



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut
Liginullenergiahoonete uurimisrühm

**„A“ ENERGIATÕHUSUSARVU KLASSI
LAHENDUSED ÜLE 100 AASTA VANUSTELE
PUITKORTERELAMUTELE (F. R. KREUTZWALDI 2,
VÕRU HOONE NÄITEL)**

**„A“ ENERGY PERFORMANCE CERTIFICATE SOLUTIONS
FOR OVER 100 YEARS OLD WOODEN APARTMENT
BUILDINGS (BASED ON F.R. KREUTZWALDI 2, VÕRU)**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Anni Evard

Üliõpilaskood: 177629

Juhendaja: Targo Kalamees

Endrik Arumägi

Tallinn 2022

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." detsember 2022

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." detsember 2022

Juhendaja: Targo Kalamees / allkiri /

Juhendaja: Endrik Arumägi / allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....2022

Kaitsmiskomisjoni esimees: Jarek Kurnitski

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Anni Evard

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „ „A” energiatõhususarvu klassi lahendused üle 100 aasta vanustele puitkorterelamutele (F. R. Kreutzwaldi 2, Võru näitel) “, mille juhendajad on Targo Kalamees ja Endrik Arumägi

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

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

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

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

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

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Anni Evard, 177629
Õppekava: EAEI02/17 Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine
Peeriala: Ehitiste projekteerimine
Juhendajad: Targo Kalamees, Endrik Arumägi

Lõputöö teema:

„A“ energiatõhususarvu klassi lahendused üle 100 aasta vanustele puitkorterelamutele (F. R. Kreutzwaldi 2, Võru näitel)

„A“ energy performance certificate solutions for over 100 years old wooden apartment buildings (based on F. R. Kreutzwaldi 2, Võru)

Lõputöö põhieesmärgid:

- Hinnata „KredEx'i“ korterelamute energiatõhususe hindamise tööriista "Rekonstrueeritava korterelamu ETA arvutustabel" arvutustäpsust võrreldes detailse sisekliima ja energiatõhususe dünaamilise modelleerimise tulemustega.
- Töötada välja vana puitkorterelamu "A" energiatõhususarvu klassi saavutamise kriteeriumid ja lahendused F.R. Kreutzwaldi 2 hoone näitel.
- Projekteerida piirdetarindite ja liitekohtade lahendused "A" energiatõhususarvu klassi saavutamiseks.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaade ja meetoodika	09.10.22
2.	75% ülevaatus	20.11.22
3.	Kaitsmistaotluse esitamine	12.12.22

Töö keel: eesti **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "19" detsember 2022a

Üliõpilane: Anni Evard ".....".....2022a
/allkiri/

Juhendajad: Targo Kalamees,
Endrik Arumägi ".....".....2022a
/allkiri/

Kaitsmiskomisjoni esimees: Jarek Kurnitski ".....".....2022a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	7
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	8
TERMINID.....	9
1 SISSEJUHATUS	10
2 KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	15
2.1 Taustainfoks.....	15
2.2 Teaduskirjanduse ülevaade.....	17
3 MEETODID	21
3.1 Piloohoone ülevaade.....	21
3.1.1 Hoone tehnilised näitajad	25
3.2 Energiatõhususe arvutus	25
3.2.1 IDA-ICE sisekliima ja energiatõhususe arvutuse ja Rekonstrueeritava korterelamu ETA arvutustabeli võrdlus.....	25
3.2.2 Kreutzwaldi 2 algolukorra energiatarbimine.....	27
KEK arvutuskäik	28
3.2.3 Energiaarvutuse lähteandmed.....	29
Mittehomogeense piirdetarindi soojusläbivuse arvutuse näide.....	30
Põrand pinnasel soojusläbivuse arvutuse näide.....	32
3.3 Renoveerimismeetmed	32
Päikesepaneelid	34
Soojuspumbad	35
Energiaarvutuse lähteandmed rekonstrueeritavas olukorras	35
3.4 Piirdetarindid ja liitekohad	37
4 TULEMUSED JA NENDE HINDAMINE.....	38
4.1 Uuritava objekti seisukord.....	38
Algsed sõlmed ja tarindid	38
Algolukorra energiatarbimine.....	40
4.2 „Rekonstrueeritava korterelamu ETA arvutustabeli“ ja IDA ICE tulemuste võrdlus41	
4.3 Renoveerimismeetmete võrdluse tulemused	41
4.3.1 Päikesepaneelide võimsus	41
4.3.2 Energiatõhususarvu saavutamise võimalused	42

Energiatõhususe saavutamise tulemuste hindamine ja renoveerimismeetmete valik	48
4.4 Projekteeritud lahendused.....	50
4.4.1 Põrand.....	51
4.4.2 Räästa ja harja sõlmed	51
4.4.3 Soklisõlm.....	52
4.4.4 Aknasõlm.....	53
4.4.5 Välisseina ja katuse liitekoht	53
4.5 Järeldused	53
5 KOKKUVÕTE.....	56
6 SUMMARY IN ENGLISH	57
7 KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	58
LISA 1 – Vana hooneosa räästa sõlm	
LISA 2 – Uue hooneosa räästa sõlm	
LISA 3 – Vana hooneosa harja sõlm	
LISA 4 – Uue hooneosa harja sõlm	
LISA 5 – Sokli sõlm	
LISA 6 – Akna sõlm	
LISA 7 – Välisseina ja katuse liitekoht	
LISA 8 – Väljavõte F. R. Kreutzwaldi 2 muinsuskaitse eritingimustest	

EESSÕNA

Magistritöö on algatatud Targa Linna Tippkeskuse, Ehituse ja arhitektuuri instituudi ja Võru linna koostöös valmiva koostööprojekti „RESTO (renoveerimisstrateegia tööriist)“, uurimisprojektide „Seespoolse lisasoojustuse, ehitusniiskuse ja efektiivsete piirdetarindite niiskusturvalisus“ ja „Hoonete rekonstrueerimisalase suutlikkuse suurendamine Eesti kliimaeesmärkide saavutamiseks“ raames. RESTO projekti eesmärgiks on välja töötada digiplatvorm, mis võimaldaks linnavalitsustel ja kinnisvara suuromanikel lihtsamalt määrata, luua, simuleerida ja analüüsida piirkondlikul tasemel linnaosade renoveerimise stsenaariume ning selle põhjal optimeerida vajalikke investeeringuid ning võtta vastu realistlikke otsuseid eesmärkide täitmiseks. Projekti käigus uuritakse ka ajaloolise hoone energiatõhususe parandamise lahendusi ilma ajaloolist linnamiljööd kahjustamata.

Käesoleva lõputöö eesmärk on A energiatõhususklassi saavutamise tehniliste lahenduste välja töötamine muinsuskaitse all olevale hoonele. Pilootobjektiks on valitud Võrus Kreutzwaldi 2 tänaval muinsuskaitsealal asuv 12 korteriga 2-korruseline puitkorterelamu.

Võtmesõnad: renoveerimine, puitkorterelamu, miljööväärtus, muinsuskaitse, energiatõhusus, liginullenergiahoone, magistritöö

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

- ETA Energiatõhususarv, $\text{kW}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$. Arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone tüüpilisel kasutusel, mis kajastab hoone kompleksset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks ning see arvutatakse hoone kõetava pinna ruutmeetri kohta hoone tüüpilisel kasutamisel.
- KEK Kaalutud energiaerikasutus, $\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$. Energiakandjate kaalumisteguritega korrutatud aastane energiakasutus kilovatt-tundides hoone kõetava pinna ruutmeetri kohta.
- PV *photovoltaic* – päikesest toodetud elektrienergia

TERMINID

Remont - tegevus, mille tagajärjel ei muudeta hoone ilmet (eksterjööri ja interjööri väljanägemine, sealhulgas värvilahenduse ja viimistluse muutmine, detailide või konstruktsiooni elementide ümberpaigutamine, eemaldamine või kinni katmine), konstruktsioone, mahtusid ega detaile ning mille puhul kasutatakse algupäraseid materjale). (Muinsuskaitseadus [1]); Ei toimu restaureerimist ega rekonstrueerimist;

Restaureerimine - hoone autentne seisundi fikseerimine, vajadusel vähem väärtuslikke ja ilmet rikkuvate elementide ja kihistuste eemaldamine ning puuduvate ja kahjustunud osade taastamine (teaduslikult põhjendatud kujul ja meetodil, tuginedes originaaldokumentidele ning uuringutele). (Muinsuskaitseadus [1]); Ei toimu remonti ega rekonstrueerimist;

Rekonstrueerimine - tegevus, mille tagajärjel hoone omadused muutuvad oluliselt: muudetakse hoone piirdekonstruktsioone; muudetakse ja asendatakse hoone kande- ja jäigastavaid konstruktsioone; paigaldatakse, muudetakse või lammutatakse tehnosüsteemi, mis muudab ehitise omadusi, sealhulgas välisilmet; muudetakse oluliselt ehitise tööparameetreid või kasutatavat tehnoloogiat; viiakse ehitise koostöös kasutusotstarbele vastavate nõuetega; (Ehitusseadustik [2]); Ei toimu remonti ega restaureerimist ega ei vahetata hoone üksikuid osasid samaväärsete vastu.

Renoveerimine - remondi, renoveerimise ja/või rekonstrueerimise kombinatsioon, sh. vahetatakse hoone üksikuid osasid samaväärsete vastu (rekonstrueerimist välistav tegevus).

1 SISSEJUHATUS

Globaalse temperatuuri tõusust on tekkinud vajadus vähendada kasvuhoonegaaside heitkogust. Selleks on Euroopa Liit välja töötanud energiatõhususe direktiivid, mille eesmärgiks on saavutada 2050. aastaks EL riikides kliimaneutraalne hoonefond [3]. See eesmärk põhjustab olemasoleva elamufondi energiakulukuse vähendamise vajaduse. Eestis kulub ligi 50% energia lõpptarbimisest kodumajapidamistes, millest kaalukaim osa kulub ruumide küttele ja ventileerimisele [4].



Lenderi maja



Tallinna maja



F.R.Kreutzwaldi 25a, Võru (pilootala hoone)



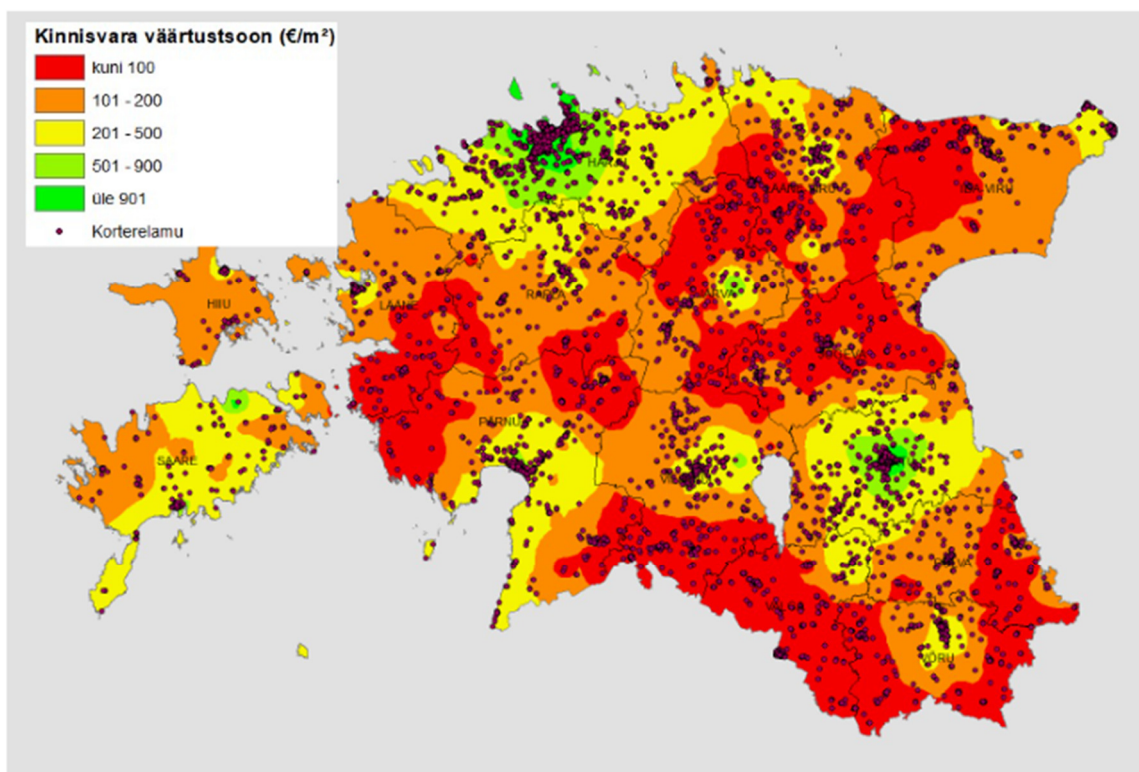
F. R. Kreutzwaldi 23, Võru (pilootala hoone)

Joonis 1.1 Erinevat tüüpi puitkorterelamuid

Viimasel kümnendil on hoogustunud masselamuehituse aegsete korterelamute renoveerimine. Enne teist maailmasõda ehitatud, sageli ka muinsuskaitsealused hooned on jäänud renoveerimise ja renoveerimislahenduste väljatöötamise fookusest välja. Ehitusseadustiku kohaselt energiatõhususe nõudeid ei kohaldata üld- või detailplaneeringu alusel miljööväärtuslikule alale jäävale või väärtusliku üksikobjektina määratletud hoonele või hoonele, mis on tunnistatud mälestiseks, asub muinsuskaitsealal või kuulub UNESCO maailmapärandi nimekirja muinsuskaitseaduse

alusel ning mille olemust või välisilmet muudaks energiatõhususe miinimumnõuete täitmine oluliselt [2]. Eeltoodud punktile toetudes võib kohalik omavalitsus, arendaja, ehitaja, projekterija ja/või muinsuskaitse spetsialist loobuda mõttest tõsta nende hoonete energiatõhusust. Samas nende hoonete elanikud soovivad oma hoone energiakadu ja/või kasvuhoonegaaside heitmeid vähendada.

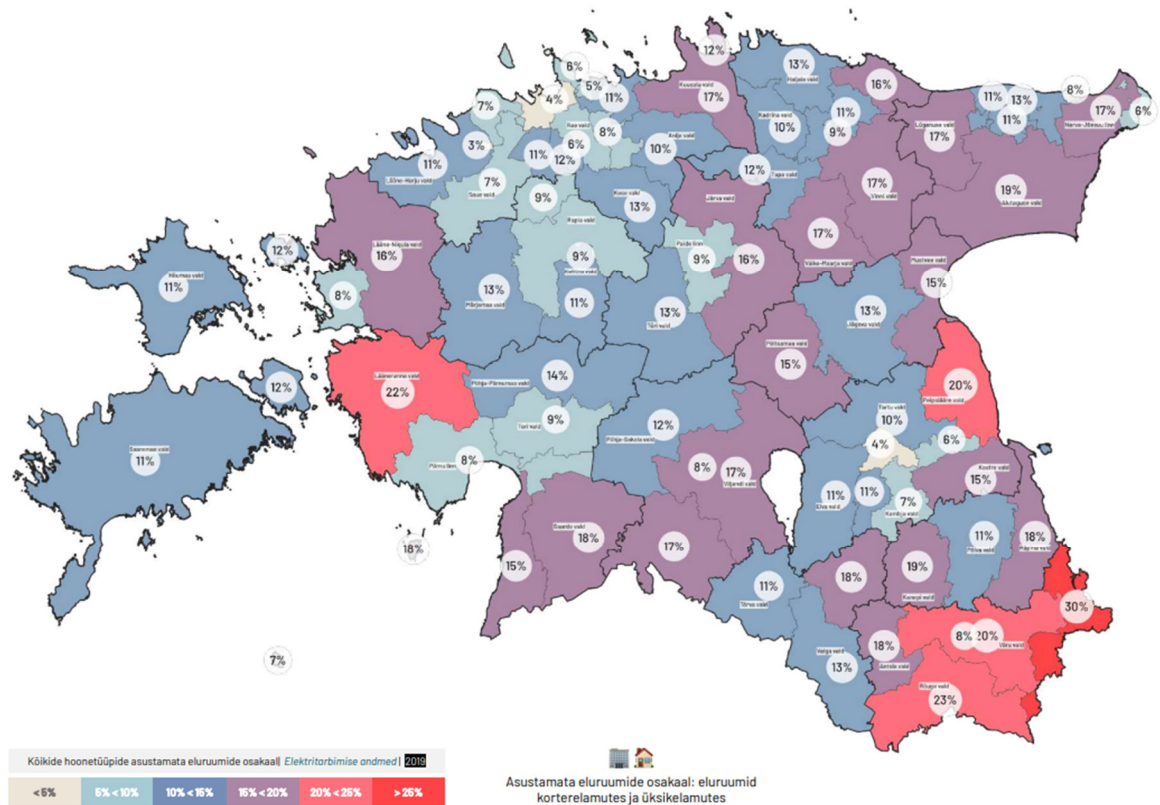
Muinsuskaitse all olevatest hoonetest (vt Joonis 1.1) või mälestistest rääkides ja mõeldes on võrdluseks väga sageli Tallinna või mõne teise suure linna kesklinna ja vanalinna hooned või mõisad ning kasutajaks reeglina ärikasutus [5]. Räägitakse äriideest ja tulu saamisest. Selline mõtteviis aga ei päde tavaliste inimeste käes olevate kodude koha. Seal ei ole tegemist äriideega ega kinnisvara hinnaga, mis lubab rakendada mõtteviisi „omanik on mälestisele mööduv nähtus – kui hakkama ei saa, siis müü oma kodu maha ja koli mujale“; „ärme renoveeri, ootame, äkki tuleb keegi järgmine ärimees ja leiab uue äriidee“. Kodud ei ole ärikinnisvarad ja kinnisvara maksumus (vt Joonis 1.2) suurlinnadest eemal ei võimalda ka muinsuskaitse alal oleva kodu müümist, et osta uus kodu piirkonnas, kus pole piiranguid oma kodu energiakasutuse ja kasvuhoonegaaside heitmete oluliseks vähendamiseks.



Joonis 9. Renoveeritava korterelamufondi paiknemine kinnisvara väärtushinnangute tsoonides. Andmete allikas: SA KredEx, Maa-amet, autori arvutused

Joonis 1.2 Renoveeritava korterelamufondi paiknemine kinnisvara väärtushinnangute tsoonides. Autor L. Lihtmaa [54]

Võru linna näitel põhjustab ajalooliste puitkorterelamute renoveerimata jäämine inimeste välja kolimist kesklinna muinsuskaitse all olevatesse ja parema sisekliimaga hoonetesse, mille tõttu võivad muinsuskaitse all olevad linnaosad jääda elanikest tühjemaks, hooldamata ning ajapikku lihtsalt hävida (vt Joonis 1.3 ja Joonis 1.4).



Joonis 1.3 Asustamata eluruumide osakaal: eluruumid korterelamutes ja üksikelamutes[55]



Joonis 1.4 Tühjened elamupiirkonnad Võrus energiakasutuse alusel: muinsuskaitsealune kesklinn vasakul ja suvilapiirkond paremal (ei kasutata aasta läbi)

Soov muinsuskaitsealustes piirkondades energiatõhusust tõsta paistab välja ka näiteks sellest, et fassaadidele on paigaldatud õhk-soojuspumbad ning aknad vahetatud uute akende vastu. Selle tegevusega aga võivad hävida hoone originaalsed detailid ning väheneb üldine miljööväärtus.

Magistritöö suuremaks eesmärgiks on töötada välja tehnilised lahendused miljöö- või/ja muinsuskaitse alal oleva hoone energiatõhususe parandamiseks. Eelduseks, et hoone vana fassaadikate, katusekate, avatäited on sellises olukorras, et renoveerimistöö käigus plaanitakse nende vahetamine ette võtta nagunii ja vahetamisel püritakse varasemaga samasuguse väljanägemise suunas. Käesolev töö ei käsitle hoonet kui museaali ega mälestist, mille väärtus seisneb ka vana piirdetarindi lahenduse säilitamisel autentsel kujul. Senise praktika kohaselt on ka hoone restaureerimisel muudetud piirdetarindeid (tuuletõkkeplaadi või -paberi paigaldus välisseinale, katuse sarikate vahe soojustamine vms.), mille tagajärjeks ei ole piirdetarind enam täiesti identne algse olukorraga. Lähtutakse tõsiasiast, et piirdetarind muutub igal kujul nii sisus kui ka vormis kuna tavakasutuses olev hoone ei ole museaal ja olemasolevate viimistlusmaterjalide kasutusiga on jõudnud/jõudmas lõpule. Samas püritakse selles suunas, et hoone visuaalne väljanägemine pärast renoveerimist oleks võimalikult sarnane algse olukorraga.

Käesolev töö panustab Eesti elamufondi tervikrenoveerimisse ja kliimaneutraalsuse saavutamisse ning ka ajaloolistes linnaosades elu säilimisse.

Magistritöös võrreldakse erinevaid variante Kreuzwaldi 2 (Võru) muinsuskaitse all oleva puitkorterelamu energiatõhususe parandamiseks. Esiteks teostatakse elamu mõõtmised ning võrreldakse neid arhiivist saadud joonistega ja teaduskirjanduses leiduvate tarindilahendustega, et saada võimalikult täpsed andmed energiaarvutusteks; teostatakse algolukorra energiatõhususe arvutus. Seejärel võrreldakse KredEx'i välja töötatud korterelamu ETA arvutustabeli netoküttevajaduse arvutustulemusi IDA ICE modelleerimisprogrammi tulemustega, et vajadusel KredEx'i tabelit IDA ICE tulemuste järgi kalibreerida. Teostatakse energiatõhususe arvutused viie erineva eesmärgi kohta, mis arvutatakse kalibreeritud KredEx'i arvutustabeliga ning näidatakse ära soojustuse paksuse vajadus energiatõhususklasside põhiselt suundudes C klassist A klassi poole ja välistades ebasobivad variandid. Samuti arvutatakse energiasääst võrreldes algse olukorraga. Miljöö säilimise nõuet arvestades valitakse neist optimaalseim lahendus A energiaklassile. Valitud parimale lahendusele projekteeritakse niiskus-tehniliselt ja ehituslikult toimivad tarindid ja liitekohad.

Lõputöö eesmärgid:

- Hinnata „KredEx'i“ korterelamute energiatõhususe hindamise tööriista "Rekonstrueeritava korterelamu ETA arvutustabel" arvutustäpsust võrreldes detailse sisekliima ja energiatõhususe dünaamilise modelleerimise tulemustega.
- Töötada välja vana puitkorterelamu "A" energiatõhususarvu klassi saavutamise kriteeriumid ja lahendused F.R. Kreuzwaldi 2 hoone näitel.
- Projekteerida piirdetarindite ja liitekohtade lahendused "A" energiatõhususarvu klassi saavutamiseks.

2 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

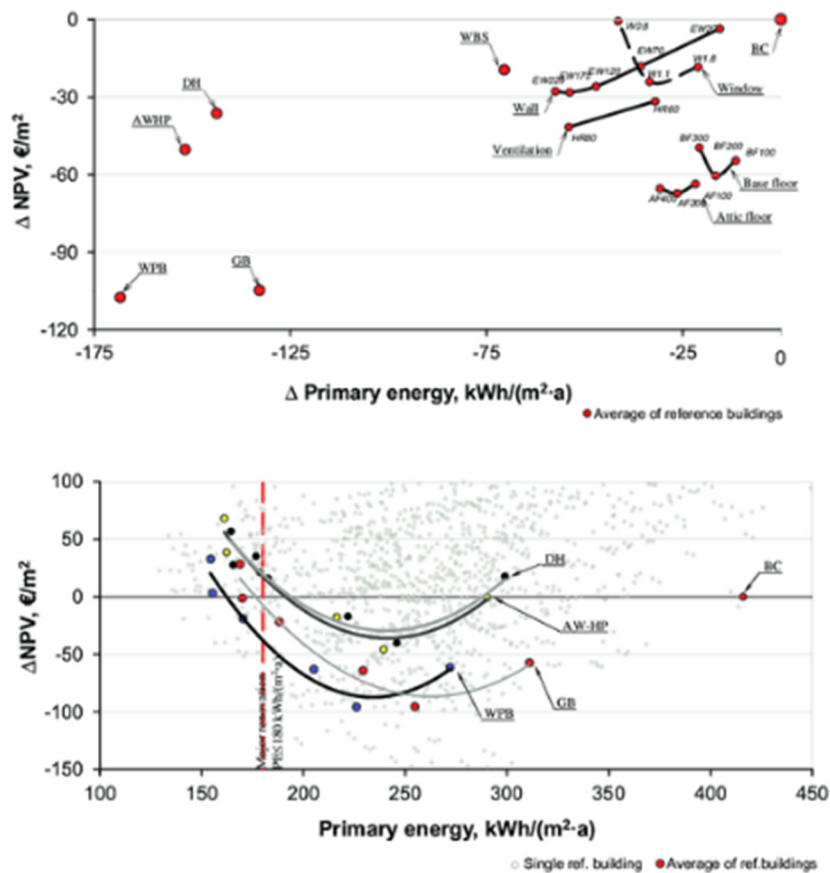
2.1 Taustainfoks

Ehitusseadustiku kohaselt ei rakendu mälestistele ega muinsuskaitse all olevatele hoonetele energiatõhususe nõuded [2], mistõttu saab öelda, et need hooned ei pea olema energiatõhusad. Küll aga sooviksid hoonete omanikud vähem energiat kulutada hoone kütmisele ning elada soojuslikult mugavas kodus. Muinsuskaitse eritingimusi lugedes jääb aga silma üldine Muinsuskaitseametnike seisukoht hoonete renoveerimise kohta, mida siinkohal kirjeldab hästi otsene väljavõte Supilinna teemaplaneeringu eritingimustest: "Vana palkmaja elamiskõlblikkus ja kõrge elukvaliteet on tagatud ka ilma konstruktsioone, soojustust ja viimistlust välja vahetamata" [6].

Võrus F. R. Kreutzwaldi 52 hoone puhul on välisseinu lubatud soojustada 7 cm [7]. Viljandis asuva Oru tn 13 elamu puhul on välisseinte soojustamine keelatud [8]. Kuid tihti on välisseinte soojuskaod kogusoojuskadudest suurima osakaaluga. Eritingimustes esineb tihti tüüpseid lauseid, näiteks: Soojapidavuse tõstmiseks on lubatud pööningupealne/ horisontaalsed pinnad/ põrandad soojustada; Vajadusel on lubatud välisseinad seestpoolt soojustada; Fassaadilaudis värvida linaõlivärviga; Akende viimistlemisel kasutada puitpindadele sobivat linaõlivärvi, klaasimisel kasutada linaõlikitti. Muinsuskaitseameti eritingimuste koostaja spetsialisti ametijuhise alusel ei pea neil olema ehituse alast inseneriharidust. Seetõttu pole neil vaja ka osutada oma pädevust hoone energiatõhususe või soojus- ja niiskus-tehnilise toimimise seisukohalt määrata, kui palju ja mida võib hoonel soojustada. Tagajärjeks on olukord, kus muinsuskaitse eritingimused võivad küll ühekülgsest tagada hoone muinsusväärtuse säilimise, kuid muude ehitistele esitatavate nõuete täitmine võib jääda teostamata sh. ei võimalda hoonete energiatõhusust eriliselt oluliselt parandada.

Eesti väikelinnades renoveerivad elanikud oma kodusid väiksemate sissetulekutega kui pealinnas ning tihti ka pensionirahadest. Samuti on väikelinnades kinnisvara väärtus väiksem ning sellest tulenevalt saavad korteriühistud hoonete renoveerimiseks ka vähem laenu, samas on ehituse hinnad samasugused nii väike- kui ka suurlinnas.

Muinsuskaitseameti välisseina 5-7 cm lisasoojustamise piiranguga tekib olukord, kus elanikud on oma raha juba kulutanud fassaadi uuendamiseks ja sinna vähese soojustuse paigaldamiseks, kuid sellest erist energiasäästu ei teki, seega jäävad pärast sellist renoveerimist elaniku kanda nii ehituse maksusumma kulud kui ka algses suuruses küttearved.



Joonis 2.1 Soojustamise kulutõhusus

Ülemiselt jooniselt on näha, et välisseina 5 cm lisasoojustamise mõju on väike ja kulutõhusam on paksem soojustus. Horisontaalpindade (põrand ja katus) lisasoojustamise mõju kogu hoone energiatõhususele pole suur kuna nende piirdetarindite pindala pole suur. Alumiselt joonisel on näha, et energiatõhususarvu vähendamine ~100 kWh/(m²a) ei ole kulutõhus investeering. Investeering muutub kulutõhusaks oluliselt suurema energiatõhususe parandamise korral. [9]

Korterelamute renoveerimise jaoks võetakse tavaliselt ka laenu. Kui mingi töö on juba tehtud ja laenukoormus peal, siis enamasti ei ole elanikel enam rahaliselt võimalik rohkem renoveerimistöodesse panustada, seega kui teostatud on tehniliselt mittetoimiv lahendus, võivad elanikud tagajärgede tõttu elada halbades tingimustes, näiteks hallitavates ruumides, aastaid.

Viljandi linna peaarhitekt on vana maja soojustamise õppepäeval öelnud: „Fassaadi soojustamisel on mitmeid sõlmi ja detaile, mis tuleb enne tööde teostamist põhjalikult läbi mõelda ja joonistada, et hoone ajalooline väärtus säiliks (räästad, sokkel, aknasõlmed, nurgalauad.)”[10]. Kuid samamoodi on ka hoone energiatõhususe ja

sisekliimaga, see tuleb põhjalikult läbi mõelda, et saavutada hea sisekliima ning vähendada energiatarbimist. Käesolevas lõputöös vaadeldaksegi neid kahte aspekti lisades neile ka omaniku huvid.

2.2 Teaduskirjanduse ülevaade

Eesti korterelamutest moodustavad puitkandekonstruktsiooniga korterelamud 8% [11] ning 18% elamufondist on ehitatud enne 1946. aastat [4]. Tallinna Tehnikaülikooli ehitusteaduskonnas on läbi viidud uuring, mille eesmärgiks oli üle-eestiline eri vanuses puitkorterelamute kaardistamine ning nende ehitustehnilise seisukorra väljaselgitamine. Uuringus tuuakse välja, et üsna mitmed puitkorterelamud on halvas seisukorras, sest Nõukogude ajast on need jäänud hooletusse. Sealt selgub, et kandekonstruktsioonid on enamasti rahuldavas seisukorras. Küll aga on põhiliseks probleemide tekitajaks sadevesi, mis puuduvate vihmaveesüsteemide tõttu satub fassaadile ning sealt edasi juba kandekonstruktsiooni ning ka vundamenti lagundama. Seega on üks kriitilistest kohtadest välisseina ja vundamendi liitekoht ning teine akende ja välisseina liitekoht. Külmasildade puhul on kriitiline soklisõlm, kuid selle saab lahendada sokli soojustamisega. Samuti on piirdetarindid suure õhulekkega [12].

Arumägi jt. teostasid 29 ajaloolises puitkorterelamus sisetemperatuuri, suhtelise niiskuse ja CO₂ mõõtmised. Tulemused näitasid, et talviti on sisetemperatuur 83% puitkorterelamutest puudulik, mis tähendab, et korter on sobimatu eluruumiks. Suviti on see puudulik 25% korteritest. Sisekliima mittevastavus tänapäeva standarditele rõhutab veelgi piirdetarindite ja tehnosüsteemide kaasajastamise vajadust [13].

Ka mujal maailmas on probleeme just nimelt ajalooliste puitelamute kaasajastamisega. Näiteks Koreas on ajaloolised hooned samuti energiatarbimise nõuetest välja jäetud ning seega on neid ka vähe uuritud. Hiljuti on seal analüüsitud renoveerimislahendusi puitsõrestikkatusega 3-korruselise ajaloolise kivihoone jaoks, kus energiatarbimislahenduste kõrval võeti arvesse ka tööde maksumust ning miljööväärtust. Autorite arvates oleks analüüsitud hoonele neljast võrreldavast variandist optimaalne lahendus järgmine: sisemine välisseinte ja katuse soojustamine (väljast soojustamine ei olnud lubatud), valgustuse välja vahetamine LED süsteemi vastu, efektiivse HVAC süsteemi paigaldus ning õhupidavuse suurendamine paigaldades tihendid. Energiasäästu saavutataks selle lahenduse puhul vaid 15,9% [14]. Kliimaeesmärkide saavutamiseks oleks aga energiakulu vaja veelgi rohkem vähendada. Norras leitakse samuti, et riiklikul tasandil oleks vaja ajalooliste hoonete energiatarbimist rohkem reguleerida ning töötada neile välja

renoveerimislahendused, et kiirendada elamufondi uuendamist ning sellega energiat säästa [15]. Pool Norra energia lõpptarbimisest kulub just väikepuitelamutes, seega taoliste hoonete kaasajastamine on eriti tähtis. 2018-2021. aastal korraldati seal puithoonete renoveerimiseks konkurss Opptre, mille eesmärgiks oli leida tüüpsed puitkonstruktsiooniga elamud ning töötada neile välja renoveerimislahendusi saavutamaks liginullenergia taset. Võeti arvesse nii arhitektuuri, piirdetarindite optimeerimist, küttesüsteemi, süsinikujalajälge kui ka innovatsiooni. Kuigi tegu ei olnud muinsuskaitseliste hoonetega, on konkursi töödest näha suurt energiasäästu, soojuskadude vähendamiseks on enamasti kasutatud kombinatsiooni soojustamisest, õhupidavuse tagamisest ning akende vahetusest. Žürii hinnangul on tegemist heade lahendustega, mis hindavad hoone karakterit ning tulemused on jäänud ajastutruuks [16] [17].

2017. aastal ilmunud standard EVS-EN 16883 kirjeldab, kuidas võiks interdistsiplinaarsete meeskondadena ajalooliste hoonete energiatõhususe parandamise võimalusi analüüsida. Standard rõhutab koostööle ja diskussioonile ning on välja toonud 5 tasemelise skaala, kus hinnatakse võimalike lahenduste mõju nii hoone tehnilisele toimivusele, kaitseväärtustele kui ka omanikuhuvile. Kõigepealt tuleks välja pakkuda kõikvõimalikke lahendusvariante ning siis eemaldada nimekirjast mittesobivad. Alles jäänud lahendused tuleks hinnata välja toodud skaala alusel ning kombineerida lahenduspakettideks, mida saaks edasi terviklikult hinnata [18]. Siinkohal oleks väga tõhus kasutada kalibreeritud Kredex'i ETA tabelit, millega saaks kiirelt teha esmased energiaarvutused erinevate lahenduspakettide võrdluseks.

Kahjuks ei ole EN 16883 väga palju praktikasse jõudnud. Leijonhufvud jt. uurisid standardi kasutust ning analüüsisid, kuidas seda täiendada võiks, et kasutatavust suurendada [19]. Standardi tugevusteks leiti, et selline süsteemne lähenemine võib tuua välja lahendusi, mille peale projekti liikmed koheselt ei tule ja selle järgimisel kaasatakse juba varajases staadiumis ka hoone ajaloolised aspektid isegi kui hoone ei ole muinsuskaitse all. Küll aga on seal puudu näidetest ja planeerimise korduvlikkust ei ole piisavalt rõhutatud. Autorid soovivad standardile juurde pakkuda lihtsalt leitavat täiendavat informatsiooni, sealhulgas näiteid energiatõhususlahendustest ja -meetoditest. Näiteks soovitatakse standardiga integreerida ajalooliste hoonete energiatõhususlahenduste parima praktika andmebaas Hiber Atlas [19] [20]. Hiber Atlas veebilehel on praegu näiteid vaid Kesk-Euroopast.

Murillo Camacho jt. toovad välja, et praktikas on omanike ja eluruumide kasutajate huvid muinsuskaitse all olevate hoonete renoveerimisel üldiselt tähelepanuta jäetud.

Kuigi elanikud ise on need, kes neid hooneid korras hoiavad. Omanike kaasamisega renoveerimisprotsessi ja nende huvide kuulamisega välditakse hoone tühjaks jäämist ja lagunemist. Tuuakse ka välja, et omanikud eelistaksid passiivseid pigem odavamaid lahendusi, mis parandaksid sisekliimat [21].

Ühendkuningriigis viidi läbi uuring, kuidas muinsuskaitse spetsialistid lähenevad energiatõhusatele lahendustele ajalooliste hoonete puhul keskendudes originaalsete aknaklaaside vahetusele õhukese topeltklaasi vastu. Leiti, et lähenemine on regiooniti erinev ning ametnikel on individuaalselt erinev arvamus, mille tõttu on aknaklaaside renoveerimine selliste klaasidega ebaühtlane. Tulemused sarnanesid ka teiste Euroopa uuringute tulemustega. Tuuakse välja, et muinsuskaitse spetsialistid peaksid mõtlema energiatõhususe parendamisest ajalooliste hoonete puhul kui nende kaitsmisest ja täiustamisest, et tagada nende pikaajaline säilimine, mitte kui kaasajastamise protseduurist [22].

Arumägi analüüsis oma doktoritöös ajalooliste puitkorterelamute renoveerimise lahendusi eesmärgiga parendada energiatõhusust, hoone niiskus-tehnilist toimivust ja sisekliimat. Tööst selgub keskmine puitkorterelamute energiatõhususarv, milleks on 331 kWh/(m²*a). Autori kohaselt on maksimaalne energia kokkuhoid võimalik asendades küttesüsteem efektiivsema vastu, paigaldades soojustagastusega mehaaniline ventilatsioon ning vähendades maksimaalselt soojuskadusid läbi piirdetarindite [23].

Muinsuskaitseamet on välja töötanud restaureerimise käsiraamatu, mis sisaldab nõuandeid kultuurimälestise omanikele traditsiooniliste ehitusvõtete kohta. Puitmaja seinte soojustamise peatüki all on kirjutatud, et seda võib soojustada nii väljast kui ka seest [24]. Puitelamute sisemise lisasoojustamise soojus- ja niiskustehnilised mõõtmised näitavad aga, et seespoolne soojustamine on äärmiselt riskantne, sest suhtelise niiskuse tase oli testelamul hallituse kasvuks sobiv 75-80% ajast. Testiti kuute erinevat sisesoojustuslahendust rõhtpalkseinal ning eri variantide tulemused olid üsna sarnased. Teadustöös rõhutatakse, et sisemise lisasoojustuse puhul peab seda väga põhjalikult arvutama, et vältida seina niiskus-tehnilist mittetoimivust ning hallituse teket [25]. Arumägi jt. on puitseina seespoolse lisasoojustamise niiskus-tehnilise toimivuse kohta teinud ka simulatsiooni, kus sisemiseks soojustuseks on 50 mm mineraalvilla. Tulemused näitavad jällegi, et see on väga riskantne. Soovitatakse kaaluda õhemat kihti soojustust või suurema soojuserijuhtivusega materjale. Samuti on seespoolse lisasoojustamise puhul vajalik vähendada niiskuslisa ventilatsioonisüsteemi ehitamisega hoonesse ning korraliku küttesüsteemi olemasolu [26].

Alev leiab oma doktoritöös renoveerimislahendusi maapiirkondades asuvate puidust eramute energiatõhususe parendamiseks. Tööst järeldeb, et suur potentsiaal energiasäästuks tuleb kütteallikast ning hoone tehnosüsteemidest. Küll aga ei ole see piisav, et riiklikke energiatõhususe eesmärke täita. Selleks oleks vaja vähendada piirdetarindite soojuskadu ja õhulekkeid ning suurim osakaal energiasäästuks tuleks välisseinte soojustamisest [27]. Ka Kuusk leiab oma doktoritöös tellis-ja suurpaneelkorterelamute kohta, et välisseinte soojustamine on kõige potentsiaalikum energiavajaduse vähendamise seisukohalt, kuid seda ainult üksiku meetmena vaadates. Parimaks lahenduseks oleks siiski tervikrenoveerimine, kus vahetatakse aknad, soojustatakse välispiirded ning ehitatakse soojustagastusega ventilatsioonisüsteem [28].

Nair jt. on oma teadusartiklis välja toonud erinevate projektide hooneosade efektiivse renoveerimise energiasäästu osakaalud protsentides. Energiasääst akendest jääb 6 ja 47% vahele, seejuures on projektides kasutatud uute akende soojuslähivuseks neljal juhul kümnest 0,8 W/(m²*K) ümber [29]. Norras on arvatud erinevat tüüpi ajalooliste akende lahenduste soojuslähivused. Lisades ühekihilisele käsitööaknale topeltpakettakna sisse, oleks akna U väärtus ligi 1 W/(m²*K) [30]. Ide jt leiavad oma töös, et kui hoonel on vanad väärtuslikud originaalaknad võiks sobilik lahendus olla klaasi katmine selektiivkattega ja argoonitäide. Kui aga mitte, siis oleks sobiv kolmekihiline pakettaken [31]. Rootsis testiti selektiivklaasidega akende energiatõhusust ning leiti, et testitud hoone puhul vähenesid soojuskadud talvel läbi akende 36% ning suviti vähenes päikesest tulev vabasoojus siseruumides 35%. Kuid nende tasuvusperiood on küllaltki pikk, ligi 30 aastat. [32]

Võru vanalinna muinsuskaitseala põhimäärus sätestab muinsuskaitseala eesmärkideks muuhulgas muinsuskaitsealale ja sellel paiknevatele ehitistele kahjulike ja sobimatute kasutusviiside väljatõrjumise ning ajaloolises linnatuumikus elamisvõimaluste maksimaalse säilitamise [33]. Ka muinsuskaitse seisukorrast on soovitatav tervikrenoveerimine, sest siis on võimalik jätta paika hoone proportsioonid, mis on üks oluline arhitektuurne ja ajalooline väärtus. Seega keskendutakse magistritöös energiatõhususvariantidele tervikrenoveerimise korral ning soojustuse lisamisega väljapoole välisseina seejuures püüdes säilitada linnamiljööle olulisi hoone väärtusi.

3 MEETODID

3.1 Piloohoone ülevaade



Joonis 3.1 Kreutzwaldi 2 vaade idast. Foto Ü. Alev 05.05.2022

Magistritöös uuritav objekt asub Võru linna muinsuskaitsealal Kreutzwaldi 2 aadressil ja on ehitatud 19. sajandi I poolel või keskpaigas. Üldvaated hoonest on näha Joonistelt 3.1 – 3.4 ning arhiivist plaanid Joonistel 3.5-3.7. Hoone seisukord kaardistatakse välisvaatluste põhjal, digitaalsed hoone plaanid koostatakse vastavalt leiduvatele linnaarhiivimaterjalidele ning kohapeal mõõtmestades. Hoone plaanide joonestamiseks kasutatakse AutoCAD tarkvara ning joonestatud korruseplaanide põhjal koostatakse hoonest parema arusaama jaoks 3D mudel Revit tarkvaras. Õigete mõõtudega jooniste olemasolu on tähtis, sest siis saab energiaarvutustes täpse tulemuse. Eesmärgiks on koostatud joonistelt saada õiged piirdetarindite sisepindalad ning liitekohtade joonpikkused. Selle jaoks mõõdetakse üle hoone gabariidid, aknad ja ukсед, korruste kõrgused. Välisvaatlustel selgitatakse välja katusealuste ja pööningute olukord (möödistatakse ning kas on köetav või mitteköetav ruum) ning joonestatakse pööningute lõiked. Samuti mõõdetakse tarindite paksused ning võimalusel uuritakse vaatlustel, millistest ja kui paksudest materjalidest tarindid täpselt koosnevad. Tähelepanu pööratakse ka ajalooliselt säilinud detailidele ning sõlmede profiilidele, mõõdetakse sokli, räasta, katuse eenduvused välisseinast. Plaanidele lisatakse korteritevahelised siseseinad. Ajastukohaste tarindite ja sõlmede kohta leitakse lisainformatsiooni Eesti eluasemefondi puitkorterelamute uuringust [12] ning vanast kirjandusest [34] [35]. Sõlmed ja liitekohad joonestatakse detailjoonistena.

Muinsuskaitse nõuetega ja hoone väärtuslike elementidega tutvutakse Muinsuskaitseameti väljastatud eritingimustes Kreuzwaldi 2 kohta (Lisa 8).



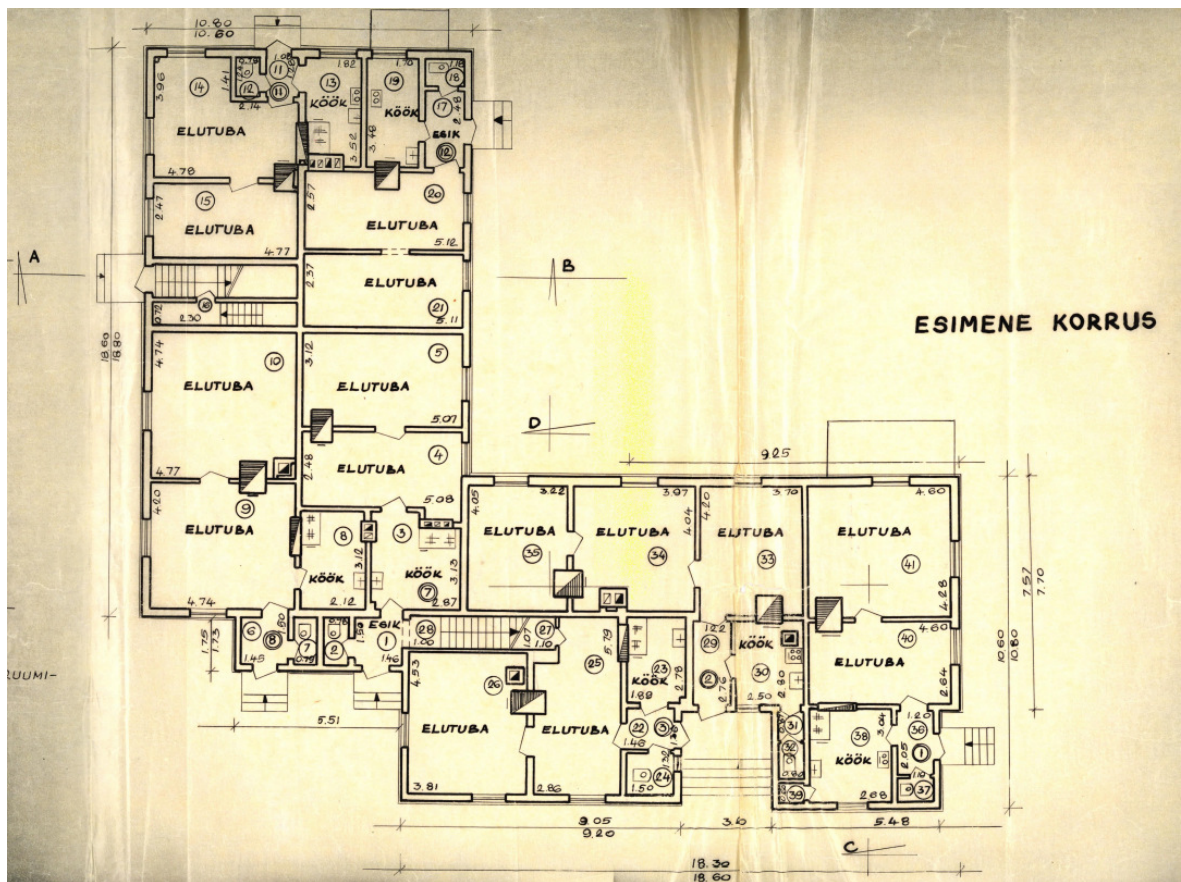
Joonis 3.3 Kreuzwaldi 2 vaade loodest. Foto Ü.Alev 05.05.2022



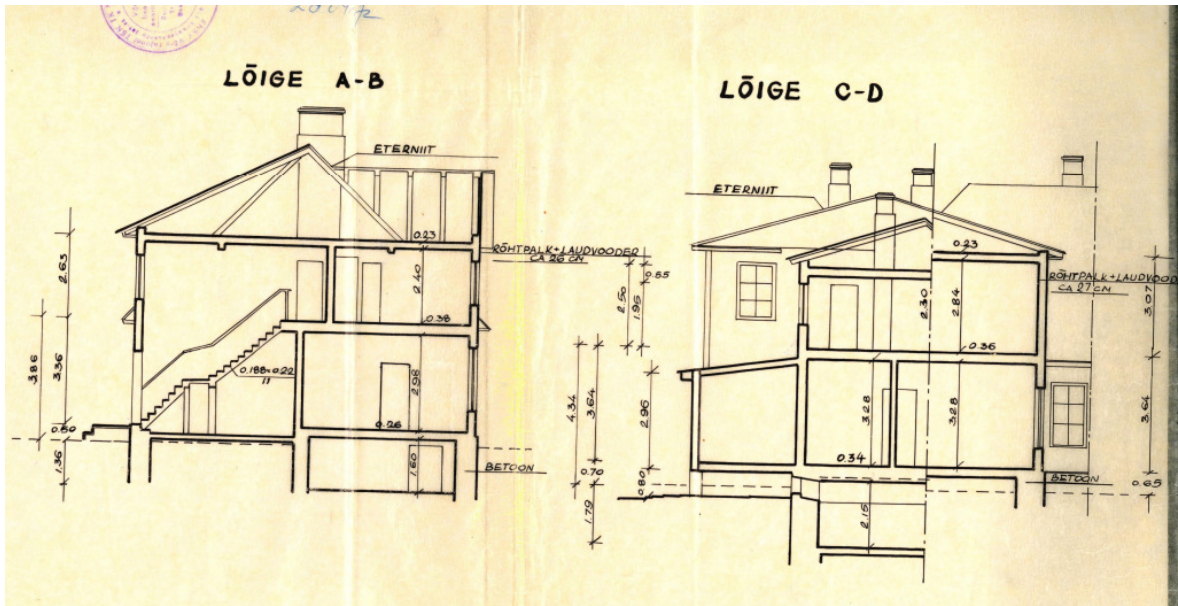
Joonis 3.2 Kreuzwaldi 2 vaade edelast. Foto T.Kalamees 18.03.2022



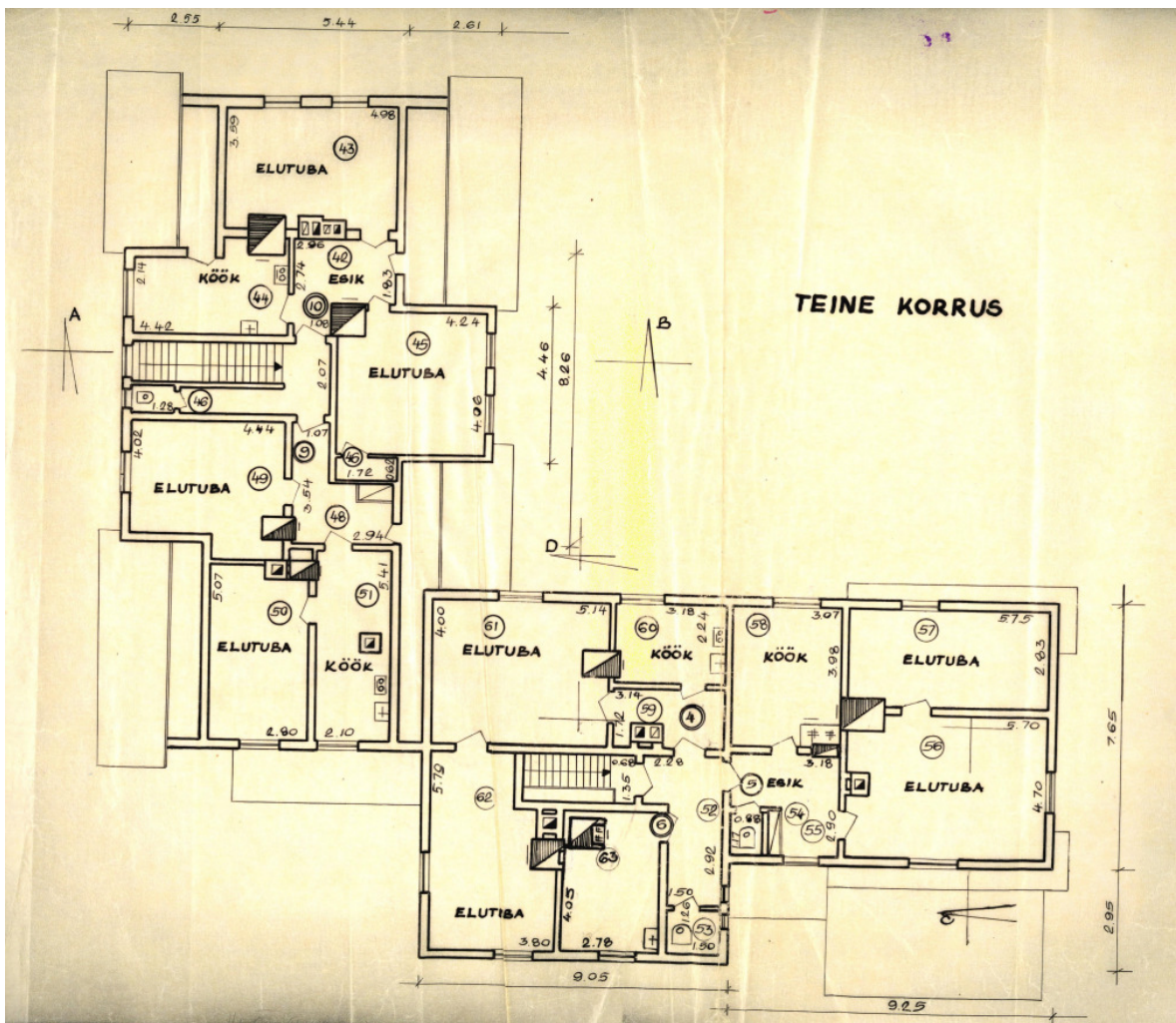
Joonis 3.4 Kreutzwaldi 2 vaade uemale hooneosale põhjast. Foto T. Kalamees



Joonis 3.5 Esimese korruse plaan linnaarhiivist, 1985



Joonis 3.6 Lõiked linnaarhiivist, 1985



Joonis 3.7 Teise korruse plaan linnaarhiivist, 1985

3.1.1 Hoone tehnilised näitajad

F. R. Kreutzwaldi 2 tehnilised andmed on:
ehitisealune pind: EHR:423 m², mudel: 401 m²
maapealse osa alune pind: 401 m²
suletud netopind: 584,6 EHR, mudel: 616,5 m² (puuduvad korterisisesed siseseinad)
maapealse osa korruste arv: 2
absoluutne kõrgus: +86,4 m
kõrgus: EHR: 8 m, mudel: 9,4 m
maht: 2346 m³ (EHR)
kõetav pind: 616,5 m²
vundamendi liik: madalvundament
kande- ja jäigastavate konstruktsioonide materjal: puit
katuste ja katuslagede kandva osa materjal: puit
vahelagede kandva osa materjal: puit
välisseina liik: palk
katusekatte materjal: eterniit
välisseina välisviimistluse materjal: puit, voodrina
soojusallikas: ahi, kamin, pliit, soojuspump
energiaallikas: tahke, õhusoojus ja elekter
ventilatsiooni liik: loomulik ventilatsioon

3.2 Energiatõhususe arvutus

Hoone kaalutud energiaerikasutuse ja energiatõhususarvu klass määratakse vastavalt MTM määrusele nr 36 [36]. Energiatõhususarvutused teostatakse vastavalt hoone energiatõhususe miinimumnõuetele [37] ja hoone energiatõhususe arvutamise meetodikale [38]. Piirdetarindite soojusläbivused arvutatakse vastavalt standarditele EVS 908-1 [39] ja EVS-EN ISO 6946 [40].

3.2.1 IDA-ICE sisekliima ja energiatõhususe arvutuse ja Rekonstrueeritava korterelamu ETA arvutustabeli võrdlus

KredEx pakub rahalist toetust enne 1993. aastat ehitatud korterelamute korrastamiseks ning taotluste aluseks on neil koostatud „Rekonstrueeritava korterelamu ETA arvutustabel“, mis on nende kodulehel vabalt saadaval [41]. IDA ICE (*Indoor Climate and Energy*) on detailne sisekliima ja energiatõhususe dünaamilise simuleerimise tarkvara [42].

Paljud korteriühistud kasutavad KredEx'i pakutud rahalist toetust ning seega kasutatakse magistritöös energiatõhususarvude leidmiseks just sedasama tööriista. Samuti on ETA optimeerimine KredEx'i tööriistaga palju kiirem kui kõiki variante IDA ICE's läbi modelleerida. Et saada võimalikult täpsed tulemused, võrreldakse IDA ICE'st väljastatud variatsioonide (arvutused juhendaja E. Arumägi poolt) hoone netokütteenegiavajadust „Rekonstrueeritava korterelamu ETA arvutustabelist“ saadavate tulemustega. Käesolevas magistritöös kasutatakse IDA ICE'st väljastatud andmeid, ei tegeleta otseselt energiatõhususe simuleerimisega. Väljastatava info näide ja vorm on nähtav tabelis 3.1. KredEx'i toetuse sihtrühm jääb pigem C energiatõhususarvu klassi tasemele, seega saab võrdlusest teada, kas arvutustabel kohaldub ka A klassi jaoks. Vajadusel kalibreeritakse „Rekonstrueeritava korterelamu ETA arvutustabel“ vastavalt IDA ICE simulatsiooni tulemustele.

Tabel 3.1 IDA ICE'st väljastatud andmed võrdluse teostamiseks

Versioonid	Soojuslääbivused						Aastane kütteenegia tarbimine (NETO)
Name	Välissein	Katus	Põrand	Aken	Uks	Õhulekkearv	kWh/aastas
r2n00001	Puit VS_0.12	Puit K_0.10	P U=0.22	Puit A_1.1 g0.45	Uks U=1.0	0,1157	50357,4
r2n00002	Puit VS_0.12	Puit K_0.10	P U=0.22	Puit A_1.1 g0.45	Uks U=1.0	0,0694	41813,6
r2n00003	Puit VS_0.12	Puit K_0.10	P U=0.22	Puit A_1.1 g0.45	Uks U=1.0	0,03472	35424,2
r2n00004	Puit VS_0.12	Puit K_0.10	P U=0.22	Puit A_1.1 g0.45	Uks U=1.0	0,01736	32244,2
r2n00005	Puit VS_0.12	Puit K_0.10	P U=0.22	Puit A_0.9 g0.45	Uks U=1.0	0,1157	48670,4
r2n00006	Puit VS_0.12	Puit K_0.10	P U=0.22	Puit A_0.9 g0.45	Uks U=1.0	0,0694	40157,7
r2n00007	Puit VS_0.12	Puit K_0.10	P U=0.22	Puit A_0.9 g0.45	Uks U=1.0	0,03472	33807,7
r2n00008	Puit VS_0.12	Puit K_0.10	P U=0.22	Puit A_0.9 g0.45	Uks U=1.0	0,01736	30655,6

Võrdluse jaoks sisestatakse ETA tööriista Lähteandmete lehele välisseina, katuse, põranda, akna ja ukse soojuslääbivused ning õhulekkearv, mis on väljastatud IDA ICE'st (joonis 3.1). Samuti sisestatakse piirdetarindite pindalad ja joonsoojuslääbivuste pikkused. Arvestatakse, et IDA tulemustes on arvestatud soojustagastusega ventilatsiooni, seega valitakse ETA tööriistas kõikidele versioonidele ventilatsioonitüübiks sissepuhe-väljatõmme soojustagastusega (korteripõhine agregaat). Tabelisse sisestatakse hoone korruste arv ning köetav pind. Neto kütteenegia tulemus võrdluseks leitakse lehelt Tulemused, netoenergiavajadus – ruumide küte alt. Kontrollitakse, et vastavad konstandid, mida „Rekonstrueeritava korterelamu ETA arvutustabel“ neto kütteenegia arvutuses kasutatakse, näiteks ventilatsiooni õhuvooluhulk, ühtivad ka IDA ICE mudeliga. Tulemuseks väljastatakse netoküttekulusid võrdlev graafik.

3.2.2 Kreutzwaldi 2 algolukorra energiatarbimine

Kreutzwaldi 2 algolukorra energiatarbimise leidmiseks arvutatakse viimase 3 aasta (2019 - 2021) tarbimisandmete põhjal KEK ning hoone algtarindi tüüpide ning omaduste põhjal algne ETA. KEK arvutatakse vastavalt MTM määrusele 36 [36]. Elektri, vee ja kütte tarbimisandmed saadakse Võru linnaosavalitsuselt (vt Tabel 3.2 ja 3.3). Kraadpäevade arv leitakse Kredexi veebilehelt, kraadpäevade piirkonnaks on IV – Valga [43], vt Tabel 3.4. Tasakaalutemperatuuriks valitakse vana tüüpi renoveerimata kortermaja - 17 °C. Tarbevee soojendamiseks kasutatakse elektriboilerit ja sooja tarbevee osakaaluks on 40% kogu vee kulust [44]. Küttepuude kütteväärtuseks arvestatakse 1300 kWh/m³ ja puitbriketi kütteväärtuseks 4,6 kWh/kg [38]. Ühe puitbriketi paki kaaluks võetakse 10 kg. Vee soojendamiseks kasutatud energiakulu lahutatakse koguelektri kulust.

Tabel 3.2 Kreutzwaldi 2 vee ja elektri kulu 2019 - 2021

Energiakulu aastas	2019	2020	2021
Vesi, m ³	433	492	542
Elekter, kWh	25.862	27.035	31.991

Tabel 3.3 Kreutzwaldi 2 küttekulu

Küttekulu elanike sõnul			
Korter	Materjal	Maht, ruumi	Märkus
1	puit	5	
2	puit	8	
3	puit, ÖSP	4	õhksoojuspump lisaks
4	puit	14	soojustamata korteris 2x rohkem, krt 4 remontimata
5	puit	7	
6	puit	3	2-3 kui tühi, hetkel pmst tühi, kui oleks täis siis 10
7	puit, brikett	5	+3 pakki briketti
8	puit	8	
9	puit	8	
10	puit	6	
11	puit	10	
12	puit	3	

Tabel 3.4 Kraadpäevade arv 2019-2021 aastal

Kraadpäevad (IV Valga)	2019	2020	2021
aasta kaupa	3610	3291	4079
normaalaasta	4242		

KEK arvutuskäik

1 m³ tarbevee soojendamiseks kulunud soojusenergia:

$$Q_{soe\ vesi} = \frac{4,2 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 50^{\circ}C}{3600} \cdot 1000 = 58,3 kWh$$

Tarbevee soojendamiseks kasutatud energia aasta kaupa (40% kogu vee kulust):

$$2019: \quad 433m^3 \cdot 0,4 \cdot 58,3 \frac{kWh}{m^3} = 10103 kWh$$

$$2020: \quad 492m^3 \cdot 0,4 \cdot 58,3 \frac{kWh}{m^3} = 11480 kWh$$

$$2021: \quad 542m^3 \cdot 0,4 \cdot 58,3 \frac{kWh}{m^3} = 12647 kWh$$

Kolme aasta keskmine kaalutud tarbevee valmistamise kulu (elektriboiler):

$$2019: \quad 2 \cdot 10103 = 20207 kWh$$

$$2020: \quad 2 \cdot 11480 = 22960 kWh$$

$$2021: \quad 2 \cdot 12647 = 25293 kWh$$

$$Q_{C,tvs} = \frac{(20207 + 22960 + 25293)}{3} = 22820 kWh/a$$

Kolme aasta keskmine kaalutud elektrienergia kulu:

$$2019: \quad 25862 kWh - 10103 kWh = 15759 kWh$$

$$2020: \quad 27035 kWh - 11480 kWh = 15555 kWh$$

$$2021: \quad 31991 kWh - 12647 kWh = 19344 kWh$$

$$Q_{C,el} = \frac{(15759 + 15555 + 19344)}{3} \cdot 2 = 33772 kWh/a$$

Kütmiseks kasutatud energia aastas:

$$30kg \cdot 4,6 \frac{kWh}{kg} + 81m^3 \cdot 1300 \frac{kWh}{m^3} = 105438 kWh/a$$

Normaalaasta kraadpäevadele taandatud kütteenergia kulu:

$$2019: \quad \frac{4242}{3610} \cdot 105438 kWh = 123897 kWh/a$$

$$2020: \quad \frac{4242}{3291} \cdot 105438 kWh = 135906 kWh/a$$

$$2021: \quad \frac{4242}{4079} \cdot 105438 kWh = 109651 kWh/a$$

Normaalaasta kaalutud kütteenergia kulu:

$$Q_{C,küte} = \frac{(123897 + 135906 + 109651)}{3} \cdot 0,65 = 80049 kWh/a$$

Köetav pind: 616,5 m²

Kreutzwaldi 2 kaalutud energia erikasutus:

$$KEK = \frac{80049 + 22820 + 33772}{616,5} = 222 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$$

3.2.3 Energiaarvutuse lähteandmed

„Rekonstrueeritava korterelamu ETA arvutustabelis“ on energiaarvutustes vajalik leida piirdetarindite sisepindalad, avatäidete pindalad ja piirdetarindite joonsoojuslähivuste pikkused, mis saadakse eelnevalt koostatud mudelist ja plaanidelt. Joonsoojuskaod alg- ja renoveeritud olukorra kohta leitakse puitkorterelamute uuringust [12].

Kasutatud materjalide soojuserijuhtivused, $W/(m \cdot K)$:

Puit:	0,13
Saepuru:	0,08
Täite, liiva ja saepuru segu:	0,75
Krohvi:	0,8
Tuuletõke:	0,031
Mineraalvill:	0,032
XPS/EPS pinnase	0,04
Betoon	2
Pinnas	2

Algseks õhulekkearvuks võetakse $10 \text{ m}^3/(h \cdot \text{m}^2)$ [12]. Kasutatud soojuslähivuste ja joonsoojuslähivuste väärtused ja nende allikad algolukorra energiatõhususe hindamiseks on leitavad Tabelist 3.4. Leitud pindalad ja joonsoojuslähivuste pikkused on esitatud Tabelis 3.5.

Tabel 3.5 Algolukorra arvutustes kasutatud soojuslähivused

Piirdetarind	Soojuslähivus, $W/(m^2 \cdot K)$	Märkus
Välissein	0,59	arvutatud
Katuslagi	0,61	arvutatud
Pööningu vahelagi	1,13	arvutatud
Põrand	0,57	arvutatud
Välisüks	2,00	puitelamute uuringust [12]
Aken	1,80	võetud keskmine sest aknad on erinevad, päikeselähivustegur $g = 0,76$

Liitekoht	Joonsoojuslähivus, $W/(m \cdot K)$	Märkus
Välissein - välissein	0,05	puitelamute uuringust [12]
Katus - välissein	0,15	
Pööning - välissein	0,15	
Põrand - välissein	0,18	
Akna seinakinnitus	0,01	
Ukse seinakinnitus	0,01	
Sisesein - välissein	0,01	
Vahelagi - välissein	0,01	

Tabel 3.6 Algse ETA kasutatud piirdetarindite pindalad ja liitekohtade pikkused

Piirdetarind	A, m²
Välisseinad	441,1
Katuslagi	92,5
Pööningu vahelagi	269,6
Põrand tuulutatud	312,4
Kütmata keldri lagi	45,2
Välisuks	14,8
Aken (kirre) - ol.olevad	18,1
Aken (kagu) - ol.olevad	19,0
Aken (edel) - ol.olevad	23,3
Aken (loe) - ol.olevad	15,1
Piirdetarindi liitekohta pikkus	l, m
Välissein - välissein	75,3
Katuslagi - välissein	85,1
Pööningu vahelagi - VS	86,7
Põrand - VS	88,8
Keldri vahelagi - välissein	18,0
Akna seinakinnitus	247,9
Ukse seinakinnitus	47,9
Sisesein - välissein	46,5
Vahelagi - välissein	64,8
Pööning - katus	23,3

Mittehomogeense piirdetarindi soojusläbivuse arvutuse näide

Näiteks on välja toodud mittehomogeense välisseina soojusläbivuse arvutus, mille kihid on järgnevad:

- Ehituspapp/siseviimistlus 10mm
- Palksein 200 mm
- Soojustus 300 mm ja puitpost 50x300 mm sammuga 600mm (arvutustes s400, et arvesse võtta aknaposte)
- Soojustus 50 mm ja roovid 50x50 mm sammuga 600 mm
- Tuuletõke 50 mm
- Roov/ õhkvahe 25 mm
- Puitlaudis 25 mm

Pinnakihtide soojatakistused horisontaalse soojavoolu korral:

$$R_{si} = 0,13 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_{se} = 0,04 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus:

Soojustuse sektsiooni soojustakistus:

$$R_{soojustus} = 0,13 + \frac{0,2}{0,13} + \frac{0,3}{0,032} + \frac{0,05}{0,032} + \frac{0,05}{0,031} + 0,04 = 14,26 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Talade sektsiooni soojustakistus:

$$R_{tala} = 0,13 + \frac{0,2}{0,13} + \frac{0,3}{0,13} + \frac{0,05}{0,13} + \frac{0,05}{0,031} + 0,04 = 6,01 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Soojustuse ja roovi sektsiooni soojustakistus:

$$R_{soojustus} = 0,13 + \frac{0,2}{0,13} + \frac{0,3}{0,032} + \frac{0,05}{0,13} + \frac{0,05}{0,031} + 0,04 = 13,08 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Soojustuse ja posti sektsiooni soojustakistus:

$$R_{tala} = 0,13 + \frac{0,2}{0,13} + \frac{0,3}{0,13} + \frac{0,05}{0,032} + \frac{0,05}{0,031} + 0,04 = 7,19 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_{tot,upper} = \frac{0,6 * 0,4}{\frac{0,55 * 0,35}{14,26} + \frac{0,05 * 0,05}{6,01} + \frac{0,35 * 0,05}{13,08} + \frac{0,55 * 0,05}{7,19}} = 12,58 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus:

Soojustuse ja posti kihi soojustakistus:

$$R_{50mm\ sooj+post} = \frac{0,6}{\frac{0,55}{0,032} + \frac{0,05}{0,13}} = 1,24 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Soojustuse ja roovi kihi soojustakistus:

$$R_{50mm\ sooj+post} = \frac{0,4}{\frac{0,35}{0,032} + \frac{0,05}{0,13}} = 6,78 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_{tot,lower} = 0,13 + \frac{0,2}{0,13} + 1,24 + 6,78 + \frac{0,05}{0,031} + 0,04 = 11,35 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Kogusoojustakistus:

$$R_{tot} = \frac{12,58 + 11,35}{2} = 11,96 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Soojusläbivus:

$$U = \frac{1}{11,96} = 0,08 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Põrand pinnasel soojuslähivuse arvutuse näide

Näiteks on välja toodud põrand pinnasel soojuslähivuse arvutus, mille kihid on järgnevad:

- Põrandakate/laud 15 mm
- Batoon 80 mm
- XPS 400 mm
- Tihendatud pinnas kruus

Välisseinte vaheline pindala: 357,6 m²

Perimeeter: 107 m

Välisseina paksus: 0,65 m

Põranda iseloomulik mõõt:

$$B' = \frac{357,6}{\frac{107}{2}} = 6,68m$$

Pinnakihtide soojatakistused põranda korral:

$$R_{si} = 0,17 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_{se} = 0,04 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Põranda soojustakistus:

$$R = \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,08}{2} + \frac{0,4}{0,04} = 10,16 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Põranda ekvivalentne paksus:

$$d_t = 0,65 + 2 \cdot (0,17 + 10,16 + 0,04) = 21,4 m$$

Põranda soojuslähivus:

$$U = \frac{2}{0,457 \cdot 6,68 + 21,4} = 0,08 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

3.3 Renoveerimismeetmed

„Rekonstrueeritava korterelamu ETA arvutustabelit“ kasutatakse Kreutzwaldi 2 korterelamu optimaalseima renoveerimislahenduse leidmiseks. Võrdlusesse on valitud viis erinevat soojusallika lahendust ning viis erinevat vee soojendamise allikat vastavalt asukoha energiaallikate võimalusele. Lahendustes mängib rolli ka põranda renoveerimine või mitte renoveerimine, sest põrandate renoveerimine eeldaks suuri töid seoses põrandate lahti võtmisega, seega peaks elanikud tööde ajaks välja kolima, mis alati ei ole võimalik. Võrdluses on ka soojustagastiga või soojustagastita ventilatsioon, et näidata kui palju mõjutab soojustagastusega ventilatsioon soojustuse paksust ja energiatarbimist. Renoveerimise variatsioonid on näha Tabel 3.7. Viie erineva eesmärgi

korral leitakse vajalikud soojustuse paksused nii välisseinas, katuslaes kui ka põrandal ja vajalik päikesepaneelide võimsus, soojuspumba võimsus ja kollektori pindala. Leitud lahenduste kütte- ja elektrienergiakulu võrreldakse algse energiatõhususarvuga standardkasutusel ning tuuakse välja energiakulu erinevused protsentides.

Võrreldavad eesmärgid on järgmised:

- saavutada hoones A energiatõhususklass paigaldades katusele maksimaalselt päikesepaneele
- saavutada hoones A energiatõhususklass paigaldades katusele optimaalselt päikesepaneele
- saavutada B energiatõhususklass ilma päikesepaneelideta
- saavutada B energiatõhususklass lisades välisseintele muinsuskaitseliselt tavaliselt lubatava 7 cm soojustust
- saavutada C klass

Iga eesmärgi kohta tehakse „Rekonstrueeritava korterelamu ETA arvutustabelis“ läbi Tabel 3.7 näidatud variatsioonid, millest leitakse optimaalseim lahendus võttes arvesse linnamiljöös säilimise nõuet.

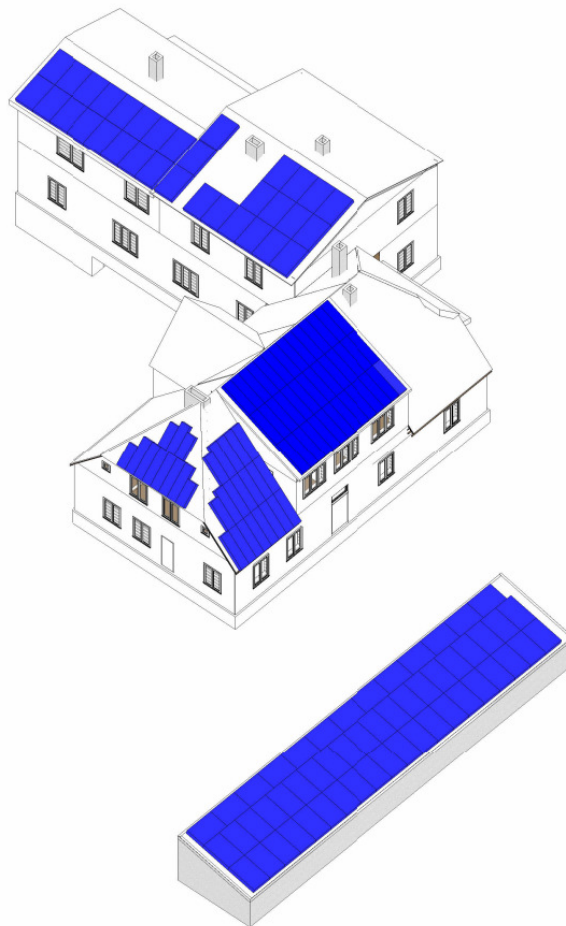
Tabel 3.7 Energiatõhususlahenduste variatsioonid

Eesmärk	Soojusallikas kütteks	Soojusallikas vee soojendamiseks	Põrand	Ventilatsioon, korteripõhine
1. Katusele max PV 2. Katusele optimaalne PV 3. B klass ilma PV-ta 4. B klass, seinal 7cm soojustust 5. C klass	Efektiivne kaugküte	Efektiivne kaugküte	Praegune	Soojustagastiga
			Renoveeritud	Soojustagastita
			Praegune	Soojustagastiga
			Renoveeritud	Soojustagastita
	Maasoojuspump	Maasoojuspump	Praegune	Soojustagastiga
			Renoveeritud	Soojustagastita
			Praegune	Soojustagastiga
			Renoveeritud	Soojustagastita
	Õhk-vesi soojuspump	Õhk-vesi soojuspump	Praegune	Soojustagastiga
			Renoveeritud	Soojustagastita
			Praegune	Soojustagastiga
			Renoveeritud	Soojustagastita
	Pelletikatel	Pelletikatel	Praegune	Soojustagastiga
			Renoveeritud	Soojustagastita
Praegune			Soojustagastiga	
Renoveeritud			Soojustagastita	
Ahiküte	Elekter	Praegune	Soojustagastiga	
		Renoveeritud	Soojustagastita	
		Praegune	Soojustagastiga	
		Renoveeritud	Soojustagastita	

Päikesepaneelid

Päikesepaneelide tootlikkuse leidmiseks võrreldakse kolme erinevat paneeli tüüpi – JinkoSolar [45], Roofit topeltvalts ja Roofit Click [46]. Kõik paneelitüübid asetatakse mudelis hoone katusele nende originaalsuuruses, et leida täpne arv paneele, mis katusele mahuks. Seejärel korrutatakse paneelide arv paneeli võimsusega, et leida katuseosa päikesepaneelide koguvõimsus. Päikesepaneelide elektritoodang leitakse Euroopa päikesepaneelide tööriista kaudu [47]. Selleks sisestatakse tööriistas hoone asukoht, paneelide koguvõimsus, kalle, kas on integreeritud või tavaline PV ning paneelide asimuut. Tööriist väljastab aastase elektritoodangu.

Leitakse koguvõimsus kui paigaldada hoonele maksimaalselt päikesepaneele ning kui paigaldada neid optimaalselt (lõuna, kagu ja edela suunas ning mitte varjus, vt Joonis 3.8). Varjude leidmiseks mudeldatakse ligilähedase suurusega puud hoone ümbrusesse ning vaadeldakse nii hoone enda varje kui ka puudest tekkinud varje Revit *Solar Study* abil igal aastaajal. Päikeseenergia omatarbe osakaaluks kasutatakse 55%. Korterelamu ETA tabelis kasutatakse leitud päikesepaneelide toodangut aasta kohta ja jäetakse välja tabeli enda lihtsustatud päikeseenergia toodangu arvutus.



Joonis 3.8 Optimaalselt paigaldatud päikesepaneelid vaatega lõunast

Soojuspumbad

Maasoojuspumpade puhul valitakse inverterpump ja arvutuste andmeteks metoodika tabelväärtused. Küttegaafikuks valitakse kõikidel versioonidel 50/35 ja pealevoolu maksimaalne temperatuur 50 kraadi. Nominaalvõimsuseks nii maasoojuspumba kui ka õhk-soojuspumba korral võetakse 60% küttevajadusest [48]. 1 kW installeeritud soojusvõimsuse saamiseks on horisontaalse maasoojuspumba kollektori jaoks vaja 60-90 m² maapinda [48], lõputöös on vajalikuks kollektori pindalaks arvestatud 75 m² 1 kW kohta.

Energiaarvutuse lähteandmed rekonstrueeritavas olukorras

Et tulemused oleksid võrreldavad, on ETA variantide arvutustes kasutatud järgnevaid parameetreid:

- Õhulekkearv q_{50} : 1,5 m³/(h·m²)
- Soojuse jaotamise viis: radiaatorid
- Ventilatsioonisüsteem: korteripõhine
- Välisõhu vooluhulk: 0,42 l/(s·m²) [48]
- Soojustagasti tüüp: rootor
- Soojustagasti temperatuuri suhtarv: 0,8 [48]
- Heitõhu minimaalne temperatuur: 0 °C
- Ventilatsioonisüsteemi sissepuhkeõhku köetakse: vesikalorifeeriga
- Ventilatsiooniüsteemi SPF: 1,5 kW/(m³/s) [48]
- Akende soojusläbivus eesmärkide 4 ja 5 puhul: 1,0 W/(m²·K)
- Akende soojusläbivus eesmärkide 1-3 puhul: 0,8 W/(m²·K)
- Päikeseläbivustegur g: 0,45
- Välisuste soojusläbivus: 0,81 W/(m²·K) [49]

Joonsoojusläbivuseks valitakse suurem väärtus järgnevaist: 10% piirdetarindite kogusoojusläbivusest või puitelamute uuringust saadud soojustatud elamu joonsoojusläbivuste väärtused.

Renoveeritavates arvutustabelites on pindalad veidi muutunud, sest on vaja tagada hoone õhupidavus, seega on välispiirdeks katusetarind, mitte pööningu vahelagi nagu algolukorras. Pindalad ja joonsoojuspikkused on leitavad Tabelis 3.7.

Võrreldavuse jaoks kasutatakse kõikides variantides muutuvate suurustena samu kihte ning lõppvaliku arvutus täpsustatakse vastavalt vajadusele.

Välisseina kihid:

- Laudis 25 mm
- Roov/ õhkvahe 25 mm
- Tuuletõke X mm (X mm = muutuv paksus)
- Mineraalvill X mm/roovid 50 x Xmm s600 (eesmärgi 4 puhul jääb see kiht välja)

- Mineraalvill X mm /postid 50 x X mm s600
- Palksein 200 mm

Põranda kihid:

- Põrandakate/puit 15 mm
- Betoonplaat 80 mm
- XPS soojustus X mm

Vana hooneosa katuse kihid:

- Katusekatte kihid
- Tuuletõke X mm (X mm = muutuv paksus)
- Mineraalvill X mm /postid 50 x X mm s600
- Ehitus/viimistlusplaat 15 mm
- Sarikad 150x150, s1110

Uue hooneosa katuse kihid:

- Katusekatte kihid
- Tuuletõke X mm (X mm = muutuv paksus)
- Mineraalvill X mm/sarika lisa 70 x Xmm s1450
- Mineraalvill X mm /sarikad 70 x 140 mm s1450
- Ehitus/viimistlusplaat 15 mm

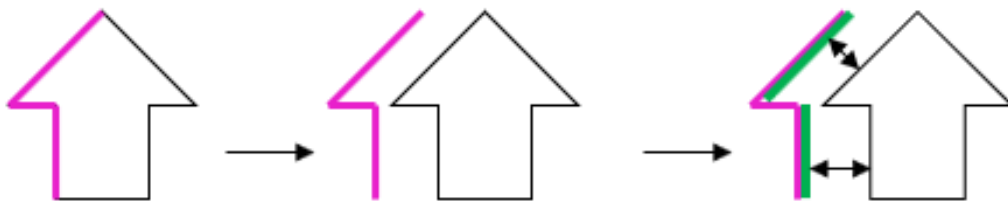
Tabel 3.8 Renoveeritud ETA arvutustes kasutatavad pindalad ja liitekohtade pikkused

Piirdetarind	A, m²
Välisseinad	441,1
Katuslagi vana hoone	237,5
Katuslagi uus hoone	182,7
Põrand pinnasel	357,6
Välisuks	14,8
Aken (kirre) - ol.olevad	18,1
Aken (kagu) - ol.olevad	19,0
Aken (edel) - ol.olevad	23,3
Aken (loe) - ol.olevad	15,1
Joon- või punktsoojusläbivus	I, m
Välissein - välissein	75,3
Katuslagi - välissein	199,2
Põrand - VS	107,0
Akna seinakinnitus	247,9
Ukse seinakinnitus	47,9
Sisesein - välissein	46,6
Vahelagi - välissein	64,8

3.4 Piirdetarindid ja liitekohad

Vastavalt leitud optimaalseimale A klassi energiatõhususlahendusele projekteeritakse hoone tarindid ja põhisõlmed: räästas ja katusehari nii vanema kui ka uuema hooneosa puhul, soklisõlm, aknasõlm ja katuse ja välisseina liitekoht. Detailjoonisteks kasutatakse Revit tarkvara. Lähtutakse heast ehitustavast, kirjeldatakse vajalikud nõuded ja väärtused materjali omadustele. Samuti pööratakse tähelepanu vihmavee mitte sattumiseks fassaadile. Pööratakse tähelepanu õhutõkkekihi jätkuvusele piirdetarindites ning läbiviikude minimeerimisele, et vähendada maksimaalselt õhulekkeid. Tagatakse linnamiljöö seisukohalt olulised proportsioonid (Lisa 8). Projekteerimiseks kasutatakse Kredexi juhendmaterjale „Liginullenergia eluhood – Rida ja korterelamud“ [48], T. Masso raamatut „Ehitusfüüsika ABC“ [50], RIL 107 [51], puitkorterelamute uuringut [12], doktoritöid puitelamute energiatõhususest [23] [27], maaelamute uuringut [52] ning toodete paigaldusjuhiseid.

Linnamiljöö säilimiseks järgitakse hoone profiilide säilimist. Selleks joonestatakse profiili kuju algolukorra jooniste põhjal, siis lükatakse profiili horisontaalselt sõlmest kaugemale, lisatakse vajaminevad pealiskihid näiteks laudis ja katusekate, eemaldatakse ebavajalikud piirdetarindi kihid ning üle jääva ala põhjal leitakse võimalik piirdetarindi paksus protsentuaalselt välisseina soojustuseks jääva ruumi põhjalt. Graafiline selgitus vt Joonis 3.8.



Joonis 3.9 Profiilide säilitamise ideelahendus

4 TULEMUSED JA NENDE HINDAMINE

4.1 Uuritava objekti seisukord

Algsed sõlmed ja tarindid

Algsete tarindite ja sõlmede joonised on leitavad Lisadest 1-7. Hoone on rajatud maakividest krohvitud madalvundamendile paksusega 650-800 mm, millel on tellistest laotud vöö. Vundamendile on tehtud mitmeid tellistega parandusi ning krohv on mitmest kohast koorunud. Vundamendil on üksikud tuulutusavad. Vundamendi taldmik sai kaevetöödega mõõdistatud sisehoovi nurgas ning on ligi 270 mm kõrge ja ulatub vundamendi seina äärest ligi 200 mm üle. Sokkel endub välisseintest erinevalt, 20 - 100 mm. Soklil on puidust veelaud laiusega 100-140 mm, mis on halvas seisukorras.



Joonis 4.1 Sokli ja veelaua mõõdistamine. Autori fotod 05.05.2022

Välisseinad koosnevad mõlemas hooneosas 200 mm paksusest rõhtpalgist, õhkvahest ning roovidest, millele on kinnitatud horisontaalne laudvooder. Voodrilaudis on mitmes erinevas laiuses, algupärast 200 mm laiust laudist on alles jäänud vähe. Kohati on välissein maapinnaga peaaegu samal tasemel. Välisseina lahti võtta ei olnud võimalik, seega on teadmata, kas alumistel palkidel esineb mädanikkahjustusi.

Vanema hooneosa katusekonstruktsiooniks on enamasti 150 x 150 mm sarikad. Kuid pööningult on näha, et mõned sarikad on asendatud ning hilisemalt on välja ehitatud teise korruse vintskap. Sarikad on sammuga 800-1100 mm, nende peal on 50 mm paksused roovid, millele on kinnitatud kaaslaudis. Kaaslaudise peal on 40 mm kõrgused roovid. Kaaslaudis, kõrgemad roovid ja ka kaevamisel välja tulnud katusekivid viitavad varasema kivitakuse olemasolule. Praegu on katusekatteks lagunenenud eterniit. Uuema hooneosa katusesarikaid on rohkemalt välja vahetatud, need on 70 x 140 mm,

keskmiselt sammuga 1450 mm, ja toetuvad 120 x 120 mm pärlinitele. Sarikatele on kinnitatud 50 mm paksused roovid ja katusekatteks on eterniit.



Joonis 4.2 Uue hooneosa pööning. Foto T.Kalamees 18.03.2022

Mõlemal hoonel on räästakast, mis eendub välisseinast ligi 200 mm. Vanemal hooneosal ääristab räästast algupärane karniis, uuemal hoonel on räästal kohati profiilliist.



Joonis 4.3 Vana hooneosa räästakarniis ja osa katuse kihtidest. Fotod Ü. Alev 05.05.2022

Pööningu vahelagedeks on mullalagi. Mõlema hoone puhul on pealolevat saepuru ja liiva segu jäänud väheseks, alt on näha savi kiht, osaliselt ongi alles jäänud savi kiht. Korruse vahelagesid ei olnud võimalik lahti võtta, seega on nende kihid eeldatud teaduskirjanduse põhjal.

Aknad on erinevates suurustes, esineb nii puit- kui ka pakettaknaid. Vanema hooneosa kagupoolselt fassaadilt on näha, et algselt olid seal aknad kõrgemad ning piirdeliistud olid laiemad. Kuna aknad on väga erinevad ja algupäraseid aknaid ei ole säilinud, on Lisa nr 6 joonisel välja toodud lahendus teaduskirjandusest, milline algupärane aken taolisele hoonele võis välja näha, et projekteerida sarnast.

Hoonel on ka kaks keldrit, kuid käesolevas magistritöös keldreid arvesse ei võeta.

Algolukorra energiatarbimine

Kreutzwaldi 2 algolukorra energia tarbimine nii KEK kui ETA puhul on näha allolevas Tabelis 4.1.

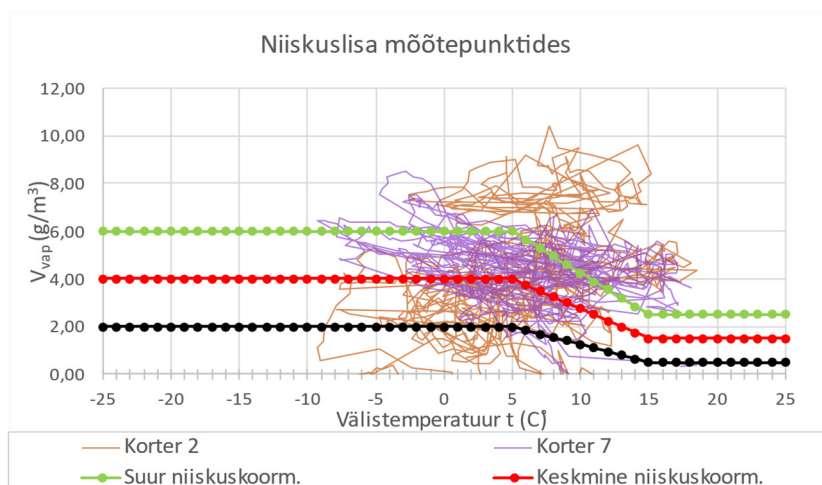
Tabel 4.1 Algse ETA ja KEK tulemused

Energia erikasutus, kWh/(m ² *a)				
Variant	KEK/ETA	Küte	Soe tarbevesi	Elektter
0, KEK	222	200	37,0	54,8
0, ETA	323	314	30,0	29,5

Arvutatud energiatõhususarvu kütteenergia väärtus on ~50% suurem kui KEK, sest:

- kõik korterid ei ole igapäevaselt kasutusel
- elamu sisekliima ei vasta standardolukorrale (vt Joonis 4.4)
- elanike kütmişarjumused võivad olla erinevad standardkasutusest.

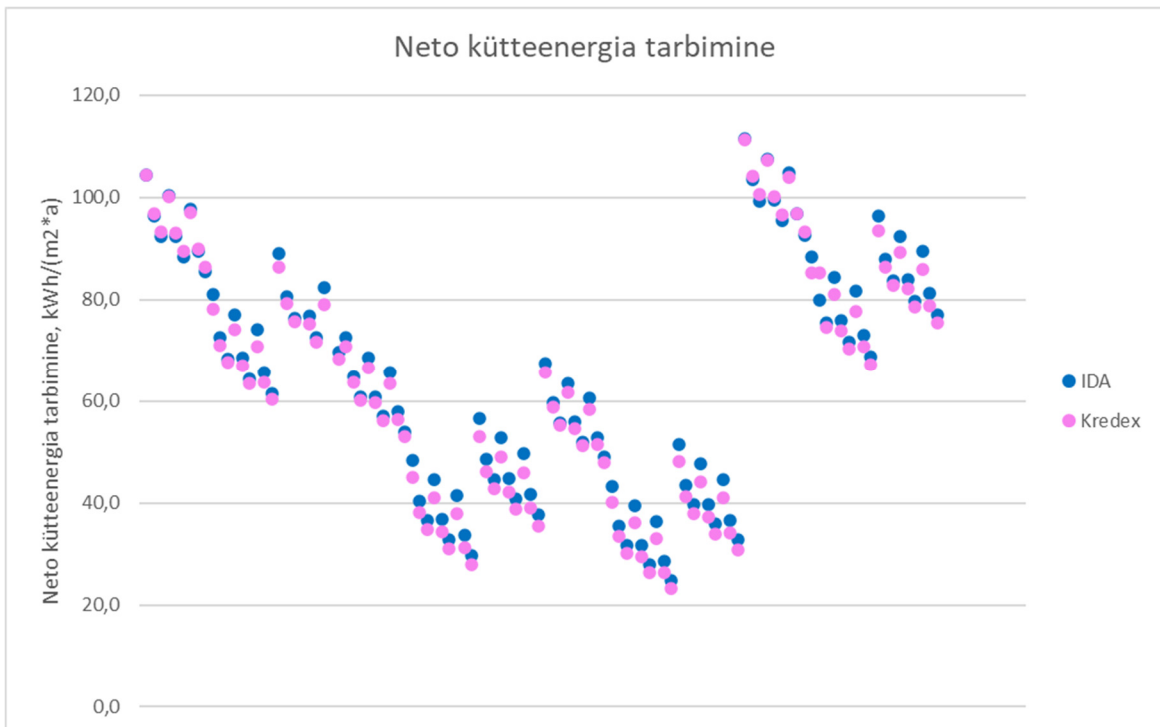
Samuti tuleks märkida, et ühes korteris kasutati osaliselt kütmiseks ka soojuspumpa, kuid selle osakaalu protsentuaalsust teadmata ei võetud seda arvutustes küttekulus arvesse. See tuleb aga välja KEKi puhul suuremast elektritarbimisest ja väiksemast kütteenergia tarbimisest kui ETA puhul. Kuna vahelagedesse ega põrandasse ei olnud võimalik sisse näha, on nende soojuslähivus oletatud teaduskirjanduse põhjal, mistõttu võib algne ETA erineda tegelikust.



Joonis 4.4 RESTO projekti raames mõõdetud niiskuslisa Kreutzwaldi 2 kahes korteris

4.2 „Rekonstrueeritava korterelamu ETA arvutustabeli“ ja IDA ICE tulemuste võrdlus

IDA ICE ja „Rekonstrueeritava korterelamu ETA arvutustabeli“ tulemuste võrdlus on näha Joonisel 4.4. Võrreldi 106 variatsiooni neto küttevajadust. Keskmiseks neto kütteenergia erinevuseks simulatsiooni ja arvutustabeli vahel tuli 3,2 %. Seega on arvutustabel sobiv tööriist A energiatõhususklassi energiaarvutusteks ning käesoleva magistritöö raames ei ole seda vaja kalibreerida.



Joonis 4.5 IDA ICE ja Rekonstrueeritava korterelamu ETA arvutustabeli neto kütteenergia võrdluse tulemused, variandid horisontaalset telge pidi

4.3 Renoveerimismeetmete võrdluse tulemused

4.3.1 Päikesepaneelide võimsus

Muinsuskaitse nõuetest tulenevalt võib kogu hoonele paigaldada katusesse integreeritud päikesepaneele ning tavapaneelid on lubatud uuema hooneosa hoovipoolsel küljel ja kuuri katusel. Paigaldades kogu katusele (kaasa arvatud kuurile) maksimaalselt päikesepaneele, tuleks koguvõimsuseks 74 kW (tootlusega 53404 kWh/a). Päikesepaneelide ideaalolukorra maksimaalne toodang on aga suunaga lõunasse ning kui oleks võimalik paigaldada tavapaneele, mida suunata lõunasse 40 kraadi alla, suureneks süsteemi koguvõimsus 28% võrra.

Paigaldades päikesepaneele optimaalselt, tuleb koguvõimsuseks 48 kW (tootlusega 41188 kWh/a) (sh kuurile paigaldatud paneelid koguvõimsusega 22,8 kW). Optimaalselt paigaldatud paneelide asukoht on näidatud Joonis 3.8. Vanale hooneosale on arvestatud Roofit topeltvalts ning uuemale hooneosale ja kuurile JinkoSolar tavapaneeleid, sest viimased on 32% suurema võimsusega ruutmeetrile kui integreeritud valtspaneelid. Roofit Click süsteem oli 10 W/m² suurema tootlusega kui Roofit topeltvalts, kuid erinevate paneeli suuruste tõttu mahtus valtspaneele katuse osadele suuremas koguvõimsuses kui Click paneele.

4.3.2 Energiatõhususarvu saavutamise võimalused

Energiatõhususe variantide arvutustulemused on leitavad Tabelites 4.2 -4.7. Punasega on tähistatud variandid, millega ei jõutud püstitatud eesmärgini, seega järgmise klassi arvutustes punasega tähistatud variatsioone enam ei kaalutud. Tabelis on mõnede arvutuste tulemusel vajalikud soojustuse paksused väga suured ja seega ebarealistlikud. See on jäetud sisse näitamaks inimesele, kes ei ole projekteerija, kuidas mõjutavad eri kütelliigid, ventilatsioon ja ühe piirdetarindi renoveerimata jätmise tarindite vajaminevat soojustuse paksust (materjali omadused kirjeldatud joonistel Lisades 1-7).

Tabel 4.2 ETA tulemused eesmärgile C klass

Variant	Eesmärk	Soojus-allikas kütteks	Soojus-allikas vee soojen-damiseks	Põrand	Ventilatsioon, korteripõhine	ETA	Vajalik VS soojus-tus, mm	Vajalik põranda soojustus, mm	Vajalik katuslae soojustus vana hooneosa, mm	Vajalik katuslae soojustus uus hooneosa, mm	Soojuspumba võimsus, kW	Maasoojuspumba kollektori ala, m ²	Elektrikasutuse vahe %	Soojuskasutuse vahe %
V81	C klass, ETA 150	Ef KK	Ef KK	P	GA	150	150	-	100	150	-	-	-40	-62
V82					TA	160	700		450	590			-44	-54
V83				REN	GA	147	90	50	80	80			-40	-63
V84					TA	150	200	300	150	190			-44	-59
V85	MSP	MSP	P	GA	150	800	-	550	590	12,9	969	26	-100	
V86				TA	152	800		550	590	7,9	589	28	-100	
V87			REN	GA	150	60	50	50	80	11,8	888	26	-100	
V88				TA	150	300	100	250	190	6,7	499	26	-100	
V89	ÖV	ÖV	P	GA	159	900	-	450	590	8,2	-	34	-100	
V90				TA	201	1000		550	590	7,8		69	-100	
V91			REN	GA	150	200	250	150	240	6,9		26	-100	
V92				TA	186	600	500	550	590	4,8		56	-100	
V93	P	P	P	GA	150	180	-	100	240	-	-	-40	-61	
V94				TA	165	700	-	650	590			-44	-52	
V95			REN	GA	150	100	50	80	80			-40	-62	
V96				TA	150	200	400	250	290			-44	-59	
V97	Ahi	EI	P	GA	179	1000	-	650	590	-	-	9	-76	
V98				TA	228	1000		650	590			6	-50	
V99			REN	GA	152	600	500	550	490			9	-89	
V100				TA	201	600	500	550	490			6	-63	

Soojusallikad:

EfKK - efektiivne kaugküte

MSP - maasoojuspump

ÖV - õhk-vesi soojuspump

P - pelletikatel

Ahi - ahiküte

EI - elekter

Põrand:

P - praegune

REN - renoveeritud

Ventilatsioon:

GA - soojustagastiga

TA - soojustagastita

Märkused:

*aken $U = 1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

* energiasäästul miinusmärk tähendab kulu vähenemist, ilma märgita kulu suurenemist

*materjali omadused joonistel Lisa 1-7 ja pt 3.2.3

Tabel 4.3 ETA tulemused eesmärgile B klass, välisseinal 7 cm soojustust

Variant	Eesmärk	Soojus-allikas kütteks	Soojus-allikas vee soojendamiseks	Põrand	Ventilatsioon, korteripõhine	ETA	Vajalik VS soojustus, mm	Vajalik põranda soojustus, mm	Vajalik katuslae soojustus vana hooneosa, mm	Vajalik katuslae soojustus uus hooneosa, mm	Soojuspumba võimsus, kW	Maasoojuspumba kollektori ala, m ²	Elektrikasutuse vahe %	Soojuskasutuse vahe %	
V61	Ef KK	Ef KK	P	GA							-	-			
V62				TA											
V63			REN	GA	125	70*	300	250	240					-40	-74
V64				TA										-40	-75
V65	MSP	MSP	P	GA	141	70*	-	500	290	10,4	780	19	-100		
V66				TA											
V67			REN	GA	125	70*	400	350	240	7,2	539	5	-100		
V68				TA	149	70*	500	350	490	6,6	493	26	-100		
V69	ÖV	ÖV	P	GA							-	-			
V70				TA											
V71			REN	GA	149	70*	600	450	390	6,8				25	-100
V72				TA											
V73	P	P	P	GA	148	70*	-	500	690	-	-	-40	-62		
V74				TA											
V75			REN	GA	125	70*	800	350	590			-40	-73		
V76				TA	156	70*	800	500	590			-44	-56		
V77	Ahi	EI	P	GA	ei saanud isegi C klassi kätte, jätsin välja.										
V78				TA											
V79			REN	GA											
V80				TA											

Soojusallikad:

EfKK - efektiivne kaugküte

MSP - maasoojuspump

ÖV - õhk-vesi soojuspump

P - pelletikatel

Ahi - ahiküte

EI - elekter

Põrand:

P - praegune

REN - renoveeritud

Ventilatsioon:

GA - soojustagastiga

TA - soojustagastita

Märkused:

*aken $U = 1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

* energiakulude vahe miinusmärk tähendab kulu vähenemist, ilma märgita kulu suurenemist

*materjali omadused joonistel Lisa 1-7 ja pt 3.2.3

Tabel 4.4 ETA tulemused eesmärgile B klass, soojustus proportsionaalselt

Variant	Eesmärk	Soojus-allikas kütteks	Soojus-allikas vee soojendamiseks	Põrand	Ventilatsioon, korteripõhine	ETA	Vajalik VS soojustus, mm	Vajalik põranda soojustus, mm	Vajalik katuslae soojustus vana hooneosa, mm	Vajalik katuslae soojustus uus hooneosa, mm	Soojuspumba võimsus, kW	Maasoojuspumba kollektori ala, m ²	Elektrikasutuse vahe %	Soojuskasutuse vahe %		
V41	B klass, ETA 125, soojustus proportsionaalselt	Ef KK	Ef KK	P	GA	130	650	-	550	490	-	-	-40	-71		
V42					TA											
V43				REN	GA	125	150	100	150	190			-40	-74		
V44					TA	137	600	500	650	690			-44	-65		
V45		MSP	MSP	P	GA	126	950	-	750	290	8,0	597	6	-100		
V46					TA											
V47				REN	GA	125	150	250	100	190	7,3	547	5	-100		
V48					TA	152	500	400	400	240	5,0	377	28	-100		
V49		ÖV	ÖV	P	GA			-				-				
V50					TA											
V51				REN	GA	133	600	500	500	590	4,9				12	-100
V52					TA											
V53		P	P	P	GA	131	900	-	500	490	-	-	-40	-71		
V54					TA											
V55				REN	GA	125	130	200	150	190			-40	-73		
V56					TA	142	600	500	500	240			-44	-63		
V57	Ahi	EI	P	GA	ei andnud välja C klassi, valikust väljas											
V58				TA												
V59			REN	GA												
V60				TA												

Soojusallikad:

EfKK - efektiivne kaugküte

MSP - maasoojuspump

ÖV - õhk-vesi soojuspump

P - pelletikatel

Ahi - ahiküte

EI - elekter

Põrand:

P - praegune

REN - renoveeritud

Ventilatsioon:

GA - soojustagastiga

TA - soojustagastita

Märkused:

*aken $U = 0,8$

$W/(m^2 \cdot K)$

* energiakulude vahe miinusmärk tähendab kulu vähenemist, ilma märgita kulu suurenemist

*materjali omadused joonistel Lisa 1-7 ja pt 3.2.3

Tabel 4.5 ETA tulemused eesmärgile A klass, optimaalselt päikesepaneele

Variant	Eesmärk	Soojus-allikas kütteks	Soojus-allikas vee soojendamiseks	Põrand	Ventilatsioon, korteripõhine	ETA	Vajalik VS soojus-tus, mm	Vajalik põranda soojustus, mm	Vajalik katuslae soojustus vana hooneosa, mm	Vajalik katuslae soojustus uus hooneosa, mm	PV, kWh/a	PV, m2	Soojuspumba võimsus, kW	Maasoojuspumba kollektori ala, m2	Elektrikasutuse vahe %	Soojuskasutuse vahe %										
V21	A klass, ETA 105, optimaalne PV	Ef KK	Ef KK	P	GA	ei andnud välja B klassi, valikust väljas																				
V22					TA																					
V23				REN	GA	105	150	100	150	190	11307	67	-	-	-57	-74										
V24					TA	ei andnud välja B klassi, valikust väljas																				
V25	MSP	MSP	P	GA	ei andnud välja B klassi, valikust väljas																					
V26				TA																						
V27			REN	GA	105	150	200	120	190	11173	66	7,3	544	-12	-100											
V28				TA	ei andnud välja B klassi, valikust väljas																					
V29	ÕV	ÕV	P	GA												ei andnud välja B klassi, valikust väljas										
V30				TA																						
V31			REN	GA																						
V32				TA																						
V33	P	P	P	GA	ei andnud välja B klassi, valikust väljas																					
V34				TA																						
V35			REN	GA	105	130	300	120	190	11441	66	-	-	-57	-73											
V36				TA	ei andnud välja B klassi, valikust väljas																					

Soojusallikad:

EfKK - efektiivne kaugküte

MSP - maasoojuspump

ÕV - õhk-vesi soojuspump

P - pelletikatel

Ahi - ahiküte

El - elekter

Põrand:

P - praegune

REN - renoveeritud

Ventilatsioon:

GA - soojustagastiga

TA - soojustagastita

Märkused:

*aken $U = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

* energiakulude vahe miinusmärk tähendab kulu vähenemist, ilma märgita kulu suurenemist

*materjali omadused joonistel Lisa 1-7 ja pt 3.2.3

Tabel 4.6 ETA tulemused eesmärgile A klass, maksimaalselt päikesepaneel

Variant	Eesmärk	Soojus-allikas kütteks	Soojus-allikas vee soojendamiseks	Põrand	Ventilatsioon, korteripõhine	ETA	Vajalik VS soojus-tus, mm	Vajalik põranda soojustus, mm	Vajalik katuslae soojustus vana hooneosa, mm	Vajalik katuslae soojustus uus hooneosa, mm	PV, kWh/a	PV, m2	Soojuspumba võimsus, kW	Maasoojuspumba kollektori ala, m2	Elektrikasutuse vahe %	Soojuskasutuse vahe %
V1	A klass, ETA 105, maksimaalselt PV	Ef KK	Ef KK	P	GA	ei andnud välja B klassi, valikust väljas										
V2					TA											
V3				REN	GA	54	150	100	150	190	39851	237	-	-	-100	-74
V4					TA	ei andnud välja B klassi, valikust väljas										
V5		MSP	MSP	P	GA	ei andnud välja B klassi, valikust väljas										
V6					TA											
V7				REN	GA	30	150	250	100	190	53404	420	6,8	508	-75	-100
V8					TA	ei andnud välja B klassi, valikust väljas										
V9		ÕV	ÕV	P	GA	ei andnud välja B klassi, valikust väljas										
V10					TA											
V11				REN	GA	ei andnud välja B klassi, valikust väljas										
V12					TA											
V13		P	P	P	GA	ei andnud välja B klassi, valikust väljas										
V14					TA											
V15				REN	GA	54	130	300	120	190	39851	237	-	-	-100	-74
V16					TA	ei andnud välja B klassi, valikust väljas										

Soojusallikad:

EfKK - efektiivne kaugküte

MSP - maasoojuspump

ÕV - õhk-vesi soojuspump

P - pelletikatel

Ahi - ahiküte

El - elekter

Põrand:

P - praegune

REN - renoveeritud

Ventilatsioon:

GA -

soojustagastiga

TA - soojustagastita

Märkused:

*aken $U=0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

* energiakulude vahe miinusmärk tähendab kulu vähenemist, ilma märgita kulu suurenemist

*materjali omadused joonistel Lisa 1-7 ja pt 3.2.3

Tabel 4.7 ETA lisavariantide tulemused

Variant	Eesmärk	Soojus-allikas kütteks	Soojus-allikas vee soojendamiseks	Põrand	Ventilatsioon, korteripõhine	ETA	Vajalik VS soojus-tus, mm	Vajalik põranda soojustus, mm	Vajalik katuslae soojustus vana hooneosa, mm	Vajalik katuslae soojustus uus hooneosa, mm	PV, kWh/a	PV, m ²	Elektrikasutuse vahe %	Soojuskasutuse vahe %
V3_2	ETA 105	EfKK	EfKK	P	GA	77	150	0	100	190	39851	237	-100	-62
V3_3				REN	GA	86	150	200	120	190	21543	128	-73	-74

Märkused:

*aken $U = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

*V3_3 kasutatud optimaalset PV toodangut ilma kuuri PV toodanguta

Energiatõhususe saavutamise tulemuste hindamine ja renoveerimismeetmete valik

Vaadates kõiki tabelleid on näha, et soojustagastusega ventilatsiooni paigaldamata ei ole võimalik energiatõhususe klassi B jõuda ühegi variandiga.

Kasutades ahikütet ja elektriboilerit ei ole energiatarbimisega võimalik isegi C klassi jõuda, seega see arvutusvariant langes esimeses voorus välja. Tabel 4.3 on näha, et pea kõikide arvutatud versioonidega ei ole võimalik jõuda B energiatõhususklassi kui soojustada seinad maksimaalselt 7 cm, mis on muinsuskaitse tavaline nõue. Võimalik oleks eesmärk saavutada vaid maasoojuspumpa või efektiivset kaugkütet kütteallikana kasutades ning renoveerides põranda ja paigaldades soojustagastusega ventilatsiooni (variandid 63 ja 67). Küll aga on sel puhul katuse vajaminev soojustus palju suurem kui välisseina oma, mis tähendaks profiilide ebaproportsionaalseks muutumist. Ka pelletikatlat soojusallikana kasutades on võimalik saavutada B klass, kuid soojustuse paksus oleks sel puhul ebarealistlik.

Tabel 4.4 on välja toodud arvustulemused B energiatõhususklassi jõudmiseks säilitades profiilide proportsioonid. Selgub, et põranda renoveerimata jätmisel ei jõuta eesmärgini.

A klassi saavutamise arvutustesse jääb valikusse 3 arvutusvarianti. Tabel 4.5 on näha, et paigaldades päikesepaneeli täpselt niipalju, et jõuda energiatõhususarvuga A klassi maksimaalse väärtuseni $105 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, jõutakse eesmärgini optimaalselt paigaldatava päikeseenergiasüsteemi piirides (optimaalne tootlus 41188 kWh/a) ning soojustades piirdetarindeid normaalses paksuses ning proportsionaalselt säilitamaks linnamiljööd.

Kui soovitakse aga saada maksimaalset energiasäästu, tuleks päikesepaneeli paigaldada rohkem. Tabel 4.6 on näha, et kaugkütte ja pelletikatla variantide puhul oleks võimalik saada maksimaalne energiasääst jäädes optimaalselt paigaldatud päikesepaneelide tootlikkuse piiridesse. Maasoojuspumba puhul oleks tarvis rohkem päikesepaneeli, kuid muinsuskaitse päikesepaneeli piirangute tõttu ei ole rohkemate paneelide paigaldus majanduslikult põhjendatud.

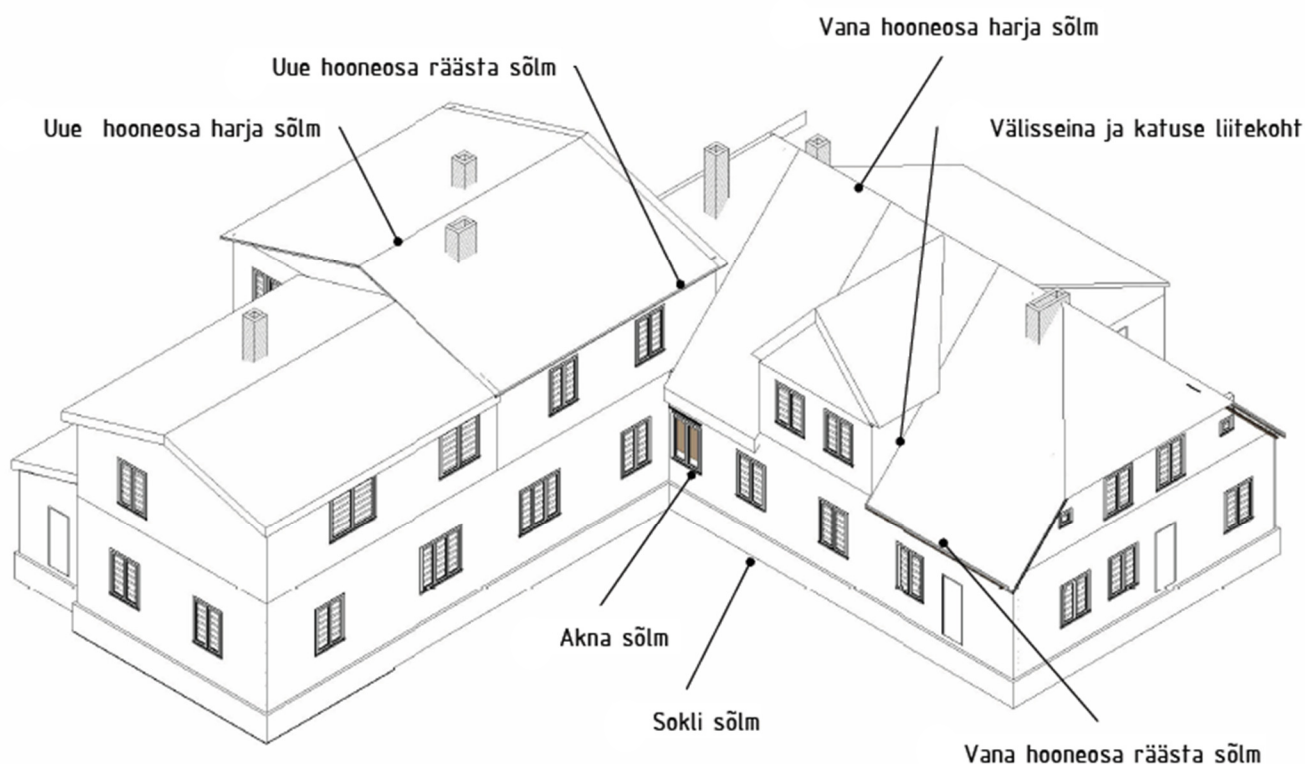
Tulemustest valitakse sobivaimaks lahenduseks variant 3, kus on kütteallikaks ja tarbevee soojendamiseks efektiivne kaugküte, renoveeritud on põrand ja paigaldatud soojustagastusega ventilatsioon. Pelletikatla puhul oleks vaja tuletõkkeseptsiooniga ruumi juba niigi väikese ühispinnaga korterelamus ning selle puhul peaks elanikud ise kütmisega tegelema. Kuna Võru linnavalitsus on võtnud vastu otsuse laiendada Võru kaugküttepõrkonna piire [53], on Kreutzwaldi 2 korteriühistul hea võimalus ühineda kaugküttevõrguga. Kaugküte on korteriühistule mugavam, ei ole vaja tegeleda kütja leidjaga. Ventilatsiooni ehitamine on vajalik hea sisekliima tagamiseks. Põrand on vaja renoveerida, sest muidu jääks soojuskaod liiga suureks, et saavutada piirdetarindite soojustamisega B energiatõhususklass.

Valitud lahendusega saaks standardtingimustel kütteenergiakulu vähendada 74%, seejuures tuleks märkida, et standardtingimustel on arvestatud sisetemperatuuriks 21 kraadi, kuid elanike soojuse tajumine on erinev ning mõned võivad soovida soojemat korterit. Samuti ei ole lõputöö raames piirdetarindeid lahti võetud, seega ei pruugi algne energiatõhususarv olla saajaprotsendiliselt õige. Seega kütteenergia säästuprotsent võib tegelikkuses olla veidi väiksem. Kuna Kreutzwaldi 2 elamu koosseisu kuulub ka suur kuur, on sinna võimalik paigaldada lisapäikesepaneeli ning kui paigaldada neid optimaalselt, saaks omatarbe osakaalu 55% juures kaetud kogu elektritarve. Küll aga kõigub päikesest toodetud energia veidi aastast aastasse ning oleneb ka sellest, kui puhtad need on. Seega ei ole ka elektrisäästu protsent 100% kindel, vaid võib aastast aastasse veidi kõikuda.

Tabel 4.7 on näha lisaversioonid valitud lahendusele V3. Esimese lisaversiooniga on näidatud ära vajalik lisasoojustuse paksus A energiatõhususklassi saavutamiseks kui paigaldada päikesepaneele nii, et see kataks elanike standardkasutusel elektri tarbimise. Sel juhul oleks võimalik põranda renoveerimine ära jätta, kuid soojustada tuleks siiski kõiki teisi piirdetarindeid. Teise lisaversiooni puhul on optimaalsest päikesepaneelide toodangust eemaldatud kuurile paigaldatud päikesepaneelide toodang. Paljud taolised vanad puitkorterelamud asuvad üsna tihedalt üksteise kõrval ning alati ei ole suurt kuuri, kuhu saaks lisapaneele paigaldada. Siit on näha, et kogu elektritarbimist see ära ei kata ning tuleks soojustada ka põrand.

4.4 Projekteeritud lahendused

Projekteeritud lahenduste joonised on leitavad Lisades 1-7. Kasutatud soojustusmaterjalide soojuseri juhtivused on välja toodud joonistel. Sõlmede asukohad hoones on näidatud alloleval joonisel:



Joonis 4.6 Projekteeritud lahenduste asukohad vaatega sisehoovist

4.4.1 Põrand

Põranda renoveerimiseks peaks elanikud kodudest mõneks ajaks kogu oma mööbliga välja kolima, seega alati ei pruugi põranda renoveerimine üldse olla võimalik, kuid A energiatõhususklassi jaoks on see vajalik, seega on lõputöös eeldatud, et elanikel on siiski võimalus välja kolida. Kuna elanike üheks probleemiks on külmad põrandad, siis oleks parimaks lahenduseks põranda renoveerimisel paigaldada ka põrandaküte. See on soojuslikult mugavam kütteviis, sest põrandakütte vertikaalsuunaline temperatuurijaotus on ligilähedane ideaalsele. Samuti on põrandaküte hea lahendus kõikivate temperatuuridega aegadel, mida on kliimamuutuste tõttu Eestis üha rohkem.

Muinsuskaitse soov oleks säilitada laiad põrandalauad. Teaduskirjanduse põhjal on sellise hoone laudpõrandad 37 mm paksud. Põrandakütte toimivuse jaoks oleks vajalik väiksema soojustakistusega kihti ehk siis õhemat laudist. Kahjuks puudub ülevaade, kas ja kui mitmes korteris on algupärane põrandalaudis säilinud. Eeldatud on, et laudis ei ole säilinud ning projekteeritud lahenduseks on valitud põrand pinnasel, XPS soojustus koos 80 mm betooniga, kuhu saab paigaldada põrandakütte. Projekteeritud põranda soojuslähivus on $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

4.4.2 Räästa ja harja sõlmed

Räästa ja harja sõlmede joonised on leitavad Lisast 1-4. Katusekatteks on valitud valtsplekk, see võimaldab paigaldada Roofit päikesepaneelid ning vastab muinsuskaitse eritingimustele. Küll aga on tegemist käsitööga, seega on hind oluliseks kriteeriumiks elanikule. Siinkohal tuleks abiks standardi 16883 [18] meetodika, mida kasutades saaks hinnata valtspleki tähtsust ja mõju kõikidele osapooltele.

Räästaprofiilide säilimine on linnamiljöö säilimiseks nõutud. Selleks järgitakse sõlme lahendamisel algse räästakasti kaugust välisseina laudisest ning katuse välispinna projektsiooni kaugust välisseina laudisest ning räästakasti kõrgust maapinnast. Seetõttu saab vana hooneosa katusele soojustust paigaldada ligi 80% välisseinte soojustuse paksusest. Uue hooneosa katuse kalle on aga madalam, seega saaks sinna soojustust paigaldada vaid 10% välisseina soojustuse paksusest. See tähendaks välisseina 300 mm soojustamisel katuse soojustust vaid 30 mm, mis aga ei ole liginullenergiahoone puhul piisav. Soojustuse kihi suurendamiseks uue hooneosa katusel on siinkohal pakutud kolm lahendust:

1. Uue hooneosa katuseharja tõstmine vana hooneosa katuseharjaga samale kõrgusele. Muinsuskaitse eritingimustest selgub, et uuem hooneosa ei ole väga väärtuslik ning seda on mitmel korral ümber ehitatud. Praegu on vana hooneosa katusehari 450 mm kõrgemal uue hooneosa katuseharjast. Kui tuua

katuseharjad samale kõrgusele, ühtlustaks see linnamiljööd. Küll aga läheks paigast uuema hooneosa räästaprofiil. Seega lahendus vajaks jällegi läbirääkimisi osapoolte vahel.

2. Ehitada sarikad madalamaks. See aga eeldaks jõudude muutumist kandekonstruktsioonis. Hetkel toetuvad sarikad pärliinpostidele (mis omakorda toetuvad vahelaetaladele) ja allotstes vahelaetaladele/välisseinale. Seega madalamate sarikate puhul tekiks vahelaetaladele lisamoment. Kuna uue hooneosa katusele paigaldatakse lisakoormusena päikesepaneelid, on katusekonstruktsiooni arvutus ilmselt nagunii vajalik. Seega kui muud lahendust ei ole, võiks kaaluda katusekonstruktsiooni muutmist.
3. Paigaldada soojustus sarikate vahele. Õhu- ja aurutõke sarikate peale, soojustuse alla.

Töös on kasutatud varianti number 3. Aurutõkke paigaldus on näha graafiliselt Lisas 2, vaatel A-A.

Räästaprofiilide säilitamine on võimalik. Vana hooneosa rekonstrueerimislahenduse puhul on katusejoone projektsiooni kaugus välisseinast suurenenud vaid 15 mm ja räästakasti kaugus välisseinast vähenenud 5 mm. Räästa kõrgus maapinnast on jäänud samaks. Harja kõrgus suurenes ligi 170 mm võrra, kuid see oli ka eeldatud, sest katuse soojustus projekteeriti proportsionaalselt välisseinaga. Projekteeritud vanema hooneosa katuse soojusläbivus on $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Uue hooneosa räästa kõrgus maapinnast tõusis 34 mm ning räästakasti kaugus välisseinast jäi samaks. Katuse projektsiooni kaugus välisseinast suurenes 6 mm ning harja kõrgus kasvas ligi 130 mm. Siit tuleb ka välja, et hooneosade harjade kõrguste vahe suureneks sellist lahendust kasutades veelgi, seega võibolla saaks siinkohal harjade vahet ära kasutada, jätta ära kihiti soojustamised uuema hooneosa katusel ja tõsta soojustuse kiht sarikate peale aga jällegi oleks see läbirääkimiste küsimus. Projekteeritud uuema hooneosa katuse soojusläbivus on $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

4.4.3 Soklisõlm

Soklisõlme joonis on leitav Lisast 5. Soklisõlme puhul säilitatakse sokli eenduvus välisseina suhtes. Sokkel soojustatakse ning krohvatakse. Vundament kaetakse hüdroisolatsiooniga, et takistada niiskuse liikumist põrandasse ja välisseina. Kahjustunud palgid vahetatakse välja. Tuulutavad ehitatakse kinni. Veelaud kaetakse katteplekiga, et tagada kuiv keskkond konstruktsioonile. Maapinnal tagatakse kalle hoonest eemale.

4.4.4 Aknasõlm

Aknasõlm on leitav Lisast 6. Projekteeritakse kahekihilised aknad, mille välimine aken on puidust imitatsioonaken ning sisemine kolmekihiline pakettaken soojusläbivusega $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Välimine aken paigaldatakse tuuletõkke tasapinda ja sisemine aken paigaldatakse soojustuse tasapinda.

4.4.5 Välisseina ja katuse liitekoht

Joonis leitav Lisast 7. Projekteeritud välisseina soojusläbivus on $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Välisseina ja katuse liitekohas on oluline tihendada katusekate välisseinale, et sinna ei pääseks sadevesi. Katusekatte aluskate tuleb paigaldada ülekatttega välisseina tuuletõkkekihi peale.

4.5 Järeldused

IDA ICE ja „Rekonstrueeritava korterelamu ETA arvutustabeli“ võrdlusest saab järeldada, et KredEx'i arvutustabel on piisavalt täpne, et sellega esialgseid energiatõhususe arvutusi teostada üle kogu energiatõhususarvu klasside skaala. See on lihtsalt kasutatav, aga tuleb olla tähelepanelik, et kõik valikud oleksid korrektselt teostatud. Spetsialistile võiks see olla abiks erinevate renoveerimispakettide kiireks läbi arvutamiseks ja võrdluseks. Mittespetsialistile kasutamiseks tuleks kasutajaliidest natuke arendada. Küll aga on päikesepaneelide tootlikkuse osa tabelis lihtsustatud ning täpsema tulemuse saamiseks võiks kasutada PV Gis tööriista [47].

Energiatõhususklasside arvutuslahenduste võrdlusest on näha, et ahiküttega ei ole võimalik täita isegi olulise rekonstrueerimise nõuet (C energiatõhususarvu klassi). See ei ole tõhus, tänapäevane ega ka kasutajale mugav, küll aga on see siiani peamine kütmissviis vanades puitkorterelamutes kuna süsteem eksisteerib ja on odav. A energiatõhususklass on Kreutzwaldi 2 puhul võimalik saavutada kasutades soojusvarustuseks efektiivset kaugkütet, maasoojuspumpa või pelletikatelt, soojustades kõik piirdetarindid ning paigaldades soojustagastusega ventilatsioon. Puitelamute piirkonnas saaks abiks tulla kohalik omavalitsus, kes võiks kaaluda kaugküttetrasside laiendamist, et pakkuda elanikele võimalust valida parem soojusvarustuse lahendus, nagu on seda teinud Võru linnavalitsus. Enamasti asuvad vanad puitkorterelamud tihedalt üksteise kõrval väikestel kruntidel, mille tõttu on maasoojuspumba paigaldus võimatu, sest piisavalt maapinda horisontaalkollektori paigalduseks ei ole. Ka pelletikatel ei ole puitkorterelamusse kõige sobivam, sest enamasti on elamutes vaba ruumi vähe ja katlaruum ning pelletihoidla vajavad eraldi tuletõkkeseptsiooni. Õhk-vesi soojuspumpa kasutades on võimalik saavutada C

energiatõhususklass, kuid siis tuleks vältida soojuspumpade paiknemist miljöövärtuslikel fassaadidel ja tagada, et müra ei häiriks hoovisolijaid, A energiaklassi sellega aga ei saavutatud.

Arvutustulemused näitavad, et muinsuskaitse lisasoojustamist keelavate nõuetega praegusel kujul on puitkorterelamute liginullenergiahooneteks renoveerimine võimatu. Nõudega paigaldada maksimaalselt 7 cm välisseinasoojustust ei saavuta isegi B energiatõhususe klassi. See tähendaks aga elanikele fassaadi renoveerimisel endiselt kõrget küttekulu ning liialt suurt energiakasutust, mis ei lähe kokku kliimaeesmärkidega. Tuleb mõelda, kuidas sõnastada muinsuskaitse eritingimusi, et elanikud saaksid oma hooned energiatõhusaks renoveerida ja selle käigus toimuks ka vanade puitasumite säilitamine ning hooldus. Muinsuskaitse peaks määratlema hoone väljanägemise, võib nõuda fassaadi figuurikuju säilimist kuid soojustamist ei tohiks keelata.

Suurimaks mõttekohaks puitkorterelamu renoveerimisel on õhupidavuse tagamine. Õhu- ja aurutõke tuleb paigaldada soojustuse sisepinda, maksimaalselt 5 cm soojustuse sisse, et tagada tarindi niiskuslik toimivus. Puithoonetel on aga enamasti katusekonstruktsiooniks sarikad, mis ulatuvad välisseinast üle, seega kui soojustada pööningu vahelage, jäävad sarikad õhulekkekohtadeks. Et neid vältida, on välispiirdeks valitud katusetarind, et paigaldada õhutõke sarikate peale ning seega tagada õhupidavus. Küll aga tekib järgmine mõttekoht siis kui tegemist on väikse kaldega katusega, kuhu ei teki profiili säilimise nõuet järgides soojustamiseks ruumi. Selleks on magistritöös pakutud kolm võimalikku lahendust, lõplik otsus peaks aga kujunema kõikide osapoolte diskussiooni käigus.

Kreutzwaldi 2 asub tänavajoonest tagapool, kuid tihtipeale asuvad puitkorterelamud ühel sirgel tänavajoonel ning soojustada pole lubatud tänavajoone muutuse tõttu. Siinkohal võiks abiks tulla jällegi linnaosavalitsus, kes võiks projekteerimistingimused teha nii, et saaks soojustada. Üldiselt on näha olukorda, kus üks renoveerib, renoveerib ka naaber. Ehk siis mõne aastakümnega soojustaks kõik elanikud oma puitelamud ning siis oleks hooned jälle ühes rivis. Renoveeritakse vähemalt 50 aastaks, aga natuke paigast läinud tänavajoon oleks näha vaid mõneks aastaks kuni hooned saavad renoveeritud. Iga hoone on aga erinev ja tänaseks on väga paljud väärtuslikud algsed detailid hävinenud. Seega saaks hoonet terviklikult renoveerides taastada ka algsed arhitektuursed detailid.

Miljöövärtuslike hoonete renoveerimisel on vaja sõlmed väga täpselt läbi mõelda ja nagu käesolevas magistritöös näha, on võimalik üle 100 aasta vanust puitkorterelamut liginullenergiaklassi projekteerida, säilitades enam-vähem hoone profiilid ning

soojustades piirdetarindeid normaalses paksuses. Välisseina soojustuse paksus valitud lahenduse puhul oleks 150 mm, vana hooneosa katusel 150 mm, uue hooneosa katusel 190 mm ning põrandal 100 mm, sellega saavutatakse B energiatõhususklass. Lisades juurde optimaalselt paiknevate päikesepaneelide elektritoodangu ligi 40 000 kWh/a, saavutatakse energiatõhusarvuks 54 kWh/(m²*a). Sellisel juhul väheneks pea kogu elektrienergia tarbimine, sest seda toodetakse lokaalselt ning kütteenergia tarbimine standardkasutusel väheneks ligi 74%.

5 KOKKUVÕTE

Magistritöö esimeseks eesmärgiks oli võrrelda netokütteenenergia vajadust dünaamilise modelleerimise ja „Korterelamu rekonstrueerimise ETA arvutustabeli“ vahel. Võrdlusest selgus, et vahe on alla 5%, seega sobib arvutustabel energiaarvutusteks.

Teiseks eesmärgiks oli A energiatõhususklassi saavutamise kriteeriumid F. R. Kreuzwaldi 2 tänaval asuva muinsuskaitse all oleva puitkorterelamu jaoks näidates ära valimisprotsessi ja vahepealsed tulemused ning võrrelda algset energiakulu projekteeritud lahendustega. Selleks uuriti ja mõõdeti hoone tarindeid, koostati mudel, tehti päikesepaneelide analüüs. Kogutud info põhjal koostati piirdetarindite lahendused ning arvutati 20 versiooni piirdetarindite soojustuse vajalikud paksused esialgu C klassi piiridesse, millest langes välja ahikütte lahendus. Edasi oli energiatõhususe eesmärgiks B klass soojustades välisseinu 7 cm, mis on tüüpne muinsuskaitse eritingimus taoliste hoonete puhul. Arvutused aga näitasid, et sellist eesmärki on pea võimatu täita. C klassist edasi pääsenud variatsioonide piirdetarindite vajalikud soojustuse paksused arvutati järgmiseks B klassi, kuid sõlmedes tuli järgida profiilide säilimise nõuet. Selle versiooni puhul jäid sobivaks maakütte, efektiivse kaugkütte ja pelletikatla kütteviisiga variandid ning renoveeritud põranda ja soojustagastusega ventilatsiooniga variandid. Sobivaimaks lahenduseks magistritöö raames valiti kaugküttel renoveeritud põranda ja soojustagastusega ventilatsiooniga ning optimaalselt paigaldatud päikesepaneelidega variant 3, mille energiatõhususarvuks on $54 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Koostati ka kaks lisaversiooni, mis on kasulikud teistele sarnastele muinsuskaitse all olevatele puitkorterelamutele.

Arvutati välja ka algne energiakasutus, nii KEK kui ka ETA, mida võrreldi kõikide ETA variantide kütte- ja elektrikuludega. Valitud A klassi lahendusega saavutatakse väga suur energiasääst, ligi 100% elektrienergiast ning ligi 74% kütteenegiast.

Valitud lahendusele projekteeriti ehituslikult toimivad räästa ja harja sõlmed, sokli sõlm, akna sõlm, katuse ja välisseina liitekoht, mis oleks heaks näiteks sarnastele puitkorterelamutele, kus soovitakse samuti renoveerimisel saavutada energiakulude kokkuhoidu. Projekteerimise põhimõtte vanade muinsuskaitse all olevate puitkorterelamute puhul oleks sõlmeprofiilide säilitamine, mis sai edukalt teostatud. Projekteeritud profiilid erinesid algsest vaid maksimaalselt 5 cm võrra. Kuna Muinsuskaitseamet lubab üldjuhul hoonet soojustada viie kuni seitsme sentimeetri jagu, sest see on silmale vähe eristatav, siis profiilide muutus 5 cm võrra oleks igati vastuvõetav. Selliselt muinsuskaitse all olevaid hooned projekteerides saaks elanikud parema sisekliima ja väiksemad küttearved, säiliks linnamiljöo ning väheneks energiatarbimine. Seega täidetud said kõik lõputöös seatud eesmärgid.

6 SUMMARY IN ENGLISH

The first objective of this master thesis was a comparison of net energy consumption results from a dynamic simulation model with a simplified energy performance calculation table called „Korterelamu rekonstrueerimise ETA arvutustabel“. The results showed a difference of less than 5%. Therefore, the simplified table is verified for the energy performance calculations.

The second objective was calculating A energy performance class criteria and solutions for a wooden apartment building under heritage protection, located at F. R. Kreutzwaldi 2, Võru, also to show the steps towards reaching the A class and to calculate the difference between initial energy usage and the calculated solutions. For this, the building was measured, a 3D model was drawn and a solar energy analysis was performed. Based on gathered information, solutions for the building envelope have been thought out and 20 varied calculations to reach C energy efficiency class were performed to show the thickness of the needed insulation layers for the variations. The next 20 calculation variations were done with a goal to reach B class with only 70 mm of insulation in the wall, which very often is a requirement by the heritage bureau. The calculations show that this goal is nearly impossible to reach. The next block of variations were calculated for B energy class but with maintaining the profiles of the connecting building envelope details. For this, heating options of effective district heating, geothermal heating, pellets and the renovated floor were found to reach the goal. The most appropriate solution was found to be the option 3 with district heating, renovated floor, heat recovery ventilation and optimally placed solar panels, with an energy performance of 54 kWh/(m²*y). Furthermore, two extra variations have been calculated which could be suitable for similar heritage buildings.

Initial primary energy consumption has also been calculated and compared with all the calculated results. With the chosen A class solution a saving of 100% on electrical energy and 74% on heating energy would be possible.

The third objective was to design building envelope connection solutions for the chosen energy performance calculation. The main idea for the heritage wooden apartment buildings being to keep the profiles of the connections, which has been done successfully. The designed connection profiles were only maximum 5 cm different from the initial profiles. The heritage bureau normally allows 5-7 cm of wall insulation as this is not very visible for human eye, therefore the 5 cm difference in profiles is considered a success. Renovating historical wooden apartment buildings in such a way, the inhabitants would gain a better indoor climate and smaller energy bills, the historical city milieu would be preserved and energy consumption would decrease. All the set goals for this thesis were completed.

7 KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Riigi Teataja, „Muinsuskaitse seadus“, 2019.
<https://www.riigiteataja.ee/akt/119032019013> (vaadatud okt 08, 2022).
- [2] Riigikogu, „Ehitusseadustik“. 2015. Vaadatud: okt 09, 2022. [Online]. Available:
<https://www.riigiteataja.ee/akt/105032015001>
- [3] M. Ciucci, „Energiatõhusus“, okt 2021.
<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/et/sheet/69/energiatohusus> (vaadatud okt 02, 2022).
- [4] MKM, „Energiamaajanduse arengukava aastani 2030“, 2016.
<https://www.mkm.ee/energeetika-ja-maavarad/energiatohusus/energiatohusus> (vaadatud okt 02, 2022).
- [5] Vikerraadio, „Reedene intervjuu. Merilin Pärli ja Mart Kalm“. <https://vikerraadio.err.ee/1608761152/reedene-intervjuu-merilin-parli-ja-mart-kalm> (vaadatud dets 15, 2022).
- [6] M. Hiob ja N. Nutt, „Supilinna teemaplaneeringu muinsuskaitse ERITINGIMUSED“, 2010.
https://www.tartu.ee/yldplaneering2030/Lisa_10_Supilinna_muinsuskaitse_eritingimused_kehtiv.pdf (vaadatud okt 09, 2022).
- [7] R. Sild, „F. R. Kreutzwaldi tn 52 Muinsuskaitse eritingimused“, 2020.
<https://register.muinas.ee/public.php?menuID=heritage&action=view&id=866> (vaadatud okt 09, 2022).
- [8] R. Sild, „Oru 13 Muinsuskaitse eritingimused“, 2021.
<https://register.muinas.ee/public.php?menuID=heritage&action=view&id=5591> (vaadatud okt 09, 2022).
- [9] E. Arumägi ja T. Kalamees, „Analysis of energy economic renovation for historic wooden apartment buildings in cold climates“, *Appl Energy*, kd 115, lk 540–548, veebr 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2013.10.041.
- [10] Muinsuskaitseamet, „Vana maja soojustamisest“. https://www.muinsuskaitseamet.ee/et/uudised/vana-maja-soojustamisest?fbclid=IwAR2eokKcpGU6gBLxBfynpSaVzTQ_7M6IHjKDP1LdyKceIgl1dL-izFSDGod0 (vaadatud nov 18, 2022).
- [11] T. Kalamees, „Eesti Korterühistute XXIII Foorum: Korterelamute elemendipõhine rekonstrueerimine – uued tehnilised lahendused“, 2020. https://www.ekyl.ee/wp-content/uploads/Foorum2020_Kalamees.pdf (vaadatud okt 03, 2022).
- [12] T. Kalamees *et al.*, „Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga“, 2011. Vaadatud: okt 02, 2022. [Online]. Available: <https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Eesti%20eluasemefondi%20puitkorterelamute%20ehitustehniline%20seisukord%20ning%20prognoositav%20eluiga.pdf>
- [13] E. Arumägi, T. Kalamees, ja U. Kallavus, „Sisekliimatingimused ja niiskukoormused ajaloolistes puitkorterelamutes“, *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, kd 64, nr 2, lk 146–156, 2015, doi: 10.3176/proc.2015.2.03.
- [14] H. M. Cho, B. Y. Yun, Y. U. Kim, H. Yuk, ja S. Kim, „Integrated retrofit solutions for improving the energy performance of historic buildings through energy technology suitability analyses: Retrofit plan of wooden truss and masonry composite structure in Korea in the 1920s“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, kd 168, 2022, doi: 10.1016/j.rser.2022.112800.

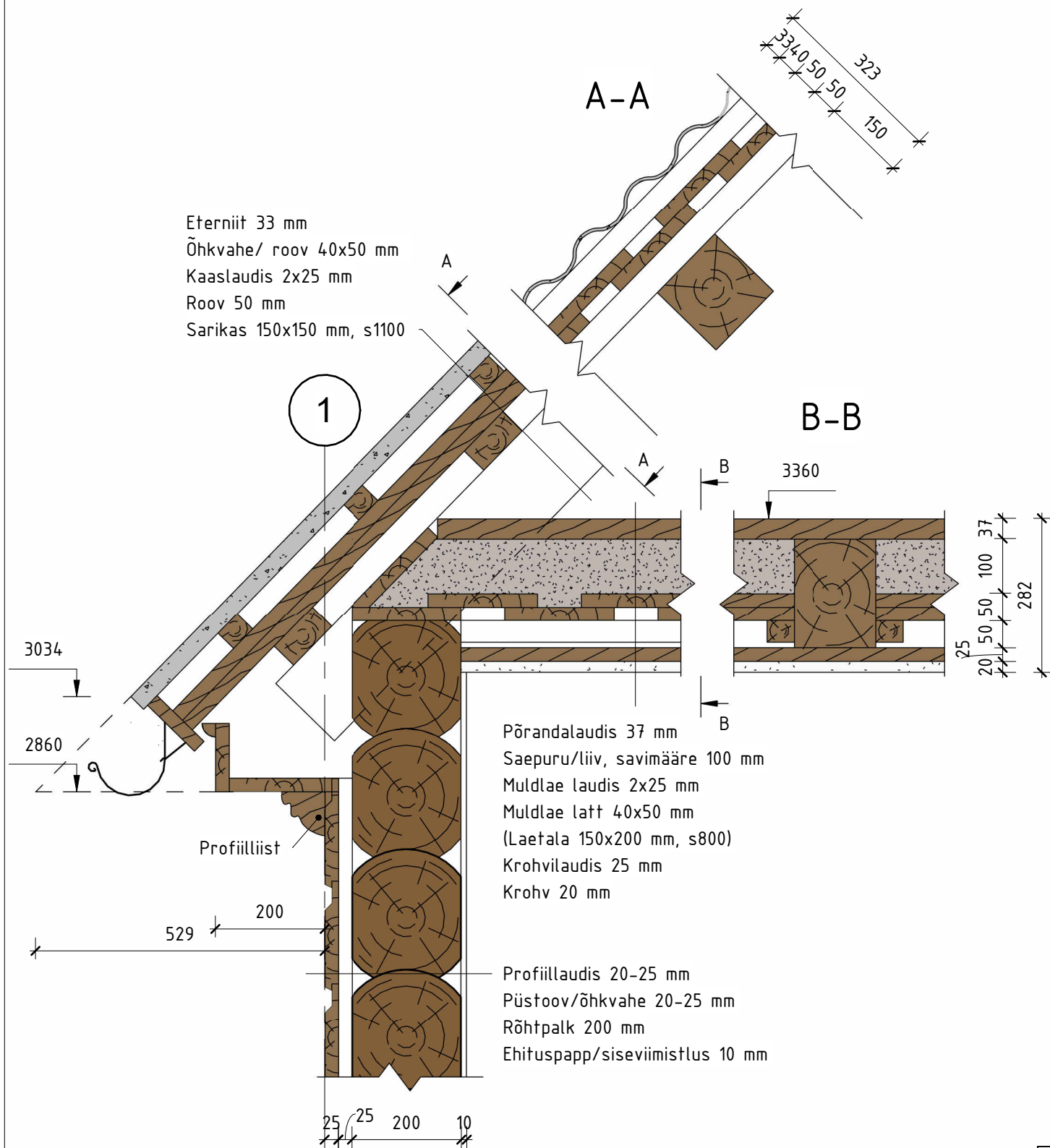
- [15] B. D. Hrynyszyn ja Z. Tian, „Solutions for retrofitting existing, wooden houses in cold climates“, *E3S Web of Conferences*, 2020, kd 172. doi: 10.1051/e3sconf/202017218010.
- [16] „OPPTRE - Energy upgrading of wooden dwellings to nearly zero energy level“, 2020. <https://opptre.no/english/> (vaadatud okt 08, 2022).
- [17] R. Moschetti, B. Time, L. Gullbrekken, V. Heide, L. Georges, ja A. G. Lien, „Analysing energy upgrading projects of single-family houses towards a Norwegian nZEB level“, *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, kd 2069, nr 1. doi: 10.1088/1742-6596/2069/1/012112.
- [18] „EVS-EN 16883:2017 Conservation of cultural heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic buildings“. 2017. Vaadatud: nov 09, 2022. [Online]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-en-16883-2017>
- [19] G. L. Leijonhufvud, A. Buda, ja T. Broström, „Assessing and enhancing EN 16883:2017“, *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, kd 863, nr 1, lk 012033, okt 2021, doi: 10.1088/1755-1315/863/1/012033.
- [20] „Historic Building Energy Retrofit Atlas“. <https://www.hiberatlas.com/en/welcome-1.html> (vaadatud nov 16, 2022).
- [21] K. S. Murillo Camacho, K. Fouseki, ja H. Altamirano Medina, „Decision-Making Processes of Residents in Preservation, Thermal Comfort, and Energy Efficiency in Heritage Buildings: A Pilot Study in Mexico City“, *Applied Sciences*, kd 12, nr 3, lk 1486, jaan 2022, doi: 10.3390/app12031486.
- [22] N. Ginks ja B. Painter, „Energy retrofit interventions in historic buildings: Exploring guidance and attitudes of conservation professionals to slim double glazing in the UK“, *Energy Build*, kd 149, lk 391–399, aug 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.05.039.
- [23] E. Arumägi, „Renovation of Historic Wooden Apartment Buildings ENDRIK ARUMÄGI THESIS ON CIVIL ENGINEERING F57“, 2015.
- [24] Muinsuskaitseamet, „Puitmaja seinte tihendamise ja soojustamine“, 2011. <https://www.muinsuskaitseamet.ee/et/kasiraamat/puitmaja-seinte-tihendamise-ja-soojustamine> (vaadatud okt 03, 2022).
- [25] E. Arumägi, S. Ilomets, T. Kalamees, ja T. Tuisk, „Field Study of Hygrothermal Performance of Log Wall with Internal Thermal Insulation“, 2011.
- [26] E. Arumägi, M. Pihlak, ja T. Kalamees, „Reliability of interior thermal insulation as a retrofit measure in historic wooden apartment buildings in cold climate.“, *Energy Procedia*, nov 2015, kd 78, lk 871–876. doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.010.
- [27] Ü. Alev, „Renovation and Energy Performance Improvement of Estonian Wooden Rural Houses ÜLLAR ALEV THESIS ON CIVIL ENGINEERING F65“, 2017.
- [28] K. Kuusk, *Integrated Cost-Optimal Renovation of Apartment Buildings toward Nearly Zero-Energy Buildings THESIS ON CIVIL ENGINEERING F56*. 2015.
- [29] G. Nair, L. Verde, ja T. Olofsson, „A Review on Technical Challenges and Possibilities on Energy Efficient Retrofit Measures in Heritage Buildings“, *Energies (Basel)*, kd 15, nr 20, lk 7472, okt 2022, doi: 10.3390/en15207472.
- [30] A. Homb ja S. Uvslökk, „PROJECT NO 3D1110 Energy efficient windows with cultural value“, 2012.
- [31] L. Ide, M. Gutland, S. Bucking, ja M. Santana Quintero, „Balancing Trade-offs between Deep Energy Retrofits and Heritage Conservation: A Methodology and Case Study“, *International Journal of Architectural Heritage*, kd 16, nr 1, lk 97–116, jaan 2022, doi: 10.1080/15583058.2020.1753261.
- [32] S. A. Moghaddam, M. Mattsson, A. Ameen, J. Akander, M. Gameiro Da Silva, ja N. Simões, „Low-Emissivity Window Films as an Energy Retrofit Option for a

- Historical Stone Building in Cold Climate“, *Energies (Basel)*, kd 14, nr 22, lk 7584, nov 2021, doi: 10.3390/en14227584.
- [33] „Võru vanalinna muinsuskaitseala põhimäärus“, 2006.
<https://www.riigiteataja.ee/akt/995667> (vaadatud okt 03, 2022).
- [34] L. Jürgenson, *Elamuehitus I*. 1949.
- [35] A. Veski, *Individuaalelamute ehitamine*. 1969.
- [36] MTM, „Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele“. <https://www.riigiteataja.ee/akt/106052015002> (vaadatud nov 29, 2022).
- [37] MKM, „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded“. 2018. Vaadatud: okt 04, 2022. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/113122018014>
- [38] MKM, „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika“, 2015. <https://www.riigiteataja.ee/akt/107072020012> (vaadatud okt 08, 2022).
- [39] EVS, „EVS 908-1:2016 Hoone piirdetarindi soojuslähivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire“. 2016.
- [40] EVS, „EVS-EN ISO 6946:2017 Hoonete piirdetarindid ja komponendid. Soojustakistus ja soojuslähivus. Arvutusmeetodid“. 2017.
- [41] KredEx, „Rekonstrueerimistoetus 2020 - dokumendid“. <https://kredex.ee/et/teenused/ku-ja-kov/rekonstrueerimistoetus-2020#dokumendid> (vaadatud okt 04, 2022).
- [42] „IDA Indoor Climate and Energy“. <https://www.equa.se/en/ida-ice> (vaadatud okt 04, 2022).
- [43] Kredex, „Kraadpäevad“, Vaadatud: nov 29, 2022. [Online]. Available: <https://kredex.ee/et/energiatohusus-uuringud-ja-andmed/kraadpaevad>
- [44] Kredex, „Korterelamute energiaauditite koostamise juhend“. <https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Korterelamute%20energiaauditite%20koostamise%20juhend.pdf> (vaadatud nov 29, 2022).
- [45] „JinkoSolar koduleht“. <https://jinkosolar.eu/> (vaadatud nov 09, 2022).
- [46] „Roofit koduleht“. <https://roofit.solar/et/paikesepaneelidest-katus/paikesepaneelid/> (vaadatud nov 09, 2022).
- [47] European Commission, „PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM“. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ (vaadatud okt 08, 2022).
- [48] Kredex, „LIGINULLENERGIA ELUHOONED RIDA- JA KORTERELAMUD“. https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Liginullenergia_eluhooned_Rida_ja_korterelamu_juhend.pdf (vaadatud nov 22, 2022).
- [49] „Haapsalu uksetehas - dokumendid“. <https://www.uksetehas.ee/dokumendid-ja-juhendid/> (vaadatud dets 11, 2022).
- [50] T. Masso, *Ehitusfüüsika ABC*. 2012.
- [51] Soome Ehitusinseneride Liit RIL, *RIL 107-2012 Ehitiste vee- ja niiskuskaitse juhend*.
- [52] T. Kalamees, Ü. Alev, E. Arumägi, S. Ilomets, A. Just, ja U. Kallavus, *Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I Uuringu I etapi lõpparuanne*. 2011.
- [53] „Võru linna leht - september 2022“. Vaadatud: dets 11, 2022. [Online]. Available: https://www.voru.ee/documents/9602039/33412995/V%C3%B5ru_linna_leht_0922_veeb.pdf/eec339cd-43d5-460a-a2c1-63bc2b0d6488
- [54] L. Lihtmaa, „Korterelamute renoveerimistoetuste meetme arendus – Lõpparuanne. Tartu Regiooni Energiaagentuur “, 2018.

- [55] „Üleriigiline uuring elamute kasutusest väljalangevusest ja tühjenemise muustritest - lõppraport“, 2022. https://eehitus.ee/wp-content/uploads/2022/04/Tuhjenemise-mustrid_lopprapprt_2022_compressed.pdf (vaadatud dets 15, 2022).

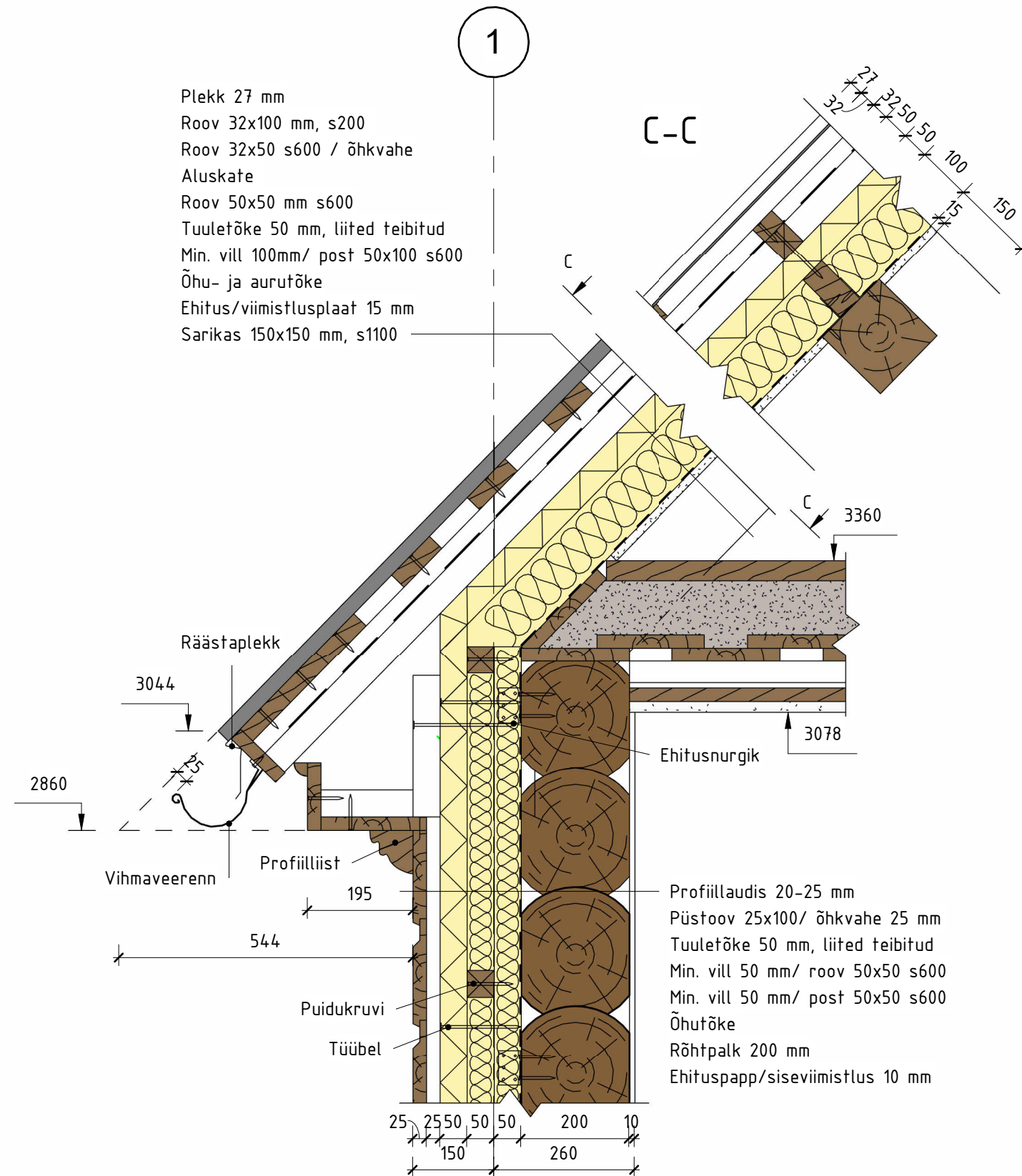
Vana hooneosa algne räästa sõlm

1 : 10



Vana hooneosa renoveeritud räästa sõlm

1 : 10



Märkused

- Tuuletõke $\lambda \leq 0,031 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- Mineraalvill $\lambda \leq 0,032 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- Postid kinnitada tsingitud nurgikute ja nurgikukruvidega, roovid tsingitud puidukruvidega
- Puidu kvaliteediklass $\geq B$, kuivatatud $< 16\%$
- Sarika otsad lõigata palkseina välisküljeni, vajadusel lisakinnitus sarika ja palgi vahele

**TAL
TECH**

"A" energiatõhususarvu klassi lahendused
üle 100 aasta vanustele
puitkorterelamutele - magistritöö

Vana hooneosa räästa sõlm

Aadress F.R.Kreutzwaldi 2, Võru
Kuupäev 04/01/2023
Autor A. Evard
Juhendaja T. Kalamees

LISA 1

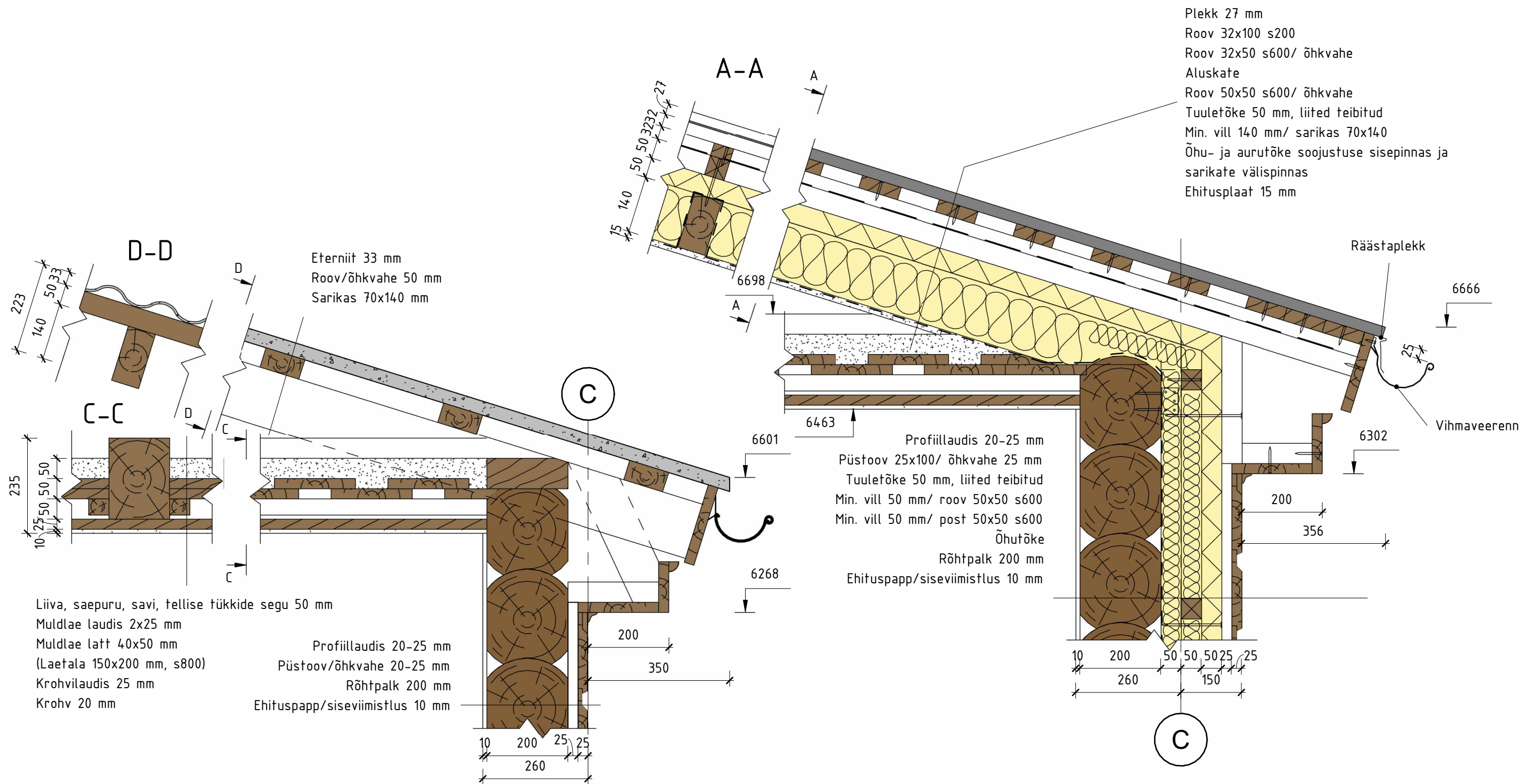
Möötkava 1 : 10

Uue hooneosa algne räästa sõlm

1 : 10

Uue hooneosa renoveeritud räästa sõlm

1 : 10



Märkused

- Tuuletõke $\lambda \leq 0,031 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- Mineraalvill $\lambda \leq 0,032 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- Postid kinnitada tsingitud nurgikute ja nurgikukruvidega, roovid tsingitud puidukruvidega
- Puidu kvaliteediklass $\geq B$, kuivatatud $< 16\%$
- Auru- ja õhutõke katusel paigaldada sarikate peale, sarikate külgedelt sissepoole liikudes, liitekohad teipida
- Sarika otsad lõigata palgi välistasapinda, vajadusel lisakinnitus sarika ja palgi vahele

**TAL
TECH**

"A" energiatõhususarvu klassi lahendused
üle 100 aasta vanustele
puitkorterelamutele - magistritöö

Uue hooneosa räästa sõlm

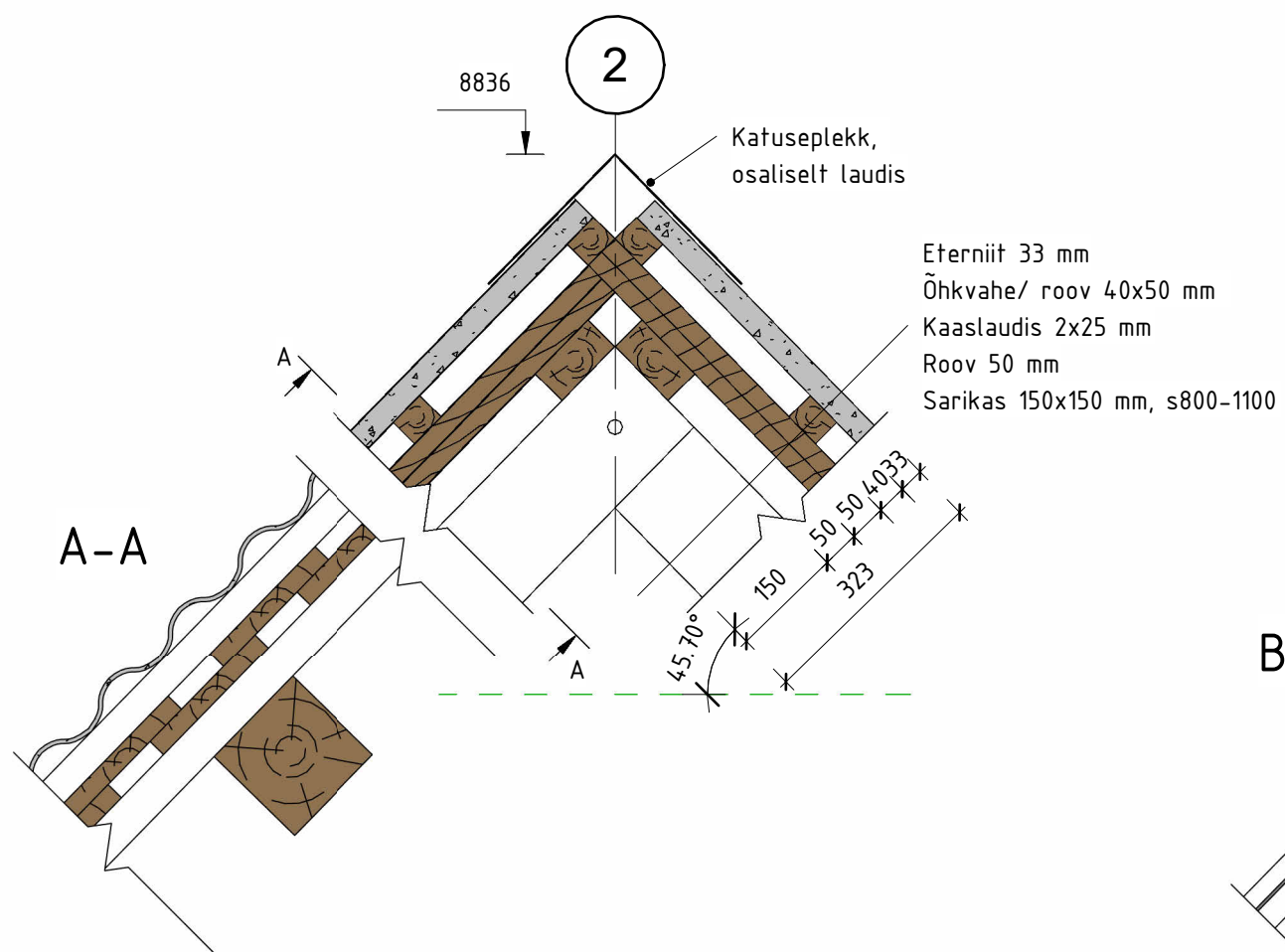
Aadress	F.R.Kreutzwaldi 2, Võru
Kuupäev	04/01/2023
Autor	A. Evard
Juhendaja	T. Kalamees

LISA 2

Möötkava 1 : 10

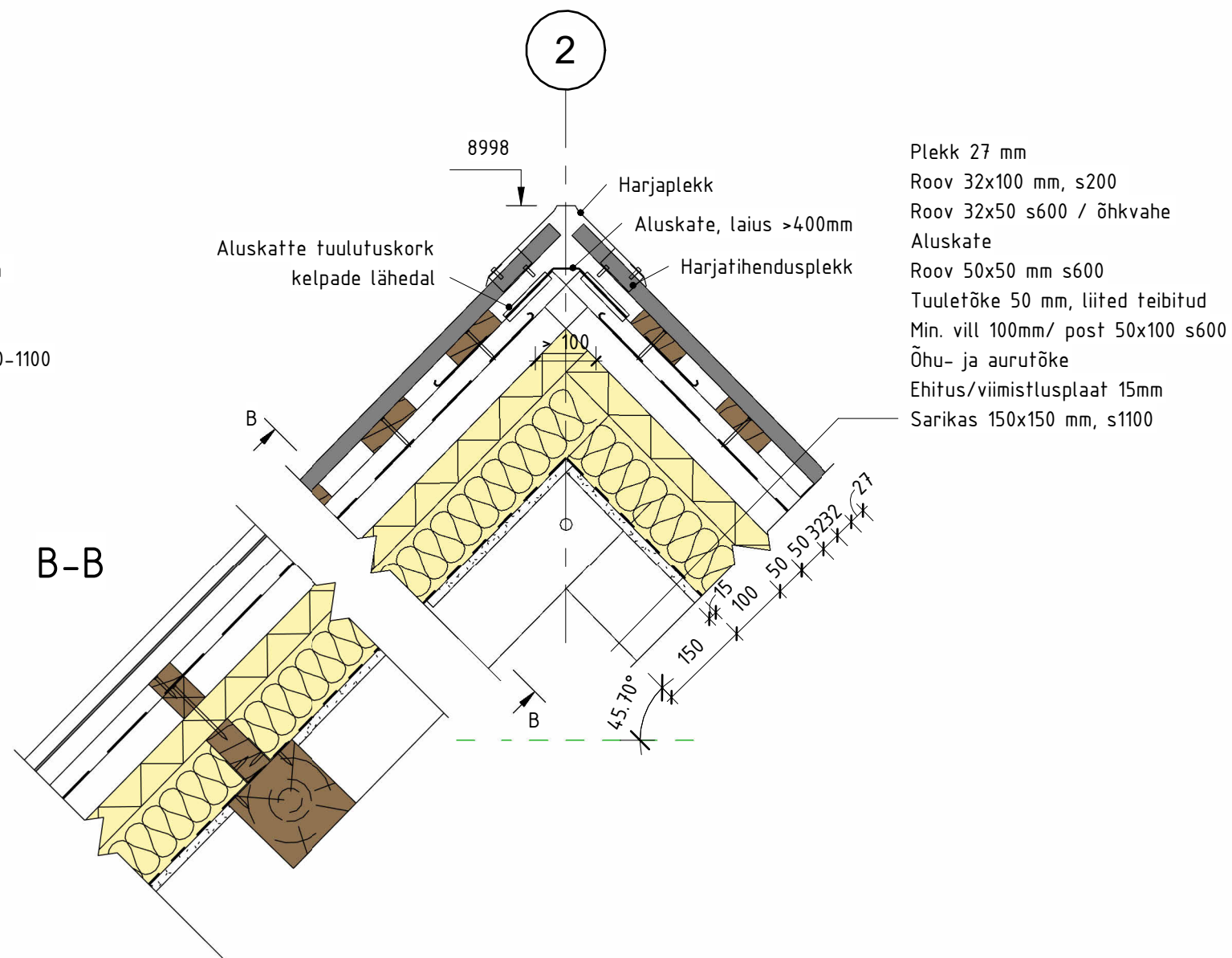
Vana hooneosa algne harja sõlm

1 : 10



Vana hooneosa renoveeritud harja sõlm

1 : 10



Märkused

- Tuuletõke $\lambda \leq 0,031 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- Mineraalvill $\lambda \leq 0,032 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- Postid kinnitada tsingitud nurgikute ja nurgikukruvidega, roovid tsingitud puidukruvidega
- Puidu kvaliteediklass $\geq B$, kuivatatud $< 16\%$

**TAL
TECH**

"A" energiatõhususarvu klassi lahendused
üle 100 aasta vanustele
puitkorterelamutele - magistritöö

Vana hooneosa harja sõlm

Aadress	F.R.Kreutzwaldi 2, Võru
Kuupäev	04/01/2023
Autor	A. Evard
Juhendaja	T. Kalamees

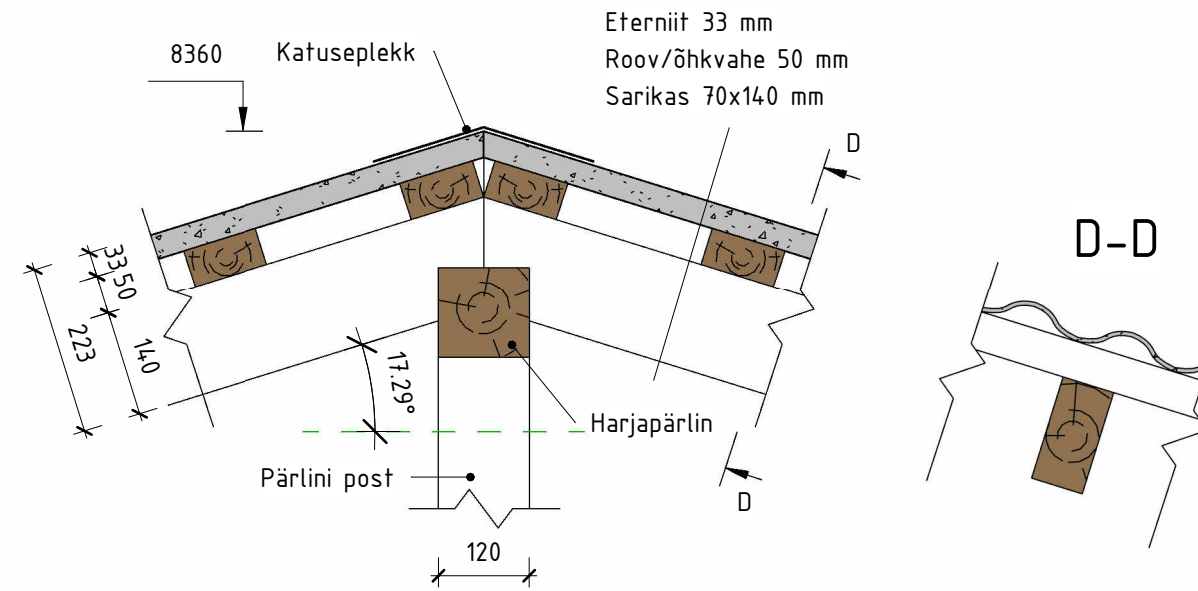
LISA 3

Möötkava

1 : 10

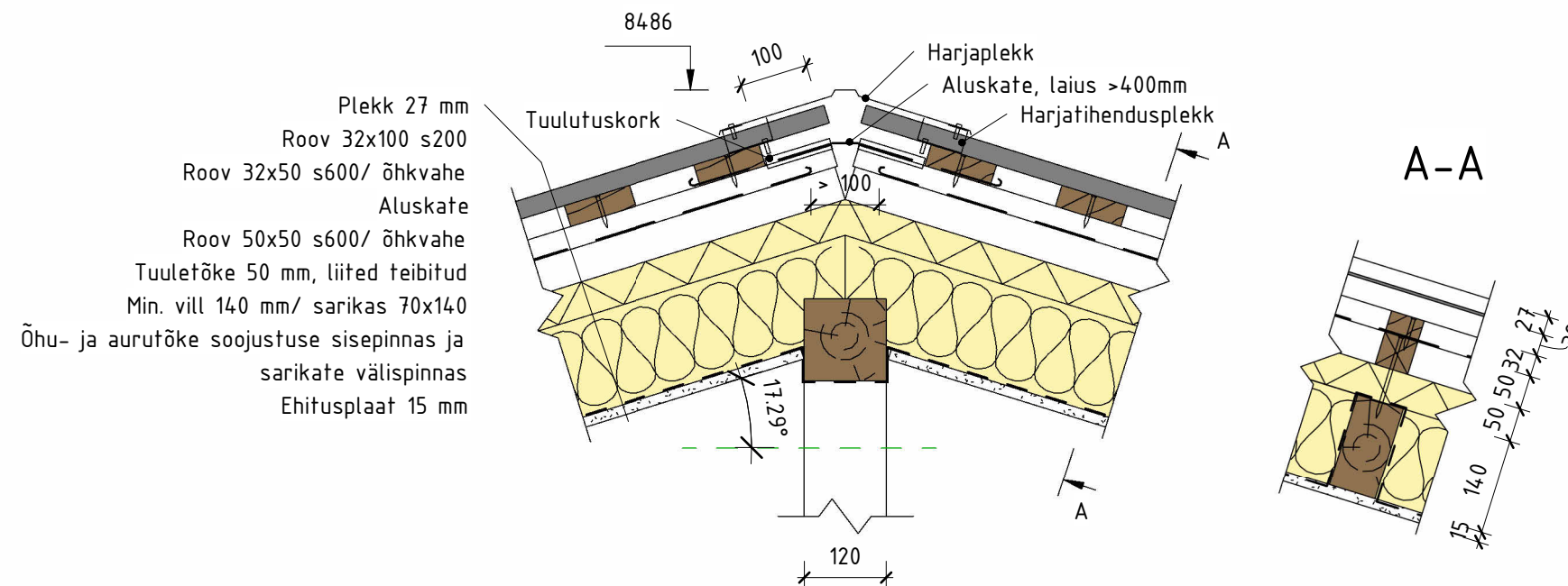
Uue hooneosa algne harja sõlm

1 : 10



Uue hooneosa renoveeritud harja sõlm

1 : 10



Märkused

- Tuuletõke $\lambda \leq 0,031 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- Mineraalvill $\lambda \leq 0,032 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- Roovid kinnitada tšingitud puidukruvidega
- Puidu kvaliteediklass $\geq B$, kuivatatud $< 16\%$

**TAL
TECH**

"A" energiatõhususarvu klassi lahendused
üle 100 aasta vanustele
puitkorterelamutele - magistritöö

Uue hooneosa harja sõlm

Aadress	F.R.Kreutzwaldi 2, Võru
Kuupäev	04/01/2023
Autor	A. Evard
Juhendaja	T. Kalamees

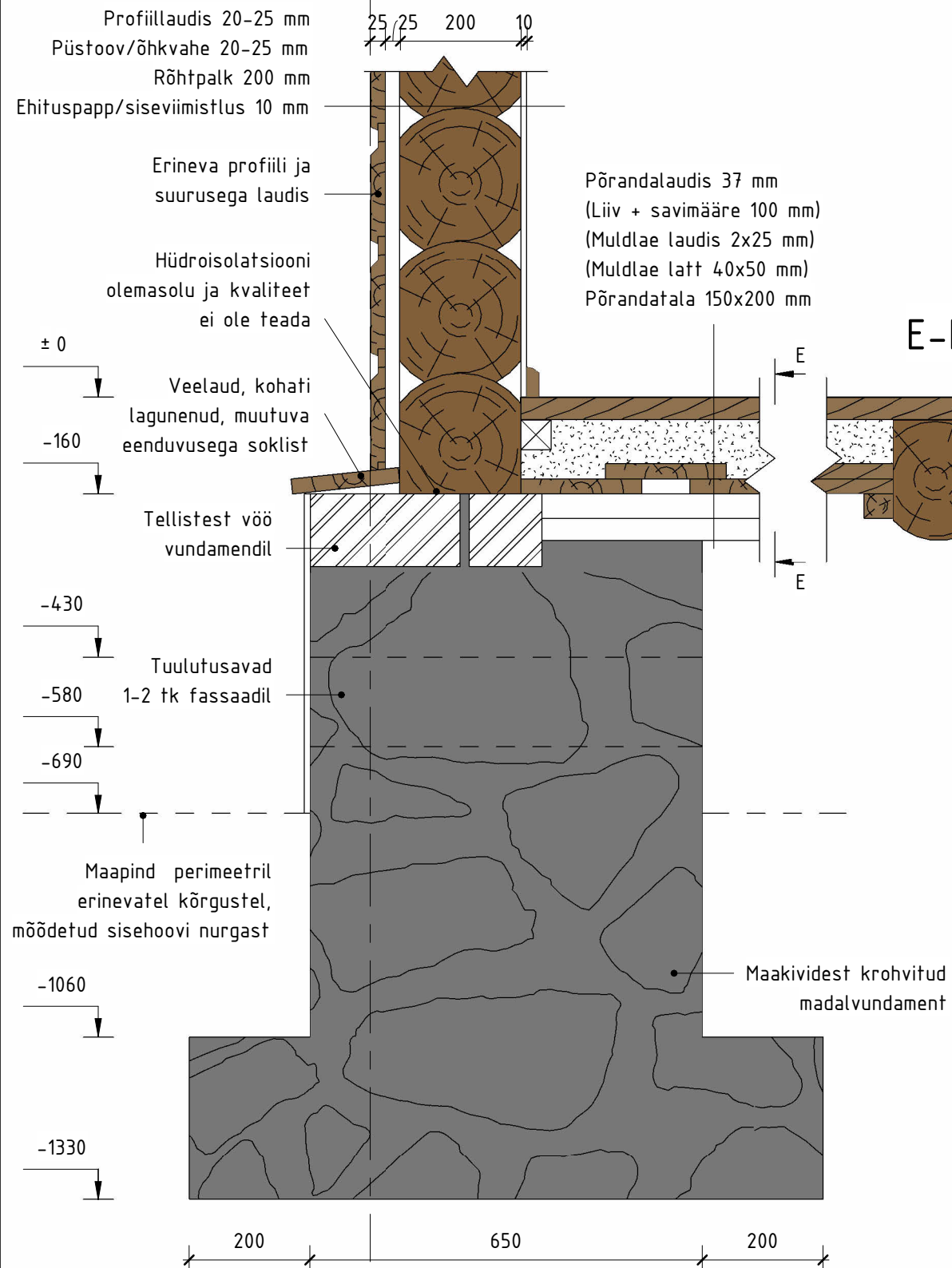
LISA 4

Möötkava 1 : 10

1

Algne sokli sõlm

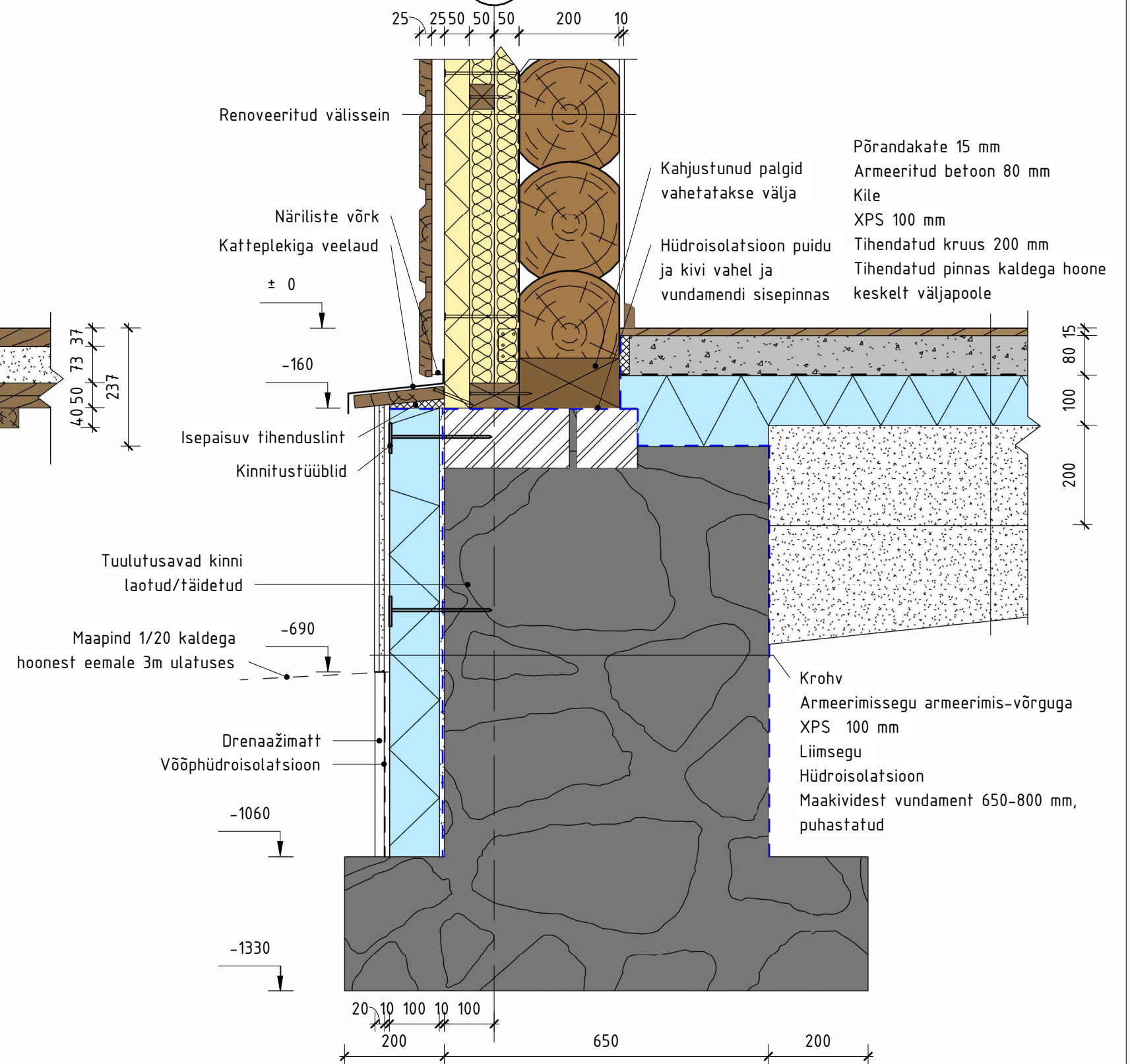
1 : 10



1

Renoveeritud sokli sõlm

1 : 10



Märkused

- XPS/EPS: soojusjuhtivus $\lambda \leq 0,04$ W/(m*K), veeaurerijuhtivus $\delta_p = 6E-12$ kg/(m*s*Pa), veeimavus <3%, survepinge 10% def korral ≥ 60 kPa

TAL
TECH

"A" energiatõhususarvu klassi lahendused üle 100 aasta vanustele puitkorterelamutele - magistritöö

Sokli sõlm

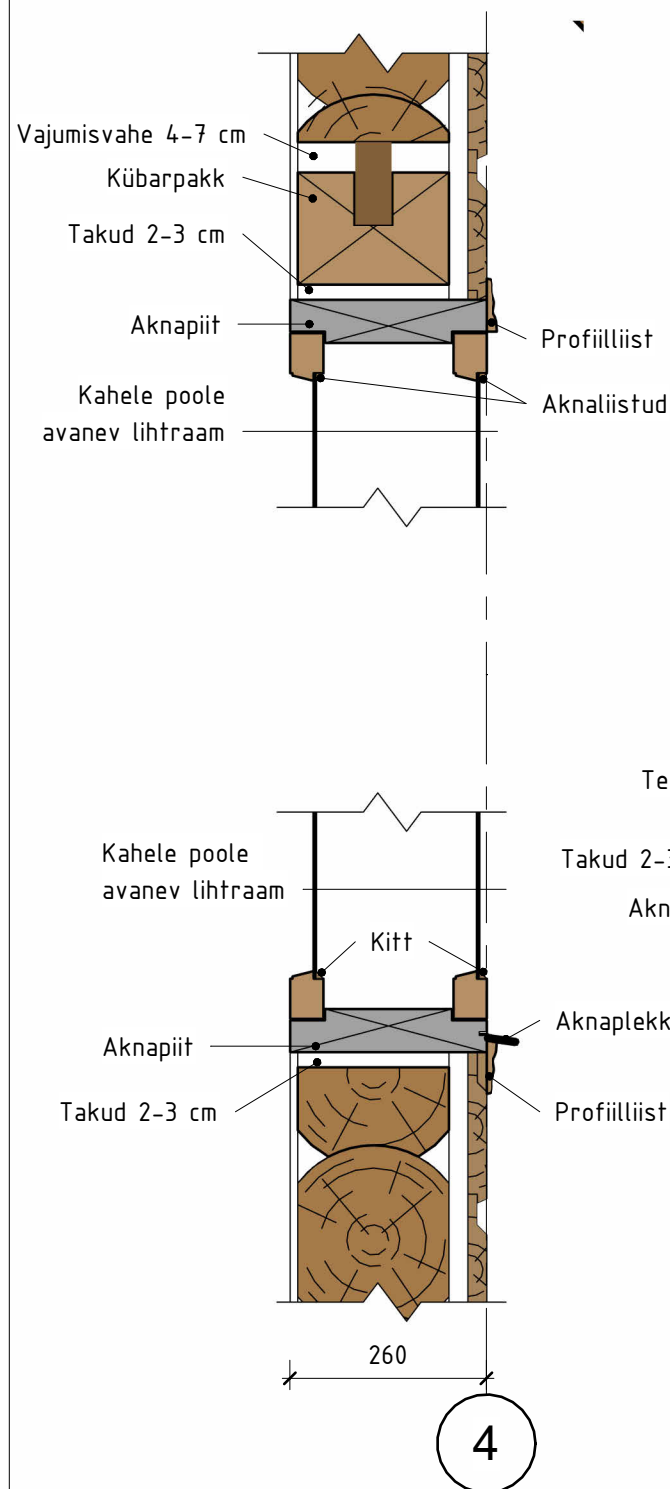
Aadress	F.R.Kreutzwaldi 2, Võru
Kuupäev	04/01/2023
Autor	A. Evard
Juhendaja	T. Kalamees

LISA 5

Mõõtkava 1 : 10

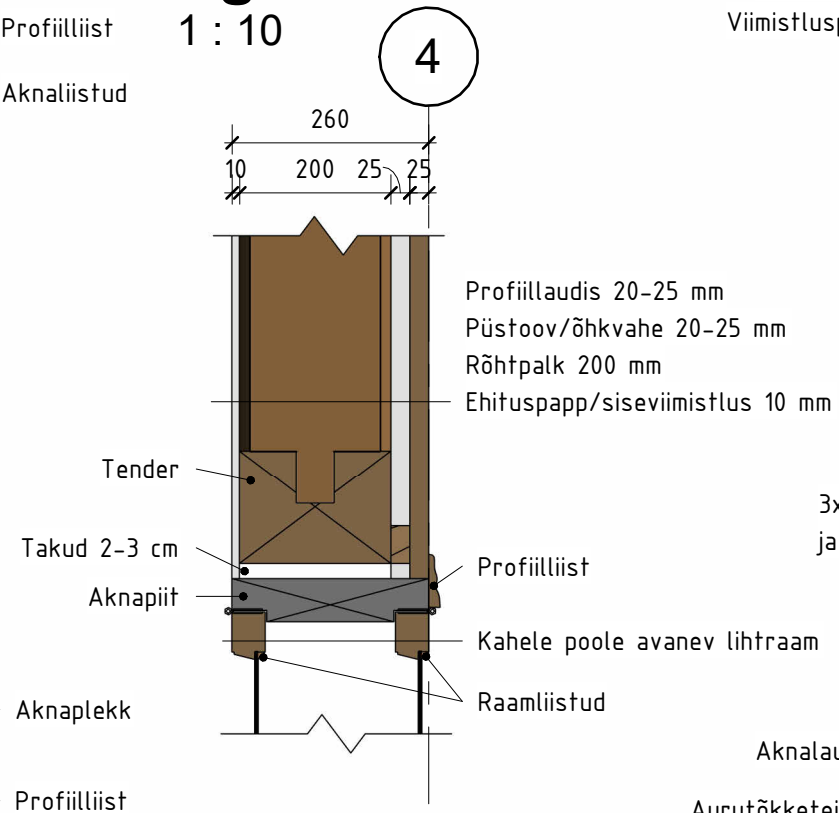
Akna vertikaallõige, algne

1 : 10



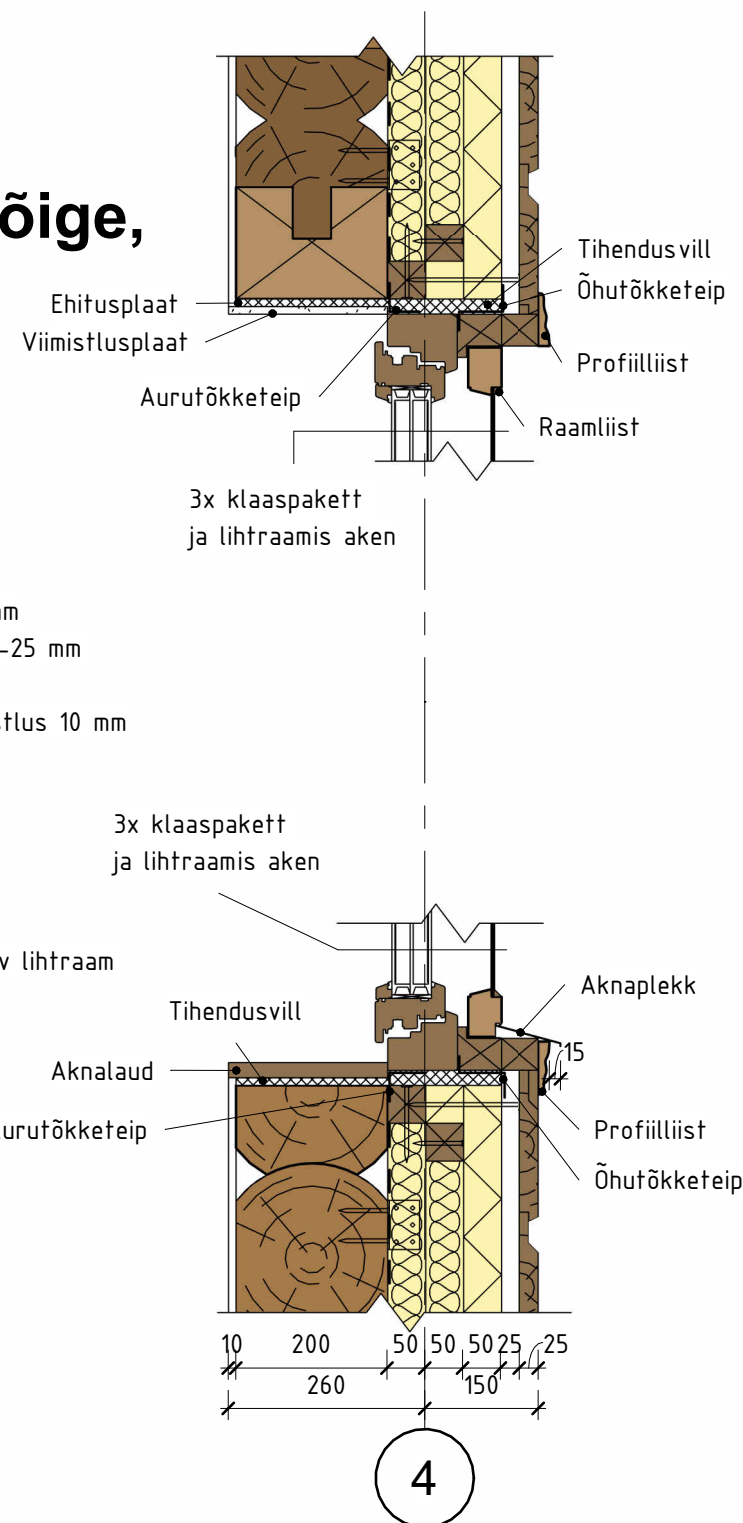
Akna horisontaallõige, algne

1 : 10



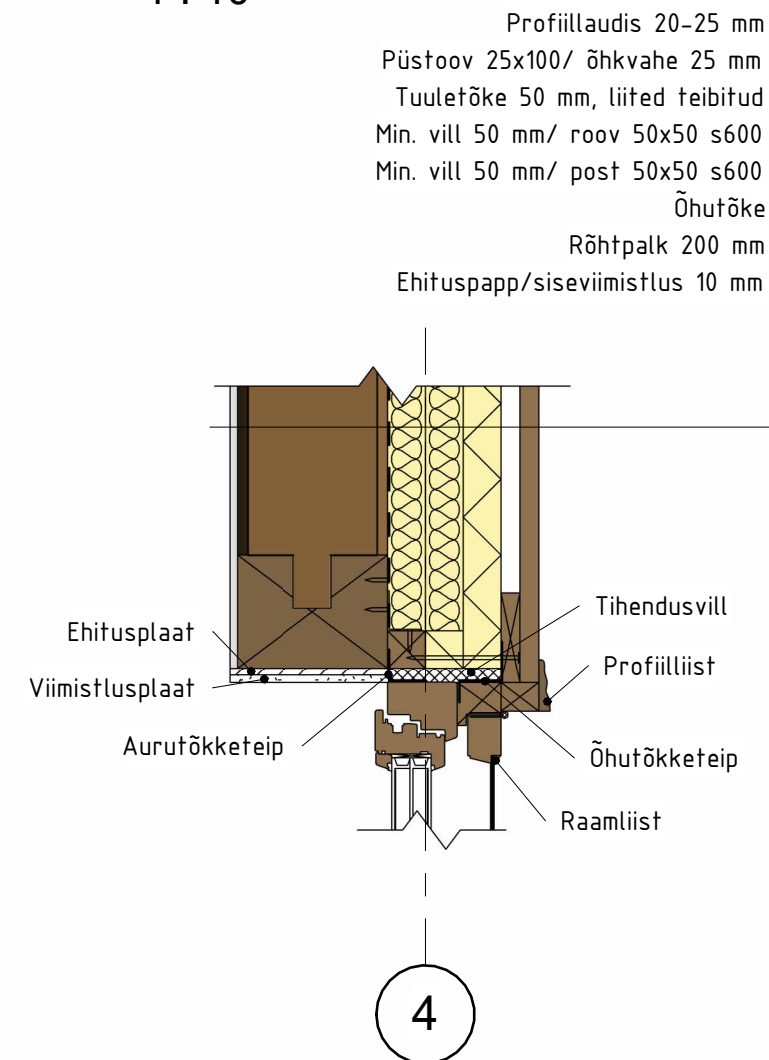
Akna vertikaallõige, renoveeritud

1 : 10



Akna horisontaallõige, renoveeritud

1 : 10



Märkused

- Tuuletõke $\lambda \leq 0,031 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- Mineraalvill $\lambda \leq 0,032 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- Postid kinnitada tsingitud nurgikute ja nurgikukruvidega, roovid tsingitud puidukruvidega
- Puidu kvaliteediklass $\geq B$, kuivatatud $< 16\%$

**TAL
TECH**

"A" energiatõhususarvu klassi lahendused üle 100 aasta vanustele puitkorterelamutele - magistritöö

Akna sõlm

Aadress	F.R.Kreutzwaldi 2, Võru
Kuupäev	04/01/2023
Autor	A. Evard
Juhendaja	T. Kalamees

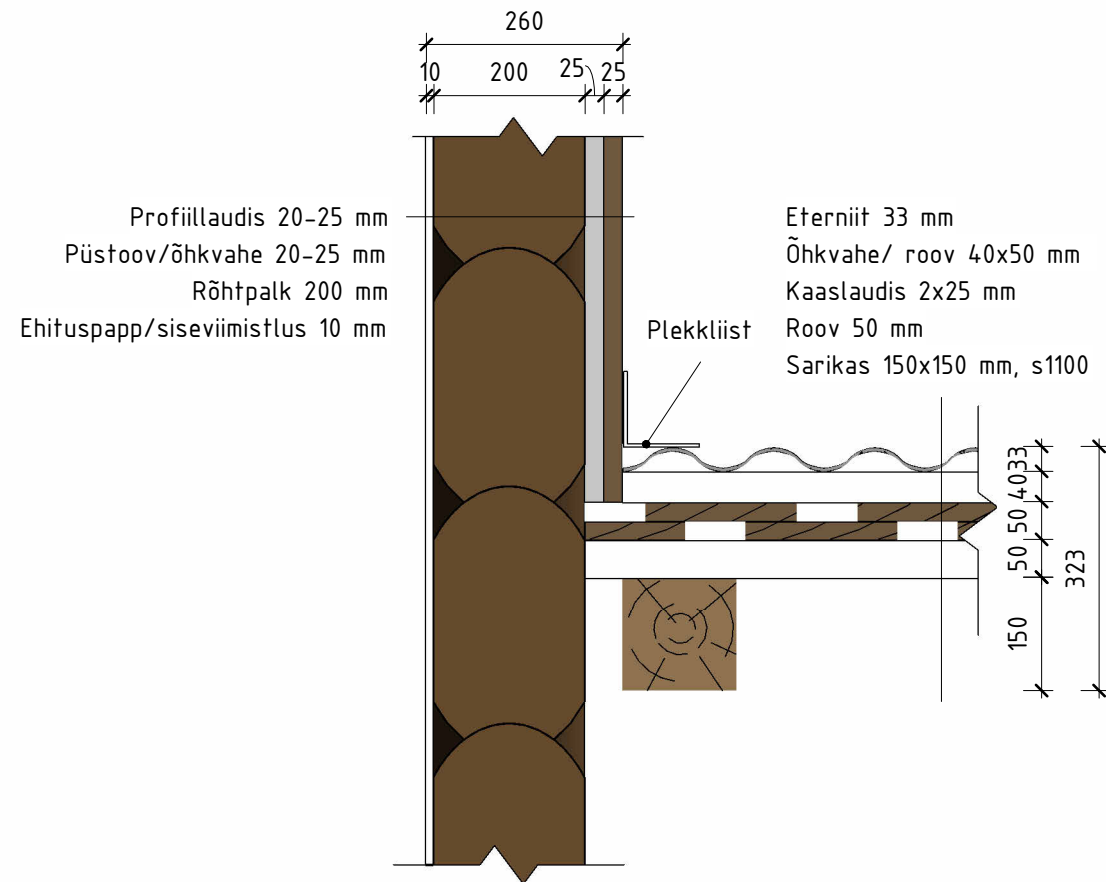
LISA 6

Möötkava

1 : 10

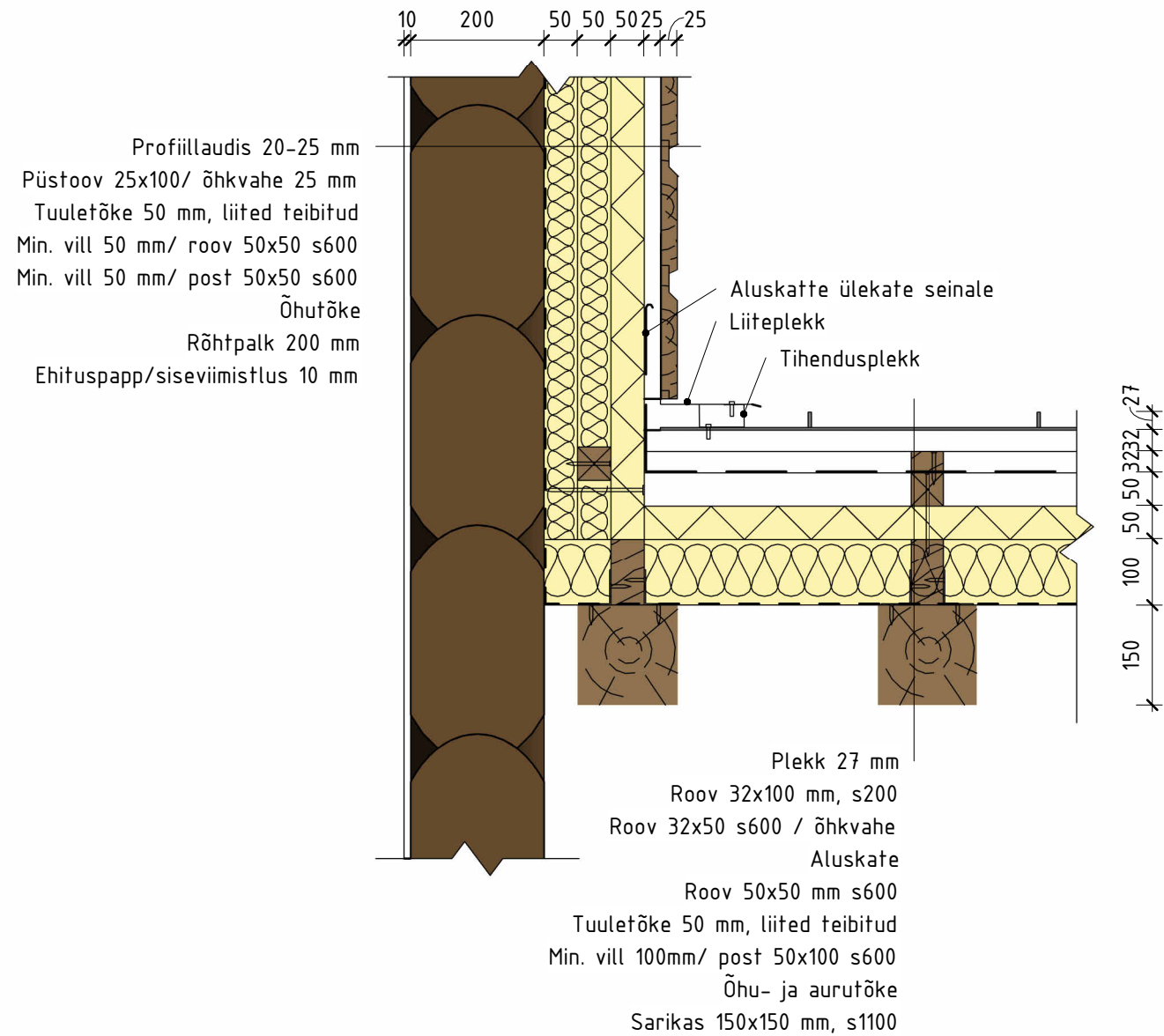
Välisseina ja katuse liitekoht, algne

1 : 10



Välisseina ja katuse liitekoht, renoveeritud

1 : 10



Märkused

- Tuuletõke $\lambda \leq 0,031 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- Mineraalvill $\lambda \leq 0,032 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- Postid kinnitada tsingitud nurgikute ja nurgikukruvidega, roovid tsingitud puidukruvidega
- Puidu kvaliteediklass $\geq B$, kuivatatud $< 16\%$

**TAL
TECH**

"A" energiatõhususarvu klassi lahendused
üle 100 aasta vanustele
puitkorterelamutele - magistritöö

Välisseina ja katuse liitekoht

Aadress	F.R.Kreutzwaldi 2, Võru
Kuupäev	04/01/2023
Autor	A. Evard
Juhendaja	T. Kalamees

LISA 7

Möötkava 1 : 10

LISA 8

Väljavõtte Muinsuskaitse erinõuetest Kreutzwaldi 2, Võru.

Väärtuslikud detailid ja tarindid

1. varasema hooneosa maht ja välisilme, avade asetus fassaadil;
2. katuseräästa ja harja proportsioon, räästakarniis;
3. vanemat tüüpi u 20 cm lai laudis;
4. vanema hoonemahu Roosi tänava poolse vintskapi viiluaken;
5. algupärased siseuksed koos hingede ja käepidemetega (3 ust vanema hoonemahu katusekorruse korteris);
6. laiad põrandalauad;
7. keldri silindervõlv;
8. keldrisse viiv tellistest trepp.

Muinsuskaitse eritingimused

1. Kreutzwaldi 2 eksterjäär

- 1.1. Säilitada hoone (sh katuseräästa ja -harja) proportsioonid.
- 1.2. Heas seisukorras katusetarind on mõistlik säilitada, vahetades vajadusel välja kahjustatud osad. Katuse soojustuse võib paigaldada sarikate peale proportsionaalselt välisseintega, tingimusel et taastatakse algupärane räästakast, räästaprofiil ja katusekuju.
- 1.3. Säilitada räästakarniis. Ehitustööde käigus tuleb räästakarniis ettevaatlikult eemaldada, restaureerida ja hiljem tagasi oma kohale paigaldada. Puuduvad karniisi osad valmistada algupärase koopiana puidust.
- 1.4. Katusekatteks kavandada keraamiline kivi või käsitsi valtsitud tsingitud terasplekk.

Vanemal hoonemahul on eelistatud katusekattematerjaliks keraamiline kivi.
- 1.5. Katusekattele paigaldatavad päikesepaneelid on lubatud hilisema hoonemahu katuse

hoovipoolsele küljele. Päikesepaneelid tuleb paigaldada võimalikult terviklike pindadena. Tänavapoolisel küljel päikesepaneelide paigaldamine lubatud ei ole. Hoonel tervikuna on lubatud kasutada katusekattesse integreeritud päikeseelementidega lahendusi.

1.6. Katuseaknad on soovitatav eemaldada. Katuseaknad on lubatud asendada kummalgi

pool vintskappi paikneva kaarja katuseuugiga tingimusel, et uugi seinad kavandatakse

ajastuomaselt õhukesed.

1.7. Säilitada korstnad. Korstnapitsidele ajastukohasema välisilme andmiseks tuleb korstnad krohvida ja lubjata valgeks. Korstnapitside uuesti ladumisel kasutada keraamilisi telliseid ja lähtuda ajastukohasest profiilist (vt Lisa 3, 4 ja 5 (lõige)), kus

korstnapitsi alumine osa on laiem.

1.8. Täiendavad katusest välja ulatuvad ventilatsioonikorstnad tuleb lahendada terviklikult

ja ajaloolise katusemaastikuga sobivalt.

1.9. Säilitada olemasolev vihmaveesüsteem või asendada olemasolevast lähtuvaga.

1.10. Tööde käigus ilmnenud kahjustatud seinakonstruktsiooni osad proteesida või asendada kvaliteetse sama tüüpi puitmaterjaliga.

1.11. Hoone seinu on lubatud soojustada A-klassi energiatõhususklassi saavutamiseks vajalikul määral, taastades hoone algupärased proportsioonid (sh katusepinna tõstmise soojustuse võrra, räästakasti taastamine, akende nihutamine seinavälispinda, vajadusel sisenurga akende nihutamine).

1.12. Hilisema hoonemahu madala ja kõrgema osa vahel olev sisselõige 1. korrusel on lubatud 1. korruse mahus kinni ehitada.

1.13. Seintele on kinnitatud õhksoojuspumbad tuleb fassaaditööde käigus eemaldada

ja paigaldada maapinnale, varjestades need hoonega sobivalt. Küttesüsteemi muutmisel on õhksoojuspumbad soovitatav eemaldada.

1.14. Lai rõhtlaudis tuleb eemaldada ettevaatlikult ja maksimaalselt taaskasutada vanema hoonemahu fassaadi viimistlemisel. Puudu jääv laudis asendada laia laudise

eeskujul valmistatud mõõtmete ja võimalikult sarnase profiiliga puitlaudisega.

1.15. Akende ja uste piirdeliistude ning nurgalaudade kavandamisel võtta eeskju sama ajastu hoonetelt Võru vanalinnas (nt Jüri tn 33 hoone akende ja uste piirdeliistud).

1.16. Akende vahetamisel tuleb võimalusel taastada akende algupärane piklikum kuju. Akende vahetamisel kavandada uute akende välimine raam ajastukohase jaotusega, kus alumised kaks raamiosa on jaotatud horisontaalsete prosspulkadega kaheks ja ülemine valgmiikuosa on jaotatud vertikaalse prosspulgaga kaheks. Vanema

hoonemahu otsaviilu aknad kavandada kuuese ruudujaotusega ja kahes võrdses osas

avanevana. Välimised raamid peavad avanema väljapoole. Sisemisel raamil ei ole prosspulgajaotus vajalik, raamid võivad olla kolmese ja otsaviilu aknad kahese jaotusega. Sisemisele raamile võib paigaldada pakettklaasi. Vanema hoonemahu Roosi tänava poolse vintskapi viiluaken tuleb restaureerida, lisada võib sisemise raami. Kõigi akende välimised raamid viimistleda linaõlivärviga ja klaasid kittida linaõlilitiga.

1.17. Vanema hoonemahu kagupoolse välisukse taastamisel võtta eeskju sama ajastu hoonetelt Võru vanalinnas (nt Kreutzwaldi tn 31, Karja tn 26 kahetiibsed valgmiikega välisüksed). Ühetiibsed eeskodade ja hoovikülje välisüksed kavandada tahvelustena, soovitavalt valgmiikaknaga ülaosas. Uste kohale võib kavandada ajastukohased metallist kanduritel konsoolsed varikatused.

1.18. Fassaadi laudis, fassaadi detailid, aknad ja välisüksed viimistleda linaõlivärviga.

1.19. Sokli võib soojustada seintega proportsionaalselt, taastades algupärase eenduvuse seina suhtes. Soklile paigaldada puidust veelaud. Veelauda mitte katta plekiga.

1.20. Vanema hoonemahu otsaseinas olevad kaks treppi on lubatud ühendada.
Uued

trepid kavandada betoonist, ajastukohaste profileeritud astmeninadega.

1.21. Rõdu kavandamine hilisema hoonemahu madalama osa katusele on lubatud.

Rõdu piire kavandada puidust. Ühe akna asemele on lubatud kavandada klaasitud ülaosaga puidust tahveluks. Madalam hooneosa on lubatud taastada rohkete akendega, kuna see on varem olnud veranda.

1.22. Rõdu kavandamine vanema hoonemahu otsaküljele ei ole lubatud.

1.23. Keldri sissepääsu ümberehitamine on vajadusel lubatud, säilitades tellistest trepi ja tagades selle kaitse ilmastiku eest.

2. Kreutzwaldi 2 interjäär

2.1. Ruumiplaneeringut on lubatud muuta.

2.2. Säilitada tahveluksed koos hingede ja käepidemetega.

2.3. Säilitada laiad põrandalauad.

2.4. Soovitavalt säilitada puidust trepid.

2.5. Säilitada keldri silindervõlv ja tellistest trepp.

2.6. Lubatud on seinte seestpoolt soojustamine, et vähendada välisseintele paigaldatava

soojustuskihi paksust.

2.7. Soovitavalt kasutada interjääris traditsioonilisi ehitus- ja viimistlusmaterjale (puitlaudis, lubikrohv, liimvärvid, linaõlivärv, pabertapeet jms).