22,3			21,4	5,9		225,3	27,5	47,8	300,6	1,3
Karja 23a, korruste arv 1, köetav pind 79,4 m ²																			
U, W/(m ² ·K)	0,16		0,32	0,26						0,11		0,80	1,40						
A _i , m ²	91,1		18,2	84,0						91,1		10,8	4,6	299,8					
H _{juhtivus} , W/K	14,7		5,8	21,8						9,9		8,6	6,4		67,4	20,8	11,5	99,7	1,3
Katariina allee 4b, korruste arv 2, köetav pind 358,9 m ²																			
U, W/(m ² ·K)	0,25	0,26	0,22	0,15	0,65		1,10	0,29	0,11			0,80	1,40						
A _i , m ²	122,2	80,5	63,2	142,8	18,6		73,2	25,5	202,7			64,4	9,0	802,1					
H _{juhtivus} , W/K	31,1	21,3	13,9	21,4	12,0		80,6	7,3	21,9			51,5	12,6		273,7	36,7	56,0	366,5	1,0
Liiva 19, korruste arv 2, köetav pind 267,5 m ²																			
U, W/(m ² ·K)	0,19	0,14	0,15						0,11			0,80	1,40						
A _i , m ²	155,6	31,3	213,6						186,9			38,5	6,8	632,7					
H _{juhtivus} , W/K	29,0	4,5	32,0						21,0			30,8	9,5		126,7	34,8	35,3	196,9	0,7
Liiva 26, korruste arv 2, köetav pind 210,7 m ²																			
U, W/(m ² ·K)	0,16	0,22	0,15						0,12			0,80	1,40						
A _i , m ²	89,5	50,6	240,4						140,2			39,1	6,9	566,7					
H _{juhtivus} , W/K	14,5	11,3	36,1						16,2			31,3	9,7		119,1	28,0	39,5	186,6	0,9
Mäe 4, korruste arv 2, köetav pind 414,6 m ²																			
U, W/(m ² ·K)	0,27	0,23				0,11					0,10	0,80	1,40						
A _i , m ²	74,6	160,6				330,8					235,2	66,1	7,6	874,9					
H _{juhtivus} , W/K	20,4	36,4				34,9					24,7	52,9	10,6		179,7	38,4	36,6	254,7	0,6

Tabel 28. Rekonstrueerimispaketi 1 mõju hoonete summaarsele soojuserikaole

Hoone	A _{kõetav} , m ²	Algolukord		Rekonstrueerimispakett 1		Summaarse soojuserikao muutus, %
		H kokku, W/K	H/A kokku, W/(K·m ²)	H kokku, W/K	H/A kokku, W/(K·m ²)	
F. R. Kreutzwaldi 25a	234,1	665,9	2,8	300,6	1,3	-54,9
Karja 23a	79,4	265,7	3,3	99,7	1,3	-62,5
Katariina allee 4b	358,9	770,8	2,1	366,5	1,0	-52,5
Liiva 19	267,5	604,2	2,3	196,9	0,7	-67,4
Liiva 26	210,7	549,4	2,6	186,6	0,9	-66,0
Mäe 4	414,6	611,1	1,5	254,7	0,6	-58,3
Keskmine soojuskadude vähenemine piirdetarindite kaudu:						-60,3

Enne kui selgitatakse välja rekonstrueerimise mõju hoonete kütte ja ventilatsiooniõhu soojendamise netoenergia kuludele, vaadeldakse rekonstrueerimisega saavutatavat summaarse soojuserikao muutust võrreldes rekonstrueerimiseelse olukorraga. Kuna soojuskaod läbi hoone piirdetarindite on peamiseks põhjuseks hoone kogu soojusenergiavajaduse kujunemisel, on selle muutuse hindamine heaks indikaatoriks enne järgmisi energiaarvutusi.

Tabel 28 nähtub, et uuritavate hoonete keskmine soojuskadude vähenemine välispiirete kaudu on 60,3%. Keskmisest paremad tulemused soojuskadude vähendamisel saavutatakse Karja 23a, Liiva 19 ja Liiva 26 hoonete puhul – need on hooned, mille rekonstrueerimist muinsuskaitsele nõuded liialt ei piira. Ka Mäe 4 hoonele ei ole seatud erilisi muinsuskaitsele piiranguid, kuid hoone rekonstrueerimiseelne seisukord on võrreldes teiste hoonetega märgatavalt parem, mida kinnitavad ka Tabelis 19 (vt ptk 2.5.1) esitatud andmed Mäe 4 rekonstrueerimiseelsete piirdetarindite soojusläbivuste ja summaarse soojuserikao kohta. Seetõttu on selle hoone soojuskadude vähenemine keskmisest veidi madalam. F. R. Kreutzwaldi 25a ja Katariina allee 4b hoonetele kehtivad uuritavatest hoonetest kõige rangemad muinsuskaitse nõuded ja see kajastub selgelt ka soojuskadude vähenemise näitajates. F. R. Kreutzwaldi 25a soojuskadude vähenemine läbi piirdetarindite on Katariina allee 4b näitajatest protsentuaalselt parem, kuigi hoone välisseinu pole võimalik suuremas osas soojustada. Seda võib selgitada ühelt poolt asjaoluga, et Katariina allee 4b soojapidavuse algolukord on parem ja soojuskadude vähenemine on seetõttu algolukorraga võrreldes väiksem, teiselt poolt aga sellega, et Katariina allee 4b hoone on arhitektuuriliselt märksa ebakompaktsem. Rekonstrueerimispaketiga 1 ettenähtud tehnosüsteemide lahendused ja

3.1.8 Ülevaade rekonstrueerimispaketi 1 tehnosüsteemide lahendustest

Ainus hoone, mida ei saa kaugküttevõrku ühendada on Karja 23a, selle hoone puhul osutus sobivaks kütteleahenduseks õhk-vesi soojuspump. Teiste hoonete kütteleahenduseks on tõhus kaugküte, seejuures Mäe 4 hoonet köetakse juba praegu tsentraalselt tõhusa kaugküttega. Õhk-vesi soojuspumba aasta keskmiseks soojusteguriks on energiaarvutustes võetud 3,0 ja tõhusa kaugkütte kasuteguriks on 0,9. Sooja tarbevee saamine on kõigides hoonetes kavandatud küttesüsteemi kaudu. Kõikidesse hoonetesse nähakse ette soojustagastusega mehaaniline ventilatsioon. Mäe 4 hoone soojustagastus nähakse ette vesikalorifeeriga (kasutegur 0,9), teistes hoonetes aga elektrikalorifeeriga (kasutegur 1,0), kuna tsentraalne ventilatsioonisüsteem ei ole tõenäoliselt võimalik. Primaarenergia kasutuse leidmiseks vastavad energiakandjate kaalumistegurid on elektri korral 2,0 ja tõhusa kaugkütte korral 0,65. Ülevaade rekonstrueerimispaketiga 1 pakutavatest tehnosüsteemide lahendustest on esitatud Tabelis 29.

Tabel 29. Rekonstrueerimispaketi 1 tehnosüsteemide lahendused

Hoone	Küte	Soe tarbevesi	Ventilatsioon
F. R. Kreutzwaldi 25a	Tõhus kaugküte	Tõhus kaugküte	soojustagastus elektrikalorifeeriga
Karja 23a	Õhk-vesi soojuspump	Õhk-vesi soojuspump	soojustagastus elektrikalorifeeriga
Katariina allee 4b	Tõhus kaugküte	Tõhus kaugküte	soojustagastus elektrikalorifeeriga
Liiva 19	Tõhus kaugküte	Tõhus kaugküte	soojustagastus elektrikalorifeeriga
Liiva 26	Tõhus kaugküte	Tõhus kaugküte	soojustagastus elektrikalorifeeriga
Mäe 4	Tõhus kaugküte	Tõhus kaugküte	soojustagastus vesikalorifeeriga

Rekonstrueerimispaketi 1 mõju hoonete energiakasutuse vähenemisele, sh energiatõhususarvudele ja vastavatele energiaklassidele on välja toodud Tabelis 32. Tulemusi analüüsitakse parema ülevaate andmiseks koos rekonstrueerimispaketi 2 tulemustega.

3.2 Rekonstrueerimispakett 2

Rekonstrueerimispakett 2 on rekonstrueerimispaketi 1 täiendus hoonetele sobilike ja majanduslikult kulutõhusate taastuvenergialahendustega. Rekonstrueerimispaketiga 2 soojuskadusid läbi piirdetarindite enam ei parandata, energiakasutust vähendatakse lokaalselt toodetava taastuvenergialahenduste lisamisega. Taastuvenergialahendustest eelistatuimad on päikeseenergia

põhinevad lahendused nagu päikesekollektorid sooja tarbevee tootmiseks või päikesepaneelid elektrienergia tootmiseks. Sobivate taastuvenergialahenduste valikut võivad piirata aga muinsuskaitse nõuded piirkonna miljöö osas. Uuritavate hoonete põhjal saab öelda, et päikesepaneelide paigaldamine miljööväärtuslike hoonete katustele on muinsuskaitse seisukohast enamasti võimalik, kuid peab arvestama, et tänavapoolsele katuse osale lubatakse paigaldada pigem integreeritud paneele, mis ei ole nii silmatorkavad kui katusekatte peale paigaldatavad paneelid. See-eest õuepoolsele katuseosale on viimaste paigaldamine enamasti lubatud. Siiski tuleb enne päikesepaneelide kavandamist konkreetse muinsuskaitse alas või selle kaitsevööndis paikneva hoone võimalused ja piirangud Muinsuskaitseametiga kooskõlastada.

Kõikidele lõputöös uuritud hoonetele on lubatud paigaldada vähemalt integreeritud lahendusega päikesepaneelid. Energiaarvutustes arvestati, et 1 m² päikesepaneeli keskmine elektritootlus on 125 kWh aastas. Tulenevalt kasutatavast katuse pinnast arvestati välja iga hoone päikesepaneelide maksimaalsed võimsused ning määrati täiendavad lähteandmed olenevalt konkreetse katuse omadustest ja sobivast paneelide lahendusest (integreeritud või mitte) päikesepaneelidest toodetava aastase elektrienergia koguse arvutamiseks. Juhised päikesepaneelidest toodetava aastase elektrienergia arvutamiseks on antud määruses nr 58 „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika¹⁴” [10]. Arvutustes kasutatud lähteandmed on esitatud Tabelis 30.

Tabel 30. Lähteandmed päikesepaneelidest toodetava elektrienergia arvutamiseks

Hoone	Võimsus, kW	Kasutegur	Paigaldusviis	Suunategur	Kaldenurk	Ilmakaar
F. R. Kreutzwaldi 25a	15,0	0,70	tuulutuset	1,15	40	kagu
Karja 23a	10,3	0,70	tuulutuset	1,12	30	edel
Katariina allee 4b	6,6	0,70	tuulutuset	1,15	30	kagu
Liiva 19	10,2	0,75	mõõduka tuulutusega	1,15	35	kagu
Liiva 26	9,7	0,70	tuulutuset	1,13	40	edel
Mäe 4	15,0	0,75	mõõduka tuulutusega	1,12	25	edel

Eeltoodud lähteandmetega arvutatud aastane päikeseenergiast toodetav elektrienergia kogus kõetava pinna kohta on esitatud Tabelis 31.

Tabel 31. Aastane päikeseenergiast omatarbeks toodetav elektrienergia kogus köetava pinna kohta

Hoone	Aastane kogutoodang, kWh	Omatarbe osakaal, %	Omatarbeks, kWh	Aastane omatarbe kogutoodang köetava pinna kohta, kWh/(m ² ·a)	Aastane kaalutud kogutoodang köetava pinna kohta, kWh/(m ² ·a)
F. R. Kreutzwaldi 25a	11411	55	5588*	23,87*	47,7
Karja 23a	7631	30	1686*	21,23*	42,5
Katariina allee 4b	5021	55	2761	7,7	15,4
Liiva 19	8314	55	4573	17,1	34,2
Liiva 26	7251	40	2900	13,8	27,5
Mäe 4	11907	55	6549	15,8	31,6

Tabelis 31 tärniga märgitud väärtused on võrreldes Lisades 2 ja 4 toodud väärtustega korrigeeritud, kuna aastaseks päikeseenergiast toodetavaks omatarbeks kasutatavaks elektrienergia hulgaks saab arvestada maksimaalselt 55% summaarse ventilatsiooniõhu soojendamise ning valgustuse ja seadmete elektrienergia vajadusest. Seda aga arvutustabelites arvesse võetud ei ole. Tabeli 31 viimases veerus välja arvutatud hoonete aastast, kaalumisteguriga 2,0 kaalutud elektri kogutoodangut (omatarbeks) köetava pinna kohta võetakse arvesse hoone energiatõhususarvu leidmisel – see lahutatakse maha hoone kaalutud energiakasutusest. Rekonstrueerimispaketi 2 mõju hoonete energiatõhususarvule on kajastatud Tabelis 32.

Tabel 32 on ülevaatlilik ja uurimistööd kokkuvõttev koondtabel, kus on välja toodud mõlema rekonstrueerimispaketi mõju hoonete energiakasutusele ja energiatõhususe tasemetele. Tabelis on näidatud ruumide kütte, ventilatsiooniõhu soojendamise, sooja tarbevee ning valgustuse ja seadmete arvutuslik energiakulu. Kajastatud on ka päikese paneelidest omatarbeks toodetav kaalutud elektrienergia kogus. Kõiki neid komponente võetakse arvesse energiatõhususarvu leidmisel ja seeläbi ka hoone energiaklassi määramisel.

Tabelis 32 toodud energiaarvutuste tulemuste põhjal saab öelda, et kõikide hoonete puhul paraneb energiaklass rekonstrueerimispaketiga 1 kolme kuni nelja taseme võrra ja rekonstrueerimispaketiga 2 veel vähemalt ühe kuni kahe taseme võrra, välja arvatud Katariina allee 4b puhul, mille energiaklass lokaalse taastuvenergia kasutamisega ei muutu. Põhjuseks eelkõige päikesepaneelide kasutamiseks sobiva katusepinna vähesus. Siinkohal võiks lahenduseks olla päikesepaneelide lisamine abihoone(te) katusele. Kuuest uuritud hoonest viie puhul on vähemalt C energiaklassi saavutamine võimalik, neist ühe (Mäe 4) puhul juba rekonstrueerimispaketiga 1 ja nelja (F. R. Kreutzwaldi 25a, Karja 23a, Liiva 19 ja Liiva 26) puhul rekonstrueerimispaketiga 2. Vaid ühe hoone puhul ei olnud kummagi rekonstrueerimispaketiga võimalik saavutada D energiaklassist paremat taset.

Tabel 32. Koondtabel rekonstrueerimise mõjust hoonete energiakasutusele, hoonete energiatõhususarvud ja -klassid, kWh/(m²·a)

Algolukord ja rekonstrueerimise pakett	Netoenergiavajadus				Summaarne energiakasutus					Primaarenergia kasutus						Klass
	Ruumide küte	Vent.õhu sooj.	Soe t.vesi	Kokku	Ruumide küte	Vent.õhu sooj.	Soe t.vesi	Valgustus, seadmed	Kokku	Ruumide küte	Vent.õhu sooj.	Soe t.vesi	Valgustus, seadmed	Lokaalne elektri tootmine	ETA	
F.R. Kreutzwaldi 25a, köetav pind 234,1 m ²																
Algolukord (C)	212,9	6,1	24,0	243,0	354,8	10,2	24,0	29,5	418,6	230,6	6,6	48,0	59,1	x	344,3	H
Rek. pakett 1	119,1	7,6	30,0	156,7	132,4	7,6	33,3	35,8	209,1	86,0	15,1	21,7	71,6	x	194,4	E
Rek. pakett 2	119,1	7,6	30,0	156,7	132,4	7,6	33,3	35,8	209,1	86,0	15,1	21,7	71,6	-47,7	146,7	C
Karja 23 a, köetav pind 79,4 m ²																
Algolukord (A)	350,6	6,1	30,0	386,8	584,4	10,2	30,0	27,8	652,4	379,9	6,6	60,0	55,6	x	502,1	H
Rek. pakett 1	115,1	3,7	30,0	148,7	51,1	3,7	16,8	34,9	106,4	102,2	7,3	33,6	69,7	x	212,8	D
Rek. pakett 2	115,1	3,7	30,0	148,7	51,1	3,7	16,8	34,9	106,4	102,2	7,3	33,6	69,7	-42,5	170,4	C
Katariina allee 4b, köetav pind 358,9 m ²																
Algolukord (B)	166,7	6,1	24,0	196,8	277,8	10,2	24,0	29,5	341,5	180,6	6,6	48,0	59,1	x	294,3	G
Rek. pakett 1	81,4	9,0	30,0	120,4	93,2	9,0	33,3	37,5	173,1	60,6	18,0	21,7	75,0	x	175,2	D
Rek. pakett 2	81,4	9,0	30,0	120,4	93,2	9,0	33,3	37,5	173,1	60,6	18,0	21,7	75,0	-15,4	159,9	D
Liiva 19, köetav pind 267,5 m ²																
Algolukord (A)	222,8	6,1	30,0	258,9	371,3	10,2	30,0	29,5	441,0	241,3	6,6	60,0	59,1	x	367,0	H
Rek. pakett 1	54,5	9,0	30,0	93,5	62,5	9,0	33,3	37,5	142,3	40,6	18,0	21,7	75,0	x	155,2	D
Rek. pakett 2	54,5	9,0	30,0	93,5	62,5	9,0	33,3	37,5	142,3	40,6	18,0	21,7	75,0	-34,2	121,1	B
Liiva 26, köetav pind 210,7 m ²																
Algolukord (B)	212,2	6,1	24,0	242,3	353,7	10,2	24,0	29,5	417,4	229,9	6,6	48,0	59,1	x	343,6	H
Rek. pakett 1	68,0	9,0	30,0	107,0	77,9	9,0	33,3	37,5	157,7	50,6	18,0	21,7	75,0	x	165,3	D
Rek. pakett 2	67,0	9,0	30,0	106,0	76,7	9,0	33,3	37,5	156,6	49,9	18,0	21,7	75,0	-27,5	137,0	C
Mäe 4, köetav pind 414,6 m ²																
Algolukord (A)	131,2	6,1	30,0	167,3	150,3	7,0	30,0	30,0	217,3	97,7	4,6	60,0	60,1	x	222,3	F
Rek. pakett 1	40,2	9,0	30,0	79,2	46,0	10,0	33,3	37,5	126,8	29,9	6,5	21,7	75,0	x	133,0	C
Rek. pakett 2	40,2	9,0	30,0	79,2	46,0	10,0	33,3	37,5	126,8	29,9	6,5	21,7	75,0	-31,6	101,4	A

Piirkonnapõhiselt vähemalt 60% soojusenergia kulude vähenemine tervikliku rekonstrueerimise tulemusena on LIFE IP BuildEST projekti poolt seatud ambitsioonikas eesmärk, mille saavutamise võimalusi ka käesolevas lõputöös uuritakse. Tabelites 33 ja 34 on eraldi välja toodud netoenergiakulude ning primaarenergiakulude muutus mõlema rekonstrueerimispaketi korral.

Hoonete netoenergiavajadus kajastab vajalikku soojusenergiahulka arvestamata energia muundamise kasutegureid ja energiakandjate kaalumistegureid. Seega netoenergiavajaduse muutus ilma tarbevee soojendamiseks kuluvat energiahulka arvestamata on otseselt rekonstrueerimismeetmete tulemuslikkuse näitajaks. Võrdlus netoenergiakulude vähenemisest mõlema rekonstrueerimispaketi korral on toodud Tabelis 33. Sealjuures on eraldi välja toodud nii kogu netoenergia muutus kui ka ainult ruumide kütte ja ventilatsiooniõhu soojendamiseks vajamineva netoenergia muutus. Just viimane on aluseks hoonete soojusenergia vähenemise hindamiseks LIFE IP BuildEST projekti eesmärkide täitmisel.

Tabel 33. Rekonstrueerimispakettidega saavutatav soojusenergia kulude vähenemine

Algolukord ja rekonstrueerimise pakett	Netoenergia-vajadus kokku, kWh/(m ² ·a)	Netoenergia-vajaduse muutus võrreldes algolukorraga, %	Sh ruumide kütte ja vent.õhu soojendamise netoenergiavajadus, kWh/(m ² ·a)	Ruumide kütte ja vent.õhu netoenergiavajaduse muutus võrreldes algolukorraga, %
F.R. Kreutzwaldi 25a, köetav pind 234,1 m ²				
Algolukord (C)	243,0	x	219,0	x
Rek. pakett 1	156,7	-35,5	126,7	-42,1
Rek. pakett 2	156,7	-35,5	126,7	-42,1
Karja 23 a, köetav pind 79,4 m ²				
Algolukord (A)	386,8	x	356,8	x
Rek. pakett 1	148,7	-61,5	118,7	-66,7
Rek. pakett 2	148,7	-61,5	118,7	-66,7
Katariina allee 4b, köetav pind 358,9 m ²				
Algolukord (B)	196,8	x	172,8	x
Rek. pakett 1	120,4	-38,8	90,4	-47,7
Rek. pakett 2	120,4	-38,8	90,4	-47,7
Liiva 19, köetav pind 267,5 m ²				
Algolukord (A)	258,9	x	228,9	x
Rek. pakett 1	93,5	-63,9	63,5	-72,2
Rek. pakett 2	93,5	-63,9	63,5	-72,2
Liiva 26, köetav pind 210,7 m ²				
Algolukord (B)	242,3	x	218,3	x
Rek. pakett 1	106,0	-56,3	76,0	-65,2

Algolukord ja rekonstrueerimise pakett	Netoenergia-vajadus kokku, kWh/(m ² ·a)	Netoenergia-vajaduse muutus võrreldes algolukorraga, %	Sh ruumide kütte ja vent.õhu soojendamise netoenergiavajadus, kWh/(m ² ·a)	Ruumide kütte ja vent.õhu netoenergiavajaduse muutus võrreldes algolukorraga, %
Rek. pakett 2	106,0	-56,3	76,0	-65,2
Mäe 4, köetav pind 414,6 m ²				
Algolukord (A)	167,3	x	137,3	x
Rek. pakett 1	79,2	-52,7	49,2	-64,2
Rek. pakett 2	79,2	-52,7	49,2	-64,2
Rekonstrueerimispaketiga 1 vähenev keskmine soojusenergia hulk, %:		-51,4		-59,7
Rekonstrueerimispaketiga 2 vähenev keskmine soojusenergia hulk, %:		-51,4		-59,7

Võrdlusandmetest selgub, et kuue hoone ruumide kütte ja ventilatsiooniõhu soojendamiseks vajalik netoenergiakulu väheneb ligi 60%. Seega saab öelda, et LIFE IP BuildEST projekti ambitsioonikas eesmärk on lõputöös uuritud Võru vanalinna piirkonna hoonete puhul põhimõtteliselt saavutatav.

Hoonete Primaarenergia kasutus kajastab vastupidiselt netoenergiavajadusele ka energia muundamise kasutegureid ja energiakandjate kaalumistegureid. Primaarenergia kasutus väljendab seega ka hoonetes kasutatavate tehnosüsteemide ja energia „jalajälge“ keskkonnale. Juhul, kui hoone soojuskadusid välispiirete kaudu ei ole võimalik näiteks muinsuskaitsepiirangute tõttu piisavalt parandada ja netoenergiavajaduse vähenemine jääb seetõttu väiksemaks kui muidu võimalik oleks, siis energiasäästlikumatele tehnosüsteemidele ja loodust säästvamatele energiakandjatele üleminnes on hoone keskkonna „jalajälge“ võimalik siiski märkimisväärselt prandada. Seega tasub hinnata ka rekonstrueerimise mõju primaarenergia kasutuse vähenemisele. Nii on Tabelis 34 välja toodud ka rekonstrueerimispakettide mõju kuue lõputöös uuritud hoone primaarenergiakulu muutusele.

Tabel 34. Primaarenergiakulu muutus võrreldes algolukorraga

Algolukord ja rekonstrueerimise pakett	Primaarenergia kulu kokku, kWh/(m ² ·a)	Primaarenergia muutus võrreldes algolukorraga, %	Sh ruumide kütte, vent.õhu ja tarbevee soojendamise primaarenergia kokku, kWh/(m ² ·a)	Ruumide kütte, vent.õhu ja tarbevee soojendamise primaarenergia muutus võrreldes algolukorraga, %
F.R. Kreutzwaldi 25a, köetav pind 234,1 m ²				
Algolukord (C)	344,3	x	285,3	x
Rek. pakett 1	194,4	-43,5	122,8	-56,9
Rek. pakett 2	146,7	-57,4	122,8	-56,9

Algolukord ja rekonstrueerimise pakett	Primaarenergia kulu kokku, kWh/(m ² ·a)	Primaarenergia muutus võrreldes algolukorraga, %	Sh ruumide kütte, vent.õhu ja tarbevee soojendamise primaarenergia kokku, kWh/(m ² ·a)	Ruumide kütte, vent.õhu ja tarbevee soojendamise primaarenergia muutus võrreldes algolukorraga, %
Karja 23 a, köetav pind 79,4 m ²				
Algolukord (A)	502,1	x	446,5	x
Rek. pakett 1	212,8	-57,6	143,1	-67,9
Rek. pakett 2	170,4	-66,1	143,1	-67,9
Katariina allee 4b, köetav pind 358,9 m ²				
Algolukord (B)	294,3	x	235,2	x
Rek. pakett 1	175,2	-40,4	100,3	-57,4
Rek. pakett 2	159,9	-45,7	100,3	-57,4
Liiva 19, köetav pind 267,5 m ²				
Algolukord (A)	367,0	x	308,0	x
Rek. pakett 1	155,2	-57,7	80,3	-73,9
Rek. pakett 2	121,1	-67,0	80,3	-73,9
Liiva 26, köetav pind 210,7 m ²				
Algolukord (B)	343,6	x	284,5	x
Rek. pakett 1	164,5	-52,1	89,6	-68,5
Rek. pakett 2	137,0	-60,1	89,6	-68,5
Mäe 4, köetav pind 414,6 m ²				
Algolukord (A)	222,3	x	162,3	x
Rek. pakett 1	133,0	-40,2	58,1	-64,2
Rek. pakett 2	101,4	-54,4	58,1	-64,2
Rekonstrueerimispaketiga 1 vähenev keskmine energia hulk, %:		-48,6		-64,8
Rekonstrueerimispaketiga 2 vähenev keskmine energia hulk, %:		-58,4		-64,8

Selgub, et uuritud kuue hoone puhul väheneb primaarenergia hulk rekonstrueerimispaketiga 1 keskmiselt 48,6% ning rekonstrueerimispaketiga 2 keskmiselt 58,4%. Järeldub, et lokaalsete taastuvenegialahenduste (antud juhul päikesepaneelide) kasutamine tõstab hoone energiatõhusust märgatavalt. Kui jätta arvestamata valgustuse ja seadmete kasutamise primaarenergiakulu ning päikesepaneelidega kompenseeritav primaarenergia kogus, väheneb kaalutud soojusenergia kogus keskmiselt isegi 64,8%. Võrreldes Tabelis 33 toodud kogu netoenergiakulu keskmist vähenemist (51,4%) Tabelis 34 toodud ruumide kütte, ventilatsiooniõhu ja tarbevee soojendamise primaarenergia vähenemisega (64,8%), on selgelt näha kui olulise mõju annavad rekonstrueerimisega kasutusele võetavad tehnoloogilised lahendused.

3.3 Rekonstrueerimispakettidega saavutatav rahaline sääst

Hoonetes kasutatava energiahulga vähenemine toob kaasa rahalise säästu jooksvatelt energiakuludelt. Tabelis 35 on välja arvestatud kuue lõputöös uuritud hoone rekonstrueerimispakettidega saavutatava energiasäästu rahaline vaste eurodes 2023. aasta aprilli energiakandjate hindadega.

On arvestatud, et 1 m³ kuiva segapuidust küttepuid alumiseks kütteväärtuseks on 1300 kWh [7], mille järgi on välja arvestatud ruumide kütteks vajaminev küttepuid hulk. Arvutustes kasutatud energiakandjate hinnad 2023. aasta aprilli seisuga on järgmised:

- kuiv küttepuid – 100 eur/m³ (sh käibemaks) [37];
- tõhus kaugküte – 0,0931 eru/kWh (sh käibemaks) [38];
- elekter – 0,235 eur/kWh (sh käibemaks), arvestatud vastavalt Elektrilevi võrgupaketi „VÕRK 5“ ja AS Eesti Energia elektripaketi „KINDEL 6“ paketi hindadele.

Tabelis 35 toodu põhjal annab ootuspäraselt suurima rahalise säästu rekonstrueerimispakett 2, kuna osa tarbitavast elektrienergiast kaetakse lokaalsest taastuvelektrienergia tootmisest ning tänu sellele on sisse ostetava ehk tarnitava elektrienergia vajadus väiksem ja seega ka rahaline kulu elektrile väiksem. Aastase rahalise säästu põhjal saab välja arvutada diskonteeritud rahalise säästu näiteks 30 aasta peale ning leida vastav maksimaalne omanikupoolne investeeringusumma, mille juures terviklik rekonstrueerimine koos riiklike toetustega veel ära tasub. Antud lõputöös kulutõhususe ja investeeringu tasuvuse hindamisega ei tegeletud, mistõttu tasuvusarvutusi teostatud ei ole. Nimetatud arvutuste tegemine kuulub juba järgmisesse uuringu etappi, millega Võru õpilabori uurimisrühm edasi tegeleb.

Tabel 35. Koondülevaade rekonstrueerimispakettide rahalisest mõjust hoonete soojusenergia rahalisele kulule aastas

Algolukord ja rekonstrueerimispakett	Kütteenergia kulu						Sooja tarbevee kulu				Valgustus ja seadmed		Lok. taastuv-energiast kaetav, kWh/a	Kokku-hoid lok. taastuv-energiast, €/a	Kulu kokku, €/a
	Ruumide küte ja vent.õhk, kWh/a	Küttepuidu vajadus, m3/a	Küttepuit, €/a	Kaugküte, €/a	Elekter, €/a	Küttekulu kokku, €/a	Soe tarbevesi, kWh/a	Elekter, €/a	Kaugküte, €/a	Sooja tarbevee kulu kokku, €/a	Valg. ja seadmed, kWh/a	Valg. ja seadmed kulu kokku, €/a			
F.R. Kreutzwaldi 25a, köetav pind 234,1 m ²															
Algolukord (C)	85451,6	65,7	6573,2	x	x	6573,2	5618,4	1320,3	x	1320,3	6913,8	1624,8	x	x	9518,3
Rek. pakett 1	32761,1	x	x	3050,1	x	3050,1	7803,3	x	726,5	726,5	8378,1	1968,8	x	x	5745,4
Rek. pakett 2	32761,1	x	x	3050,1	x	3050,1	7803,3	x	726,5	726,5	8378,1	1968,8	-6276,0	-1474,9	4270,5
Karja 23 a, köetav pind 79,4 m ²															
Algolukord (A)	47213,4	36,3	3631,8	x	x	3631,8	2382,0	559,8	x	559,8	2205,9	518,4	x	x	4709,9
Rek. pakett 1	4347,7	x	x	x	1021,7	1021,7	1333,9	313,5	x	313,5	2767,2	650,3	x	x	1985,5
Rek. pakett 2	4347,7	x	x	x	1021,7	1021,7	1333,9	313,5	x	313,5	2767,2	650,3	-2289,3	-538,0	1447,5
Katariina allee 4b, köetav pind 358,9 m ²															
Algolukord (B)	103365,8	79,5	7951,2	x	x	7951,2	8613,6	2024,2	x	2024,2	10599,7	2490,9	x	x	12466,3
Rek. pakett 1	36698,6	x	x	3416,6	x	3416,6	11963,3	x	1113,8	1113,8	13451,5	3161,1	x	x	7691,5
Rek. pakett 2	36698,6	x	x	3416,6	x	3416,6	11963,3	x	1113,8	1113,8	13451,5	3161,1	-2761,4	-648,9	7042,6
Liiva 19, köetav pind 267,5 m ²															
Algolukord (A)	102046,1	78,5	7849,7	x	x	7849,7	8025,0	1885,9	x	1885,9	7900,3	1856,6	x	x	11592,1
Rek. pakett 1	19120,9	x	x	1780,2	x	1780,2	8916,7	x	830,1	830,1	10025,8	2356,1	x	x	4966,4
Rek. pakett 2	19120,9	x	x	1780,2	x	1780,2	8916,7	x	830,1	830,1	10025,8	2356,1	-4572,5	-1074,5	3891,8
Liiva 26, köetav pind 210,7 m ²															
Algolukord (B)	76675,4	59,0	5898,1	x	x	5898,1	5057,0	1188,4	x	1188,4	6223,0	1462,4	x	x	8548,9
Rek. pakett 1	18069,0	x	x	1682,2	x	1682,2	7023,7	x	653,9	653,9	7897,4	1855,9	x	x	4192,0
Rek. pakett 2	18069,0	x	x	1682,2	x	1682,2	7023,7	x	653,9	653,9	7897,4	1855,9	-2900,3	-681,6	3510,4
Mäe 4, köetav pind 414,6 m ²															
Algolukord (A)	65221,3	x	x	6072,1	x	6072,1	12438,0	2922,9	x	2922,9	12452,0	2926,2	x	x	11921,3
Rek. pakett 1	23224,4	x	x	2162,2	x	2162,2	13820,0	x	1286,6	1286,6	15539,1	3651,7	x	x	7100,5
Rek. pakett 2	23224,4	x	x	2162,2	x	2162,2	13820,0	x	1286,6	1286,6	15539,1	3651,7	-6548,9	-1539,0	5561,5

3.4 Etapiline rekonstrueerimine

Kõige kulutõhusam ja ehituslikult paremaid tulemusi andev on hoone energiasäästlikumaks muuta tervikliku rekonstrueerimisega. Sellisel juhul uuendatakse hoonet igal tasandil, alustades konstruktsioonide ja tarindite korrastamisest lõpetades lokaalsete taastuvenergia tehnoloogia(te) paigaldamisega. Tihti lahendatakse ka hoone arhitektuurilise funktsionaalsusega seotud probleemid nagu ebamõistlik ruumiplaneering või rõdude ja terrasside lisamine. Tähelepanuta ei jäeta ka välisarhitektuuri. See kõik nõuab aga korraga suuremahulist rahalist investeringut. Seejuures lisandub veel projekteerimise hind. Ainuüksi projekteerimismaksumus võib muinsuskaitse piirangutega hoonete täisrekonstrueerimisel moodustada hinnanguliselt kuni pool 30 aastaga säästetavast energiakulust. See paneb hoonete omanikud tervikliku rekonstrueerimise elluviimise osas sügavalt järgi mõtlema, kuna projekteerimisele kulutatava raha eest oleks võimalik näiteks terve fassaad ära soojustada ja korda teha. Samas hoolikalt teostatud projekteerimine on hoone konstruktsioonide säilimise, nõuetekohase sisekliima ja energiatõhususe tagamise seisukohast hädavajalik.

Tervikliku rekonstrueerimise alternatiiviks on etapiline lähenemine. Ideaalis võiks etapiline rekonstrueerimine toimuda samuti hoolikalt läbimõeldud ehitusprojekti järgi. Korraliku ehitusprojektiga esitatakse nõuetekohased ehituslahendused ja nõuded ehituse kvaliteedile ning antakse juhised tööde teostamise järjekorrale. Etapilise rekonstrueerimise plussiks on rahaliste kulude tegemine jõukohasemates osades, kuid miinusteks on näiteks hinnatõus ehk raha kallinemine ajas, mitte kohene energiasääst ning ehituskulude suurenemine tulenevalt eelnevalt tehtud tööde avamise ja ümber tegemise vajadusest järgmise etapi töödega jätkamiseks. Seega etapiline rekonstrueerimine on kokkuvõttes kulukam kui ühe-etapiline terviklik rekonstrueerimine. Sellest vaatest tasub hoone omanikel panustada hoone terviklikku rekonstrueerimisse ühes etapis, eriti kuna riik paneb selleks omalt poolt õla alla.

Hoone järkjärgulisel korrastamisel kehtivad samad põhimõtted, mis terviklikul rekonstrueerimisel. Alustada tuleks hoone säilitamiseks ja ohutuks kasutamiseks vajalike ehitustöödega. Nendeks on näiteks vundamendi parandamine ja hüdroisolatsioonitööd, vihmaveesüsteemi ja sadeveedrenaaži väljaehitamine/korrastamine, alumiste palgiridade välja vahetamine, fassaadi parandustööd ja värvimine (sh akende ja uste korrastamine), katusekatte vahetus, küttesüsteemi ja korstnate parandus ning vana elektrijuhtmestiku ja -kilpide vahetus. Neid töid läbiviies peab ühtlasi tegelema ka muinsuskaitse seisukohast väärtuslike detailide renoveerimisega. Elementaarsete elamistingimuste tagamiseks tuleks välja ehitada ka vee- ja kanalisatsioonisüsteem ning luua pesemisvõimalused koos

mehaanilise ventilatsiooni paigaldusega vähemalt märgruumide osas. Alles pärast nende tööde teostamist saab hakata tegelema hoone energiatõhusust parendavate tegevustega.

Kindlasti tuleb silmas pidada, et akende vahetus, välispiirete lisasoojustamine ja õhutihedamaks muutmise nõuavad vältimatult ka ruumide ventilatsiooni lahendamist, seejuures on kõige energiatõhusamaks lahenduseks soojustagastusega ventilatsioonisüsteem. Välisseinte seest poolt soojustamist tuleks niiskustehniliste probleemide tekkeohu tõttu vältida. Kui ruumide kütmist jätkata ahjudega, siis tasub sooja tarbevee saamiseks kaaluda päikesekollektorite kasutusele võtmist. Kui ruumide küte ja sooja tarbevee saamine lahendatakse aga elektril põhineva kütteseadmega, tasub kaaluda päikesepaneelide kasutusele võtmist.

3.5 Järeldused ja ettepanekud

Lõputöös uuritud hooned on suuremas osas maakivivundamendil palkkonstruktsiooniga väikesed kortermajad, mille ehituslik seisukord ei ole hea. Paljudel hoonetel esineb mõõdukaid kuni tõsiseid kahjustusi ning elamistingimused on puudulikud. Kaks hoonet on kasutusest täiesti väljas ja ühes oli alustatud kapitaalremonti. Lõputöös lähemalt uuritud kuue hoone rekonstrueerimiseelse arvutusliku energiakasutuse põhjal kuulus neli hoonet kõige madalamasse H energiaklassi, üks hoone G ja üks hoone F energiaklassi. Hoonete algolukorra standardkasutuse määramisel võeti arvesse ka hoonete mõõdetud energiakasutuse andmeid, kuna leiti, et rangelt määrusekohase standardkasutuse lähteandmetega hinnatakse hiljem rekonstrueerimisega saavutav energiasääst üle. Samasugust lähenemist võiks kaaluda ka järgmiste uuringute läbiviimisel, mis LIFE IP BuildEST teadusarendusprogrammi raames sarnastel eesmärkidel läbi viiakse.

Igale hoonele koostati muinsuskaitse nõudeid silmas pidades kaks rekonstrueerimispaketti, mille põhjal koostati vastavad energiaarvutused rekonstrueerimisega saavutava energiasäästu hindamiseks. Uuritud kuue hoone energiaarvutuste põhjal saab need hooned jaotada kolme gruppi:

- 1) Minimaalsete muinsuskaitse piirangutega üsna heas seisukorras hooned. Selliseid hooneid oli vaid üks. Piiranguid hoone lisasoojustamisele ning akende ja uste välja vahetamisele ei olnud. Soojusenergia kulude vähenemine vähemalt 60% on saavutatav. Antud hoone algolukord on energiatõhususe poolest juba üsna hea (klass F) ning C energiaklassi saavutamine on võimalik ka ilma taastuvenegialahendusteta. Koos taastuvenegia lahendustega on võimalik saavutada isegi A energiaklass.
- 2) Leebemate muinsuskaitse piirangutega kehvast seisukorras hooned. Selliseid hooneid oli kolm. Selgus, et nende hoonete puhul on 60% soojusenergia kulude vähendamine saavutatav, kuna

välispiirete lisasoojustamine on rohkemal või vähemal määral lubatud ning vanad aknad tohib välja vahetada uute originaali imiteerivate energiatõhusate akende vastu. Lisaks on hoonete algolukord energiatõhususe poolest halb (klass H), mistõttu rekonstrueerimisega saavutatav soojuskadude vähenemine on suurem. Ilma taastuvenergia lahenduste kasutamiseta on tervikliku rekonstrueerimisega võimalik jõuda D energiaklassi ning koos taastuvenergia lahendustega vähemalt C ja ühel juhul isegi B energiaklassi.

- 3) Rangete muinsuskaitse piirangutega kehvas seisukorras hooned. Uuritud hoonetest oli selliseid hooneid kaks. Nende hoonete puhul ei ole 60% soojusenergia kulude vähenemist võimalik saavutada, kuna välispiirete soojustamine ja akende välja vahetamine ei ole hoonete miljööväärtusliku välisilme säilitamise nõude tõttu kogu ulatuses võimalik. Hoonete algolukord on nii ehituslikult kui energiatõhususe poolest kehvas seisukorras (klass G või H). Tervikliku rekonstrueerimisega on võimalik jõuda E...D energiaklassi ning taastuvenergia lahenduste kasutamisega kuni C energiaklassi.

Arvutused näitasid, et kuue uuritud hoone peale kokku on võimalik saavutada keskmiselt 60,3% soojuskadude vähenemine läbi piirdetarindite, 59,7% soojusenergia kulude vähenemine, 58,4% primaarenergia kasutuse vähenemine koos lokaalsete taastuvenergia lahenduste kasutamisega ning 48,6% primaarenergia kasutuse vähenemine ilma lokaalsete taastuvenergia lahenduste kasutamiseta. Kuuest uuritud hoonest viie puhul on C energiaklassi saavutamine võimalik, neist ühe puhul juba rekonstrueerimispaketiga 1 ja nelja puhul rekonstrueerimispaketiga 2. Vaid ühe hoone puhul ei olnud kummagi rekonstrueerimispaketiga võimalik saavutada D energiaklassist paremat taset. Eeltoodud tulemused näitavad, et ka rangemate muinsuskaitse piirangutega hoonete puhul on võimalik saavutada märkimisväärne energiasääst ja energiaklassi paranemine. Uurimistööst selgus, et valitud tehnosüsteemide lahendused, sh taastuvenergia lahendused, võivad anda korraliku energiasäästu ning tõsta kõikide hoonete energiaklassi vähemalt ühe taseme võrra. Lähtudes sellest, millist tüüpi hoonete terviklik rekonstrueerimine annab kõige suurema primaarenergia kasutuse vähenemise, peaks suurimat tähelepanu ja toetust pakkuma esmajoones kõige kehvemas seisukorras olevate hoonete korrastamisele. Kehvas seisukorras hooneid, mille madalenergiahooneks rekonstrueerimist takistavad aga muinsuskaitiselised erinõuded, tuleks täiendavalt toetada, kompenseerimaks sellega muinsuskaitse piirangute tõttu saavutamata jäävat säästu energiakuludelt.

Uurimistöö käigus kerkis esile ka täiendavaid teemasid, mida siinkohal tähelepanuta jätta ei saa. Uurimisrühmal oli võimalus suhelda otse hoonete omanikega ning saada teadlikuks nende kõhklustest ja takistustest tervikliku rekonstrueerimise elluviimisel. Nii mõnedki Võru õpilabori

tingimustele kvalifitseerunud hoonete omanikud otsustasid neile pakutud võimalusest loobuda. Põhjuseks enamasti finantseerimisprobleemid. Pakutavad toetused ei ole sageli piisavad, kuna omafinantseeringuks vajaliku rahasumma pangast laenamine käib maapiirkonna elanike sissetulekute ja kinnisvara väärtuse juures üle jõu. Nii jääbki kõige kulutõhusam ja ehituslikult paremaid tulemusi andev terviklik rekonstrueerimine paljudele kättesaamatuks. Eesti ja Euroopa ambitsioonikate kliimaeesmärkide saavutamiseks on aga oluline, et järjest enam hooneid saaks renoveeritud. Sellest vaatest tuleks maapiirkondade hoonete tervikliku rekonstrueerimise toetusmeetmed ja -tingimused esimesel võimalusel kindlasti üle vaadata.

Võru muinsuskaitsealas ja selle kaitsevööndis olevate hoonete renoveerimise õpilabori töös osalemine sai lõputöö autorite jaoks alguse 2022. aasta oktoobri teises pooles, mil nad Võrus toimunud kaks päeva kestnud välitöödele kaasati. Aktiivne osalemine uurimisrühma töös lõpetati 2023. aasta märtsis, mil tuli keskenduda uurimistöö kokkuvõtmisele. Vaadates tagasi uurimistöö protsessile, siis mõned soovitusel järgmiste sarnaste uurimuste läbiviimiseks. Enne uurimisrühma poolset hoonetega kohapeale tutvuma minemist peaks aegsasti väljastama uuritavatele hoonetele muinsuskaitse eritingimuste projektid (mitte veel päris muinsuskaitsetingimused). Muinsuskaitse eritingimuse projekte, hoonete inventariseerimisjooniseid ja omanike/elanike poolt täidetud ankeetküsimustikke tuleks jagada uurimisrühmaga aegsasti. Nii saab uurimisrühm välitöödeks põhjalikumalt valmistuda ning ka edasine uurimisprotsess kulgeb tänu sellele efektiivsemalt. Kindlasti tasub kohe algul panustada vanade inventariseerimisjooniste ümber joonestamisse kas 2D või 3D joonestusprogrammi, et hõlbustada energiaarvutusteks vajalike lähteandmete kogumist, parandamist ja kontrollimist ning hiljem ka hoone plaanide importimiseks energiasimulatsiooni programmi. Digitaalsed joonised on suureks abiks ka ehitusmahtude arvestamisel, mis on aluseks tervikrekonstrueerimise eeldusliku hinna kalkuleerimisel.

Soovitav on uurimisrühma töösse kaasata kohe algul ka mõni ehitusfirma või aktiivselt tegutsev eelarvestaja, kellel on kogemus ja hinna andmebaas ajalooliste hoonete rekonstrueerimistööde detailse ehitusmaksumuse koostamiseks. See on vajalik järgmise uuringuetapi läbiviimiseks, mille eesmärk on kindlaks teha kõige kulutõhusamad tervikliku rekonstrueerimise meetmed, st välja selgitada missugused ehitusmaterjalid ja -tehnoloogiad on kõige tasuvamad. Lõputöö autorid jõudsid küll tegeleda vajalike arvutustabelite ja -süsteemi loomisega kulutõhusate meetmete välja selgitamiseks, kuid kuna vajaliku detailsusega hinnainfo saamine viibis, ei jõutud selle tööga lõputöö koostamise ajaks lõplike tulemusteni jõuda. Seega jääb kirjeldatud töö õpilabori uurimisrühma lõpetada.

KOKKUVÕTE

Euroopa rohelise kokkuleppega on püstitatud ambitsioonikas eesmärk saavutada aastaks 2050 kliimaneutraalsus kogu Euroopas. Selle eesmärgini jõudmiseks peab oma panuse andma ka Eesti. Tulenevalt asjaolust, et peaaegu pool Eestis kasutatavast energiast kulub hoonetele, on hoonete energiasäästlikumaks muutmine koos fossiilsetel kütustel põhinevate energialahenduste asendamisega taastuenergia põhinevate lahenduste vastu olulise mõjuga Eesti süsiniku jalajälje vähendamisel. Lisaks kliimaeesmärkidele on hoonete energiasäästlikumaks muutmine oluline ka majapidamiste endi energiakulude vähendamiseks ja sisekliima parandamiseks. Siinkohal on aga väljakutseks eramud, väikesed kortermajad ja miljööväärtuslike piirkondade hooned, mida on seni vähem uuritud.

Lõputöö eesmärk oli uurida miljööväärtuslike eramute ja väiksemate kortermajade energiatõhususe parandamise võimalusi. Seejuures uuriti, kas ja kuidas on võimalik saavutada soojusenergia kulude vähenemine vähemalt 60% ja vähemalt C energiaklassi saavutamine. Uurimistöö viidi läbi teadusarendusprogrammi LIFE IP BuildEST Võru renoveerimise õpilabori raames, koostöös Tartu Regiooni Energiaagentuuri, Tallinna Tehnikaülikooli, Eesti Kunstiakadeemia ning Muinsuskaitseameti spetsialistidest ja teaduritest koosneva uurimisrühmaga. Lõputöö läbiviimiseks tutvuti 11 Võru vanalinna muinsuskaitse alas või selle kaitsevööndis paikneva miljööväärtusliku elamuga. Nendest kuuele hoonele töötati välja muinsuskaitse piiranguid arvesse võttes sobivaimad tervikliku rekonstrueerimise lahendused ja teostati vastavad energiaarvutused rekonstrueerimise mõju hindamiseks hoonete energiakasutusele. Välja arvutati ka rekonstrueerimislahendustega saavutatav rahaline sääst jooksvatelt energiakuludelt.

Uuritud kuue hoone ehituslik seisukord oli enamjaolt kehv. Peamiseks probleemiks hooldamata piirdetarindid ning sellest tulenevad vee- ja niiskuskahjustused. Probleeme esines ka vundamendi vajumise ning keldrisse imbuva pinnaseveega ning kahel hoonel olid tõsised kahjustused ka tühjalt seismisest. Hoone renoveerimisel tuleb esmajärjekorras tegeleda just hoone säilitamiseks ja elementaarsete elamistingimuste tagamiseks vajalike hädavajalike töödega. Samaaegselt on vaja tegeleda ka muinsuskaitse seisukohast väärtuslike detailide renoveerimisega. Alles seejärel on mõistlik hakata tegelema hoone energiatõhusust parandavate ehitustööde ja tehnosüsteemide paigaldamisega.

Lõputöö käigus töötati igale hoonele välja kaks rekonstrueerimispaketti. Esimese rekonstrueerimispaketiga nähti ette muinsuskaitse piiranguid arvestavad ja energiatõhusust

parandavad ehituslikud ja tehnosüsteemide lahendused. Teise rekonstrueerimispaketiga lisati juurde taastuenergialahendused, millest kõige sobilikumaks osutus päikesepaneelide kasutamine. Rekonstrueerimispakettide mõju hindamiseks hoonete energiakasutusele teostati vastavad energiaarvutused. Arvutused näitasid, et kuue uuritud hoone peale kokku on võimalik saavutada keskmiselt 60,3% soojuskadude vähenemine läbi piirdetarindite, 59,7% soojusenergia kulude vähenemine, 58,4% primaarenergia kasutuse vähenemine koos lokaalsete taastuenergi lahenduste kasutamisega ning 48,6% primaarenergia kasutuse vähenemine ilma lokaalsete taastuenergi lahenduste kasutamiseta. Kuuest uuritud hoonest viie puhul on C energiaklassi saavutamine võimalik, neist ühe puhul juba rekonstrueerimispaketiga 1 ja nelja puhul rekonstrueerimispaketiga 2. Vaid ühe hoone puhul ei olnud kummagi rekonstrueerimispaketiga võimalik saavutada D energiaklassist paremat taset. Eeltoodud tulemused näitavad, et ka rangemate muinsuskaitse piirangutega hoonete puhul on võimalik saavutada märkimisväärne energiasääst ja energiaklassi tõus. Uurimistööst tõusis esile, et valitud tehnosüsteemide lahendused, sh taastuenergi lahendused, võivad anda olulise energiasäästu ning tõsta kõikide hoonete energiaklassi vähemalt ühe taseme võrra.

Uurimistöö raames kerkisid üles mitmete hooneomanike kõhklused ja takistused tervikliku rekonstrueerimise elluviimisel. Nii mõnedki Võru õpilabori tingimustele kvalifitseerunud hoonete omanikud otsustasid neile pakutud võimalusest loobuda. Põhjuseks enamasti finantseerimisprobleemid. Pakutavad toetused ei ole sageli piisavad, kuna omafinantseeringuks vajaliku rahasumma pangast laenamine käib maapiirkonna elanike sissetulekute ja kinnisvara väärtuse juures üle jõu. Eesti ja Euroopa ambitsioonikate kliimaeesmärkide saavutamiseks on aga oluline, et järjest enam hooneid saaks renoveeritud. Seega tuleks maapiirkondade hoonete tervikliku rekonstrueerimise toetusmeetmed ja -tingimused kindlasti üle vaadata.

Peale rahalise toetuse toetati hooneomanikke ka teadmistega. Kõikidele lõputöös uuritud hoonete omanikele anti Võru õpilabori uurimisrühma poolt nõu oma hoone ehituslike probleemide parandamiseks ja energiatõhusamaks muutmiseks. Tervikliku rekonstrueerimisega lõpuni minevate hoonete omanikke aidatakse täiendavalt ka projekteerimise lähteülesande koostamisega ja edasise nõustamisega kuni ehitustööde lõpliku valmimiseni. Lõputöö autorid andsid oma tööga olulise panuse uurimisrühma tegevusse, tegeledes hoonete seisukorra kaardistamise ja sobivaimate rekonstrueerimislahenduste leidmise ja nende mõju hindamisega hoonete energiakasutusele. Selleks kogutud lähteandmeid, koostatud andmebaase, arvutustabeleid ja -süsteeme kasutatakse järgmistes õpilabori uurimisetappides. Nii on käesoleva lõputööga antud oma väikene panus Eesti elamufondi energiasäästlikumaks muutmiseks.

SUMMARY

Opportunities for Improving Energy Efficiency on the Example of Areas of Cultural and Environmental Value in Võru City

The European Green Deal sets an ambitious goal of achieving climate neutrality throughout Europe by 2050. To reach this goal, Estonia must also make its contribution. Due to the fact that almost half of the energy used in Estonia is spent on buildings, making buildings more energy efficient, together with the replacement of energy solutions based on fossil fuels with solutions based on renewable energy, has a significant impact on reducing Estonia's carbon footprint. In addition to climate goals, making buildings more energy-efficient is also important for reducing the energy costs of the households themselves and improving the indoor climate. However, the challenge here is private houses, small apartment buildings, and buildings in the areas of cultural and environmental value, which have so far been less studied.

The aim of the graduation thesis was to investigate the possibilities of improving the energy efficiency of private houses and smaller apartment buildings of cultural and environmental value. In doing so, it was investigated whether and how it is possible to achieve a reduction in heat energy losses of at least 60% and to achieve at least C energy class. The research was carried out within the framework of the research development program LIFE IP BuildEST Võru Renovation Study Laboratory by a research group consisting of specialists and researchers from Tartu Regional Energy Agency, Tallinn University of Technology, the Estonian Academy of Arts, and Estonian Heritage Protection Board. In order to carry out the thesis, the authors of this thesis visited 11 residential buildings of cultural and environmental value located in the heritage protection area of Võru old town or in its protection zone. For six of these buildings, the most suitable comprehensive reconstruction solutions were developed, taking into account the restrictions of heritage protection, and corresponding energy calculations were performed to assess the impact of the reconstruction on the energy use of the buildings. Financial savings from current energy costs achieved with reconstruction solutions were also calculated.

The structural condition of the six investigated buildings was mostly poor. The main problem is unmaintained fences and the resulting water and moisture damage. There were also problems with foundation subsidence and soil water seeping into the basement, and two buildings also had serious damage from standing empty. When renovating a building, the essential work necessary to preserve the building and ensure basic living conditions must be addressed in the first place. At the same time,

it is also necessary to deal with the renovation of valuable details from the point of view of heritage protection. Only then is it reasonable to start working on construction works and the installation of technical systems that improve the building's energy efficiency.

During the preparation of the graduation thesis, two reconstruction packages were developed for each building. The first reconstruction package envisaged construction and utility system solutions that take into account the limitations of heritage protection and improve energy efficiency. With the second reconstruction package, renewable energy solutions were added, of which the use of solar panels proved to be the most suitable. In order to assess the impact of reconstruction packages on the energy use of buildings, corresponding energy calculations were performed. In summary, it was possible to reduce the heat energy losses by an average of 59,7% and with renewable energy solutions, the use of primary energy by an average of 58,4%, and without renewable energy solutions by 48.6%. In five of the six investigated buildings, it is possible to achieve C energy class, in one of them without renewable energy solutions and in four with renewable energy solutions. Only one building could not achieve a level better than energy class D. The above results show that even in the case of buildings with stricter heritage protection restrictions, it is possible to achieve significant energy savings and an increase in the energy class. The research showed that the selected technical system solutions, including renewable energy solutions, can provide a decent energy saving and raise the energy class of all buildings by at least one level.

With their work, the authors of the thesis made a significant contribution to the activities of the research group by mapping the condition of the buildings and finding the most suitable reconstruction solutions and finding the most suitable reconstruction solutions and evaluating their impact on the energy use of buildings. The source data collected for this purpose, the databases, spreadsheets, and systems created will be used in the next stages of the Study Laboratory. Finally, it can be said that the thesis has made a small contribution to making the Estonian housing stock more energy-efficient.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] „Euroopa roheline kokkulepe,“ Euroopa Komisjon, Brüssel, 2019.
- [2] „Hoonete rekonstrueerimise pikaajaline strateegia,“ Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2020.
- [3] „Teadusarendusprogramm LIFE IP BuildEST – hooandja hoonete renoveerimisele,“ Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mkm.ee/buildest>. [Kasutatud 25. märts, 2023].
- [4] „LIFE IP BuildEST ehk renoveerimismaraton,“ Võru linn, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.voru.ee/et/buildest>. [Kasutatud 4. aprill, 2023].
- [5] „Tavaeluruumidega hooned, eluruumid ja eluruumide pind, 31. detsember 2021,“ Statistikaamet, [Võrgumaterjal]. Available: https://andmed.stat.ee/et/stat/rahvaloendus__rel2021__eluruumid/RL21202/table/tableViewLayout2. [Kasutatud 9. aprill, 2023].
- [6] „Mälestiste statistika,“ Kultuurimälestiste register, [Võrgumaterjal]. Available: <https://register.muinas.ee/public.php?menuID=statistic>. [Kasutatud 9. aprill, 2023].
- [7] „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/113122018014?leiaKehtiv>. [Kasutatud 11. märts, 2023].
- [8] Eesti Kütte- ja Ventilatsiooniinseneride Ühendus, Tallinna Tehnikaülikooli keskkonnatehnika instituut, „Korterelamute energiaauditite koostamise juhend,“ SA KredEx, Tallinn, 2015.
- [9] Tallinna Tehnikaülikooli ehituse ja arhitektuuri instituut, „Liginullenergia eluhooned. Rida- ja korterelamud,“ SA KredEx, Tallinn, 2017.
- [10] „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/107072020012?leiaKehtiv>. [Kasutatud 6. aprill, 2022].

- [11] E. Abel, H. Voll, T. Tark, P. Pikk ja R. Daniel, Hoonete energiatarve ja sisekliima, 3. parandatud ja täiendatud trükk, OÜ Presshouse, 2022, p. 362.
- [12] J. Rohusaar, R. Mägi, T. Masso, I. Talvik, V. Jaaniso, V. Otsmaa, V. Voltri, K. Loorits, T. Peipman, O. Pukk, K. Õiger, E. Just, A. Just ja V. Hartšuk, Ehituskonstruktori käsiraamat, 4. parandatud trükk, T. Masso, Toim., Tallinn: EHITAME kirjastus, 2014, p. 577.
- [13] T. Masso, EHITUSDÜÜSIKA ABC soojus, niiskus, müra, EHITAME kirjastus, 2012, p. 172.
- [14] „Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/106052015002?leiaKehtiv>. [Kasutatud 11. märts, 2023].
- [15] „Ehitusseadustik,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/105032015001?leiaKehtiv>. [Kasutatud 11. märts, 2023].
- [16] „Energiatõhusus ja sisekliima,“ Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mkm.ee/ehitus-ja-elamumajandus/keskkonnasaastlikkus/energiatohusus-ja-sisekliima>. [Kasutatud 9. aprill, 2023].
- [17] „Energiatõhusus: uuringud ja andmed,“ KredEx, [Võrgumaterjal]. Available: <https://kredex.ee/et/energiatohusus-uuringud-ja-andmed/olemasolevate-hoonete-energiatohusus>. [Kasutatud 9. aprill, 2023].
- [18] *LIFE IP BuildEST projektipank*, 2022-2023.
- [19] „Laen, käendus ja toetus,“ SA KredEx, [Võrgumaterjal]. Available: <https://kredex.ee/et/teenused/ku-ja-kov/laen-kaendus-ja-toetus>. [Kasutatud 13. aprill, 2023].
- [20] „Muinsuskaitsealal paikneva hoone toetus,“ Võru linn, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.voru.ee/et/muinsuskaitsetoetused>. [Kasutatud 13. aprill, 2023].
- [21] „Toetused mälestistele,“ Muinsuskaitseamet, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.muinsuskaitseamet.ee/et/load-toetused-ja-kooskolastamine/toetused-malestistele>. [Kasutatud 13. aprill, 2023].

- [22] „Konkursi tingimused LIFE IP BuildEST renoveerimise õpilaboris hoonete leidmiseks,“ Võru linn, [Võrgumaterjal]. Available: https://www.voru.ee/documents/9602050/10413777/BuildEst_tingimused.pdf/15dc8616-dfe4-49f9-8da1-c1077a3df065. [Kasutatud 26. märts, 2023].
- [23] Maa-amet, „Geoportaal,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/kitsendused>. [Kasutatud 30. märts, 2023].
- [24] „Ehitisregister,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://livekluster.ehr.ee/ui/ehr/v1>. [Kasutatud 11. märts, 2023].
- [25] „Maainfo (X-GIS 2),“ Maa-amet, [Võrgumaterjal]. Available: <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/maainfo>. [Kasutatud 25. märts, 2023].
- [26] „Kultuurimälestiste register,“ Muinsuskaitseamet, [Võrgumaterjal]. Available: <https://register.muinas.ee/>. [Kasutatud 12. märts, 2023].
- [27] „Võru muinsuskaitseala inventeerimine 2011.a.,“ Muinsuskaitseamet, [Võrgumaterjal]. Available: <https://register.muinas.ee/ftp/MKA%20inventeerimine/Voru.invent.ankeedid.pdf>. [Kasutatud 12. märts, 2023].
- [28] „Eluruumile esitatavad nõuded,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/109072020017>. [Kasutatud 26. aprill, 2023].
- [29] Tallinna Tehnikaülikooli ehitusteaduskond, „Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga,“ Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2011.
- [30] „Elamu energiaauditile esitatavad nõuded,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/110042015006?leiaKehtiv>. [Kasutatud 17. aprill, 2023].
- [31] T. Tark ja T. Kalamees, „Madalenergia- ja ligi nullenergiahoonete kavandamine. Juhend korterelamute projekteerijatele, ehitajatele ja tellijatele,“ SA KredEx, Tallinn, 2012.
- [32] „EVS-EN ISO 6946:2017. HOONETE PIIRDETARINDID JA KOMPONENDID. Soojustakistus ja soojusläbivus. Arvutusmeetodid,“ Eesti Standardikeskus, 2017.

- [33] „EVS-EN ISO 10456:2008. EHITUSMATERJALID ja -TOOTED. Soojus- ja niiskustehnilised omadused. Tabuleeritud arvutusväärtused ja deklareeritavate ning arvutusväärtuse määramise meetodid,“ Eesti Standardikeskus, 2009.
- [34] „EVS 908-1:2016. HOONE PIIRDETARINDI SOOJUSLÄBIVUSE ARVUTUSJUHEND. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire,“ Eesti Standardikeskus, 2016.
- [35] „EVS-EN ISO 13370:2008, HOONETE SOOJUSLIK TOIMIVUS - soojuslevi pinnasesse, arvutusmeetodid,“ Eesti Standardikeskus.
- [36] S. Käärid, Hoonete remont ja rekonstrueerimine (loengukursus), 2.osa, Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2004, p. 80.
- [37] „Hinnad,“ Küttepuud 24, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.xn--ktttepuud24-9db.ee/hinnad/>. [Kasutatud 27. aprill, 2023].
- [38] „Võru kaugküütepiirkond,“ Danpower Eesti AS, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.danpower.ee/kliendile>. [Kasutatud 27. aprill, 2023].

LISAD

- Lisa 1. Kreutzwaldi 25a energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused algolukorras
- Lisa 2. Kreutzwaldi 25a energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused pärast rekonstrueerimist
- Lisa 3. Karja 23a energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused algolukorras
- Lisa 4. Karja 23a energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused pärast rekonstrueerimist
- Lisa 5. Katariina allee 4b energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused algolukorras
- Lisa 6. Katariina allee 4b energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused pärast rekonstrueerimist
- Lisa 7. Liiva 19 energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused algolukorras
- Lisa 8. Liiva 19 energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused pärast rekonstrueerimist
- Lisa 9. Liiva 26 energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused algolukorras
- Lisa 10. Liiva 26 energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused pärast rekonstrueerimist
- Lisa 11. Mäe 4 energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused algolukorras
- Lisa 12. Mäe 4 energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused pärast rekonstrueerimist

Lisa 9. Liiva 26 energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused algolukorras

Energiaarvutuse lähteandmete esitamine									
Energiaarvutuse lähteandmed									
Arvutustsoonide arv									
Küttesüsteemi tüüp									
-soojuse tootmine ja kütus									
-soojuse jaotamine									
Ventilatsioonisüsteemi tüüp									
Jahutussüsteem (on/ei ole)									
Õhulekkearvu väärtuse allikas									
Joonsoojuslähivuse väärtuse allikas									
Soojuskadu läbi piirdetarindi									
Soojuskadu läbi joon- ja punktsoojuslähivuste									
Õhulekkest tingitud soojuskadu									
Piirdetarind									
g									
U _i									
A _i									
H _{ühine}									
Joon- või punktsoojuslähivus									
Ψ _i									
l _i									
H _{ühine}									
Omadus									
Suurus									
Välissein VS-1									
Välissein									
Pööninglagi L-1									
Pööningu vahelagi									
Põrand pinnasel P-1									
Kütmata keldri lagi K-1									
Välisüks									
Aken (edel) - ol.olevad									
Aken (loe) - ol.olevad									
Aken (kirre) - ol.olevad									
Aken (kagu) - ol.olevad									
valli rippmenüüst									
valli rippmenüüst									
valli rippmenüüst									
valli rippmenüüst									
...									
...									
Kokku:									
H _{ühine}									
450,3									
H _{ühine}									
28,0									
H _{ühine}									
71,2									
Välispiirde summaarne soojuserikadu									
ΣH _i W/K									
549,4									
Välispiirde keskmine soojuslähivus									
ΣH _i / l _i									
0,97									
Hoone köetav pind									
A _{ühine} m²									
210,7									
Hoone madala temperatuuriseadega pind									
A _{madal} m²									
0,0									
Välispiirde summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta									
ΣH _i / A _{ühine} W/(m²·K)									
2,61									
Ventilatsioonisüsteem									
Õhuvooluhulk									
sissepuhe									
väljatõmme									
SFP									
Soojustagasti tüüp									
Soojustagasti temperatuuri suhtarv,									
Heitõhu min. temp. ¹									
Sissepuhkeõhu temperatuur ²									
m³/s									
m³/s									
kW/(m³/s)									
0,0									
puudub									
0,00									
Sisepuhke-väljatõmbe ventilatsioon soojustagastusega									
soojustagasti külmumise vältimine									
estatakse konstantse sisepuhketemperatuurseade puhul									
Küttesüsteem									
Soojusallika kasutegur									
Jaotamise ja väljastamise kasutegur, -									
Kütteperioodi ² keskmine									
Soojus ² pumba keskmine									
Abiseadmete ⁴ keskmine									
Küttegaafik ³									
Küttesüsteemi võimsus ⁴									
Elektter									
Soojus									
kW									
kW									
Küttesüsteem									
Ventilatsiooni küttekalorifeer puudub									
See ves (elektriboiler)									
1									
1									
estatakse soojuspumpsisüsteemide puhul									
puudub, kui estatakse soojuspumpsisüsteemi koosseisus									
Jahutussüsteem									
Jahutusperioodi keskmine jahutustegur									
Aastase jahutusenergia osakaal ⁶ , -									
Abiseadmete ⁴ jahutusgraafik ²									
Jahutuskadude tegur									
β ₁ , β ₂ , β ₃ , -									
1 (nt tsentraalne)									
2 (nt SPLIT)									
arvutatakse välisõhu temperatuuri korral, estatakse vedelküttesüsteemide puhul									
1,0 juhul kui puudub vajadus									
Lokaalse taastuvenergia süsteemid									
Päikese-kollektori aktiiv-pindala, m²									
Päikese-paneelide max võimsus, kW									
Tuulegene-raatori nimi-võimsus, kW									
Päikesekollektorid (see ves)									
PV-paneelid (elektter)									
0,0									
0,0									
Vabasoojused									
Inimesed									
Seadmed									
Valgustus									
Kasutusaste									
Kasutusaeg									
päeva nädalas									
tundi päevas									
W/m²									
W/m²									
W/m²									
%									
d									
h									
3									
3									
8									
60									
10									
7									
24									
24									
Kuupäev									
Nimi									
/allkirjastatud digitaalselt/									

Energiaarvutuse tulemuste esitamine							
Andmed hoone kohta							
Hoone kasutusotstarve	11220 Kolme või enama korteriga elamu	☐	Oluline rekonstrueerimine				
Aadress	Liiva 26, Võru	☐	Rekonstrueerimine				
Ehitusaasta	1949						
Köetav pind	210,7 m ²						
Madala temp.seadega pind	0,0 m ²						
Netopind	236,3 m ²						
Energiaühik	344 kWh/(m ² a)		(kWh köetava pinna ruutmeetri kohta)				
Energiaühik	344 kWh/(m ² a)		(kWh köetava pinna ruutmeetri kohta)				
Energiaühik ilma lokaalselt toodetud elektrita							
Energiaühik	Hangitud kütused	Tamitud	Tarnitud	Eksporditud	Eksporditud	Kaalumis-tegur	Kaalutud
kokkuvõte	massi või kogus/a	energia	energia	energia	energia	-	energiaühik
	mahuühik	kWh/a	kWh/(a m ²)	kWh/a	kWh/(a m ²)		kWh/(a m ²)
Elektter	-	-	11 280	53,5	0	0,0	2,0
Puitkütus	-	-	76 675	363,9	-	-	0,65
...	-	-	-	-	-	-	0,0
Summa	-	-	87 955	417,4	0	0	343,6
Lokaalselt toodetud ja eksporditud energia		Lokaalselt toodetud		Eksporditud		Omatarbe osakaal	
		kWh/a	kWh/(a m ²)	kWh/a	kWh/(a m ²)	%	
Soojusenergia päikesest		0	0,0				
Elektter päikesest		0	0,0	0	0,0	55%	
...							
Summaarne energiaühik		Elektter kWh/a	Soojus kWh/a	Elektter kWh/(a m ²)	Soojus kWh/(a m ²)		
Küttesüsteem		-	-	-	-		
Ruumide küte		0	74 520	0,0	353,7		
Ventilatsiooniõhu soojendamine		0	2 155	0,0	10,2		
Tarbevee soojendamine		5 057	0	24,0	0,0		
Abiseadmete elektter		0	-	0,0	-		
Ventilatsioonisüsteem ¹		0	-	0,0	-		
Jahutussüsteem							
Abiseadmete elektter			-		-		
Valgustus		1 477	-	7,0	-		
Seadmed		4 746	-	22,5	-		
Summa (tehnosüsteemide summaarne energiaühik)		11 280	76 675	53,5	363,9		
¹ ventilatsiooniõhu soojendamine loetakse küttesüsteemi osaks							
Netoenergiavajadus		kWh/a	kWh/(a m ²)				
Ruumide küte ²		44 712	212,2				
Ventilatsiooniõhu soojendamine ³		1 293	6,1				
Tarbevee soojendamine		5 057	24,0				
Ruumide jahutus		0	0,0				
Ventilatsiooniõhu jahutus		0	0,0				
² sisaldab infiltratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojenemise ruumis							
³ arvutatud koos soojustagastusega							
Arvutusprogrammi nimi ja versioon	Kraadpäevade alusel arvutus						
0	0						
Kuupäev	Nimi						
	/allkirjastatud digitaalselt/						

Lisa 10. Liiva 26 energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused pärast rekonstrueerimist

Energiaarvutuse lähteandmete esitamine										
Energiaarvutuse lähteandmed										
Arvutustsoonide arv										
Küttesüsteemi tüüp										
-soojuse tootmine ja kütus										
-soojuse jaotamine										
Ventilatsioonisüsteemi tüüp										
Jahutussüsteem (on/ei ole)										
Õhulekkearvu väärtuse allikas										
Joonsoojuslähivuse väärtuse allikas										

Energiaarvutuse tulemuste esitamine								
Andmed hoone kohta								
Hoone kasutusotstarve	11220 Kolme või enama korteriga elamu	☐	Oluline rekonstrueerimine					
Aadress	Liiva 26, Võru	☐	Rekonstrueerimine					
Ehitusaasta	1949							
Köetav pind	210,7	m ²						
Madala temp.seadega pind	0,0	m ²						
Netopind	236,3	m ²						
Energiaarvutusarv	137	kWh/(m ² a)	(kWh köetava pinna ruutmeetri kohta)					
Energiaarvutusarv	165	kWh/(m ² a)	(kWh köetava pinna ruutmeetri kohta)					
^B Energiaarvutusarv ilma lokaalselt toodetud elektrita								
Energiakasutuse kokkuvõtte	Hangitud kütused massi või kogus/a	mahuühik	Tarnitud energia kWh/a	Tarnitud energia kWh/(a m ²)	Eksporditud energia kWh/a	Eksporditud energia kWh/(a m ²)	Kaalumis- tegur -	Kaalutud energiasutus kWh/(a m ²)
Elekter	-	-	6 894	32,7	4350	20,6	2,0	65,4
Tõhus kaugküte			23 196	110,1			0,65	71,6
...								0,0
Summa	-	-	30 090	142,8	4 350	21	-	137,0
Lokaalselt toodetud ja eksporditud energia			Lokaalselt toodetud kWh/a		Eksporditud kWh/a		Omatarbe osakaal %	
			kWh/(a m ²)		kWh/(a m ²)			
Soojusenergia päikesest			0		0,0			
Elekter päikesest			7 251		34,4		4350 20,6 40%	
...								
Summaarne energiasutus			Elekter kWh/a	Soojus kWh/a	Elekter kWh/(a m ²)	Soojus kWh/(a m ²)		
Küttesüsteem			-	-	-	-		
Ruumide küte			0	16 172	0,0	76,7		
Ventilatsiooniõhu soojendamine			1 897	0	9,0	0,0		
Tarvevee soojendamine			0	7 024	0,0	33,3		
Abiseadmete elekter			105	-	0,5	-		
Ventilatsioonisüsteem ¹			1 569	-	7,4	-		
Jahutussüsteem								
Abiseadmete elekter				-		-		
Valgustus			1 477	-	7,0	-		
Seadmed			4 746	-	22,5	-		
Summa (tehnosüsteemide summaarne energiasutus)			9 794	23 196	46,5	110,1		
¹ ventilatsiooniõhu soojendamine loetakse küttesüsteemi osaks								
Netoenergiavajadus			kWh/a	kWh/(a m ²)				
Ruumide küte ²			14 118	67,0				
Ventilatsiooniõhu soojendamine ³			1 897	9,0				
Tarvevee soojendamine			6 321	30,0				
Ruumide jahutus			0	0,0				
Ventilatsiooniõhu jahutus			0	0,0				
² sisaldab infiltratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojenemise ruumis								
³ arvutatud koos soojustagastusega								
Arvutusprogrammi nimi ja versioon			Kraadpäevade alusel arvutus					
0			0					
Kuupäev			Nimi	/allkirjastatud digitaalselt/				

Lisa 11. Mäe 4 energiaarvutuste lähteandmed ja tulemused algolukorras

Energiaarvutuse lähteandmete esitamine											
Energiaarvutuse lähteandmed											
Arvutustsoonide arv		-									
Küttesüsteemi tüüp		- soojuse tootmine ja kütus - soojuse jaotamine									
Ventilatsioonisüsteemi tüüp		tõhus kaugküte radiaatorid									
Jahutussüsteem (on/ei ole)		vali rippmenüüst									
Õhulekkearvu väärtuse allikas		ei ole									
Joonsoojuslähivuse väärtuse allikas											
Soojuskadu läbi piirdetarindi					Soojuskadu läbi joon- ja punktsoojuslähivuste					Ohulekkest tingitud soojuskadu	
Piirdetarind	g	U _i	A _i	H _{i,trans}	Joon- või punktsoojuslähivus	Ψ _i	l _i	H _{i,const}	Omadus	Suurus	
	-	W/(m ² ·K)	m ²	W/K		W/(m·K)	m	W/K			
Välissein VS-4		0,36	330,8	117,7	Välissein - välissein	0,05	21,7	1,1	Õhulekkearv q ₉₉	6,0	
Välissein		0,00	0,0	0,0	Katuslagi - välissein	0,00	0,0	0,0	m ³ /(h·m ²)		
Katuslagi		0,00	0,0	0,0	Pööningu vahelagi - välissein	0,15	73,8	11,1	A _{vp} (välispiirded), m ²	874,9	
Pööningu vahelagi L-4		0,53	235,2	125,6	Põrand pinnasel - välissein	0,30	73,8	22,1	Korruste arv (täisarv)	2	
Põrand pinnasel P-2		0,73	74,6	54,3	Keldri vahelagi - välissein	0,00	0,0	0,0	V _{ar} , m ³ /s	0,0608	
Kütmata keldri lagi K-1		0,56	160,6	89,5	Akna seinakinnitus	0,02	190,8	3,8			
Välisuks		2,00	7,6	15,2	Ukse seinakinnitus	0,02	12,5	0,3			
Aken (kire) - ol.olevad	0,60	1,47	34,4	50,6	Sisesein - välissein	0,00	0,0	0,0			
Aken (edel) - ol.olevad	0,60	1,47	31,7	46,6	Vahelagi - välissein	0,00	0,0	0,0			
vali rippmenüüst	0,00	0,00	0,0	0,0	Välissein - rõduplaat	0,00	0,0	0,0			
vali rippmenüüst	0,00	0,00	0,0	0,0	...	0,00	0,0	0,0			
vali rippmenüüst	0,00	0,00	0,0	0,0	...	0,00	0,0	0,0			
vali rippmenüüst	0,00	0,00	0,0	0,0	...	0,00	0,0	0,0			
vali rippmenüüst	0,00	0,00	0,0	0,0	...	0,00	0,0	0,0			
vali rippmenüüst	0,00	0,00	0,0	0,0							
...		0,00	0,0	0,0							
...		0,00	0,0	0,0							
Kokku:		H _{i,trans}	W/K	499,5		H _{i,const}	W/K	38,4	H _{ohulek}	W/K	
										73,3	
Välispiirde summaarne soojuserikadu					ΣH _i W/K			611,1			
Välispiirde keskmine soojuslähivus					ΣH _i / A _{i,trans}			0,70			
Hoone köetav pind					A _{köetav} m ²			414,6			
Hoone madala temperatuuriseadega pind					A _{madal} m ²			0,0			
Välispiirde summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta					ΣH _i / A _{köetav} W/(m ² ·K)			1,47			
Ventilatsioonisüsteem											
Õhuvooluhulk		Süsteemi		Soojustagasti	Soojustagasti	Heitõhu	Sissepuhkeõhu				
sissepuhe	väljatõmme	SFP	tüüp	temperatuuri	min. temp. ¹	temperatuur ²					
m ³ /s	m ³ /s	kW/(m ³ /s)		suhtarv,	°C	°C					
				-							
Sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon soojustagastusega		0,021	0,0	puudub	0,00						
¹ soojustagasti kütumise vältimise											
² esitatakse konstantse sissepuhke temperatuuri seadega puhul											
Küttesüsteem	Soojusallika kasutegur	Jaotamise ja väljastamise kasutegur, -	Küttesüsteemi ³ keskmine soojustegur, -	Soojus ³ pumba osakaal, -	Abiseadmete ⁴ keskmine kWh/(m ² ·a)	Küttesüsteemi võimsus ⁴	Küttesüsteemi võimsus ⁴	Soojus			
	-	-	-	-	°C / °C	Elekt	Elekt	Soojus			
						kW	kW	kW			
Küttesüsteem	0,9	0,97			0,5	/	/	/			
Ventilatsiooni küttekalorifeer puudub						/	/	/			
Soe vesi (elektriboiler)	1	1				/	/	/			
³ esitatakse soojuspump-süsteemide puhul											
⁴ puudub, kui esitatakse soojuspump-süsteemi koostis											
Jahutussüsteem											
Jahutusperioodi keskmine jahutustegur		Aastase jahutuse energia osakaal ⁶ , -		Abiseadmete kWh/(m ² ·a)	Jahutusgraafik ⁵	Jahutuskadude tegur					
	-	-	-	elekt	°C / °C	β _e β _{ak} β _{ts}					
				kWh/(m ² ·a)							
1 (nt. tsentraalne)					/						
2 (nt. SPLIT)					/						
⁵ arvutatud külmõhu temperatuuril korral, esitatakse vedelküttesüsteemide puhul											
⁶ 1,0 juhul kui puudub vahajahutus											
Lokaalse taastuvenergia süsteemid											
Päikese-kollektori aktiiv-pindala, m ²		Päikese-paneelide max võimsus, kW		Tuulegeneraatori nimivõimsus, kW							
	0,0		0,0								
Päikese-kollektorid (soe vesi)											
PV-paneelid (elekt)											
Vabasoojused											
Inimesed		Seadmed	Valgustus	Kasutusaste	Kasutusaeg						
	W/m ²	W/m ²	W/m ²	%	päeva nädalas	tundi päevas					
	3	3		60	d	h					
			8	10	7	24					
					7	24					
Kuupäev	Nimi		/allkirjastatud digitaalselt/								

Energiaarvutuse tulemuste esitamine							
Andmed hoone kohta							
Hoone kasutusotstarve	11220 Kolme või enama korteriga elamu		☐		Oluline rekonstrueerimine		
Aadress	Mäe tn 4, Võru linn		☐		Rekonstrueerimine		
Ehitusaasta	1960						
Köetav pind	414,6	m ²					
Madala temp.seadega pind	0,0	m ²					
Netopind	507,0	m ²					
Energiaarvutus	222	kWh/(m ² a)	(kWh köetava pinna ruutmeetri kohta)				
Energiaarvutus	222	kWh/(m ² a)	(kWh köetava pinna ruutmeetri kohta)				
⁸ Energiaarvutus ilma lokaalselt toodetud elektrita							
Energiakasutuse kokkuvõte	Hangitud kütused massi või kogus/a	Tarnitud energia kWh/a	Tarnitud energia kWh/(a m ²)	Eksporditud energia kWh/a	Eksporditud energia kWh/(a m ²)	Kaalumis- tegur -	Kaalutud energiakasutus kWh/(a m ²)
Elekt	-	-	24 890	60,0	0	0,0	120,1
Tõhus kaugküte			65 221	157,3		0,65	102,3
...							0,0
Summa	-	-	90 111	217,3	0	0	222,3
Lokaalselt toodetud ja eksporditud energia			Lokaalselt toodetud kWh/a	Eksporditud kWh/(a m ²)		Omatarbe osakaal %	
Soojusenergia päikesest			0	0,0			
Elekt päikesest			0	0,0	0	0,0	55%
...							
Summaarne energiakasutus			Elekt kWh/a	Soojus kWh/a	Elekt kWh/(a m ²)	Soojus kWh/(a m ²)	
Küttesüsteem			-	-	-	-	
Ruumide küte			0	62 306	0,0	150,3	
Ventilatsiooniõhu soojendamine			0	2 915	0,0	7,0	
Tarvevee soojendamine			12 438	0	30,0	0,0	
Abiseadmete elekt			207	-	0,5	-	
Ventilatsioonisüsteem ¹			0	-	0,0	-	
Jahutussüsteem							
Abiseadmete elekt				-		-	
Valgustus			2 906	-	7,0	-	
Seadmed			9 339	-	22,5	-	
Summa (tehnosüsteemide summaarne energiakasutus)			24 890	65 221	60,0	157,3	
¹ ventilatsiooniõhu soojendamine loetakse küttesüsteemi osaks							
Netoenergiavajadus			kWh/a	kWh/(a m ²)			
Ruumide küte ²			54 394	131,2			
Ventilatsiooniõhu soojendamine ³			2 545	6,1			
Tarvevee soojendamine			12 438	30,0			
Ruumide jahutus			0	0,0			
Ventilatsiooniõhu jahutus			0	0,0			
² sisaldab infiltratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojenemise ruumis							
³ arvutatud koos soojustagastusega							
Arvutusprogrammi nimi ja versioon		Kraadpäevade alusel arvutus					
0		0					
Kuupäev		Nimi	/allkirjastatud digitaalselt/				

