

TARTU ÜLIKOOLI VILJANDI KULTUURIAKADEEMIA

Pärandtehnoloogia õppekava

rahvuslik ehitus

Kermo Aasmäe

**„Renoveeritava käsitöö rõhtpalkhoone kasutusotstarbe muutmine suvilast
aasta läbi elatavaks hooneks“**

Lõputöö

Juhendaja(d): Tarmo Tammekivi, MA

Targo Kalamees, PhD

Viljandi 2023

Resümee

„Renoveeritava käsitöö rõhtpalkhoone kasutusotstarbe muutmine suvilast aasta läbi elatavaks hooneks“

Käesoleva lõputöö eesmärk oli leida asjakohased välispiirde sõmlahendused renoveeritava käsitöö rõhtpalkhoone renoveerimisele, arvestades energiatõhusust, renoveerimise maksumust ning elukaare kulusid. Samuti antakse sisend, kuidas võiks leitud sõmlahendustele süsiniku jalajälje arvutamine välja näha. Lõputöö annab vastused järgmistele uurimisküsimustele:

- Milliste looduslike ehitusmaterjalide ja soojusallikate kombinatsioonina oleks võimalik saavutada B-energiatõhususarvu klass?
- Milline lahendus on optimaalseim arvestades kogu elukaare kulusid?

Uurimistöö metoodika põhineb kirjanduse analüüsil, viies läbi struktureerimata intervjuusid eriala ekspertidega ja autori enda töö (vaatlused, arvutused, mõõtmised, projekteerimine). Töö tulemusena selgus, et hoone energiatõhusust mõjutavad suuremal määral tehnosüsteemid (soojusallikas, ventilatsioon) kui välispiirde tarindite soojuslähivus. Samuti tuli välja, et ahiküttega ei ole võimalik täita eramu energiatõhususe miinimumnõudeid. Tulemusena loodi ka sisend, kuidas antud lahenditel oleks võimalik arvutada CO₂ jalajälje suurust, et suurem energiatõhusus läbi suurema sisendinvesteeringu renoveerimisse oleks ka keskkonnasõbralik ehk võimalikult väikese CO₂ jalajäljega.

Võtmesõnad: energiatõhusus, käsitöö, palkmaja, elukaare kulud, tervikrenoveerimine.

Abstract

„Changing the function of an old handcrafted loghouse from a summerhouse to a year-round residential building.“

The purpose of this thesis is to find the best renovation project for the external borders of a old handcrafted log house considering energy efficiency, renovation costs and fixed building costs. There is also an input how it is theoretically possible to calculate the carbon footprint of the given solutions. This thesis will find answers to the following questions:

- Which natural building materials and heating devices could be combined to achieve energy efficiency class B?
- Which solution is the most optimal considering the whole life cycle costs?

Research methodology is based on the analysis of literature, unstructured interviews with experts in the field and authors work (observations, calculations, designing). As a result of the thesis, it appeared that the biggest influence on the energy efficiency of a building is more dependent on technical building systems (heating devices, ventilation) than on the thermal transmittance of the buildings external borders. It also appeared that a furnace as a heating device is not able to achieve the minimum energy efficiency requirements of a private residence. Last result of the thesis was an input on how the calculation process of the carbon footprint should be done by the opinion of the author that the greater energy efficiency through bigger input investment would be environmentally sustainable.

Keywords: energy efficiency, handicraft, log house, life cycle costs, complete renovation

Sisukord

Sissejuhatus	6
1. Uurimismetoodika.....	8
1.1 Tööprotsessi ülesehitus	9
1.2 Esialgse olukorra kirjeldus	12
1.3 Energiatõhususarvu kujunemine. Arvväärtuste kujunemise kirjeldus.	12
2. Sõlmlahendused	18
2.1 Alumise palgi ja vundamendi sõlm.....	18
2.2 Põrandasõlm	21
2.3 Lae ja seina sõlm	25
2.4 Avatäited	30
3. Tehnosüsteemid.....	37
3.1 Ahiküte + õhksoojuspump	38
3.2 Vesikeskküte	39
3.3 Ventilatsioon	44
4. Renoveerimismaksumus ja ülalpidamiskulud	49
4.1 Renoveerimismaksumus.....	49
4.1.1 Fassaad	49
4.1.2 Vahelagi	56
4.1.3 Põrand.....	59
4.1.4 Avatäited	64
4.2 Ülalpidamiskulud	65

4.3 Järeldused	79
Kokkuvõte	83
Kasutatud allikad	85

Sissejuhatus

Käesolev lõputöö käsitleb renoveeritava käsitöö rõhtpalkhoone kasutusotstarbe muutmist suvilast aasta ringi elatavaks hooneks. Algne tausta loomine toimus 2022. aasta kevadel, mil valmis autori seminaritöö „Käsitööpalkmaja energiatõhususe parima võimaliku energiaklassi saavutamine Kolga talu rehielamu näitel“. Selle raames koguti materjali, tehes struktureerimata intervjuusid erialaekspertidega, samuti analüüsid kirjanlust, dokumenteerides tööprotsessi ning tehes kohtvaatlusi. Antud uurimuse liigiks on teoreetiline uurimus, mis oli kõige efektiivsem analüüsimaks kogutud infot ning aitas selle järgi teha järeldusi sõlmede jooniste, energiaklasside määratlemistega. Samuti sai selle järgi teha ka plaanitavate tööde eelarvestuse lähtudes välja pakutavatest sõlmedest ning selgitada välja ülalpidamiskulude hinnanguline suurusjärk tulevikus.

Autori seminaritööle tegi retsensiooni Targo Kalamees ning sellest sai selgeks, et antud formaadis ei saa lõputöös edasi minna. Kuna seminaritöö sai tehtud Eesti Vabaõhumuuseumi ühe väärrikama hoone kohta, siis ei tundunud turvaline teha just sellest hoonest n-ö prototüüp, kuidas sarnaseid hooneid renoveerida. Samuti oli retsensendi tagasiside järgne:
„Uurimisküsimusele, kuidas vana palkmaja ajakohastada uutele standarditele sobivaks nii, et säiliks nende ainulaadne arhitektuurne olemus ja välisilme, tasuks vastust otsida (algatuseks) pigem vähem ambitsioonika hoone puhul.“

Autori esialgne plaan käesoleva uurimistööga oli kajastada ka süsinikujalajälje arvutust, et oleks võimalik teada saada, kas suurem sisendinvesteering renoveerimisse oleks uuritud sõmlahenduste puhul ka keskkonnasõbralik. Kuna aga autor ei teadnud, kui suurt sisendenergiat on vaja, et praeguste tulemusteni jõuda, antakse sisend, kuidas see võiks teoreetiliselt välja näha. Renoveerimislahenduste energiatõhususarvu leidmise jaoks kasutati Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi poolt tellitud lihtsustatud väikeelamu energiatõhususarvu kalkulaatorit. Renoveerimismaksumus kujunes eriala ekspertidega tehtud struktureerimata intervjuudel ning autori praktilisel kogemusel. Küttekuludeks arvestati lähtuvalt 2023 küttekulud.

Uurimisküsimused

Milliste looduslike ehitusmaterjalide ja soojusallikate kombinatsioonina oleks võimalik saavutada B-energiatõhususarvu klass?

Milline lahendus on optimaalseim arvestades kogu elukaare kulusid?

Uurimisprobleem

Millised on parimad välispiirete sõmlahendused vana rõhtpalkhoone renoveerimisele kui arvestada kogu hoone elukaart ning keskkonnasõbralikkust läbi süsiniku jalajälje suuruse arvutamist hoone eluringile, ehitusmaterjalide valikust kuni hoone utiliseerimiseni selle kasutusea lõppedes?

Autor tänab kõiki, kes olid lõputöö valmimise juures: Tarmo Tammekivi, Targo Kalamees, Indrek Ikkonen, Madis Rennu, Hans Priks, Marek Mardisoo, Marko Kotsar, Kristjan Kaasik, Martin Nõmmik, Mart Nõmmik, Virko Mägi, Üllar Alev ning Juhani Lumera.

1. Uurimismetoodika

Esialgne uurimismetoodika põhines arusaamal, et kui võtta autori maakodust üks ait, mille peal oleks hakatud käsitletavate sõlmede lahendusi ka päriselt läbi katsetama. Juhendajatega arutades sai selgeks, et sellel tegevusel ei ole eesmärki, kuna uurimisküsimustele saab vastata ka teoreetiliselt sõlmi läbi projekteerides ning arutades. Selle tulemusena andis Tarmo Tammekivi antud uurimistööle lähteülesande, millest lähtudes ehitub üles kogu antud lõputöö.

Lähteülesanne: “Soovin teilt saada hinnapakkumist käsitööna valmistatud rõhtpalkmaja renoveerimisprojekti projekteerimisele ja renoveerimistööde eelarvestamisele. Hoone ehitusalune pindala on 63 m² ja hoone on 2-korruseline. Täna kasutame seda suvilana. Renoveerimisjärgselt soovime hoone kasutusele võtta elumajana (aastaringne kasutus). Planeeritav renoveerimistööde eelarve on 52 000 € (sisaldab käibemaksu). Hoones on ahiküte, mille kasutamist soovime ka edaspidi jätkata. Lisaküttena soovime kasutusele võtta õhksoojuspumba (vajaminev võimsus veel teadmata). (Tammekivi, T. Personaalne suhtlus. 22. november 2022)

Renoveerimisel soovime kasutada looduslike ja võimalikult väikese CO₂ tootmisjäljega ehitusmaterjale ning samuti ehitustegevuses peaks vältima liigse CO₂ jälje teket. Meie jaoks on oluline ka minimaalne ehitusjäätmetest järele jääv hulk, mis võimaldaks võimalikult väikese energiakuluga jääke utiliseerida. Renoveerimistööde tulemus peab andma tulevasele elumajale B-energiaklassi. Samas me ei tea, missuguseid renoveerimislahendusi peaks rakendama, et soovitud energiaklassi saavutada. Meil puudub hetkel ka teadmine, kas olemasoleva ehituseelarvega ja soovitud ehitusmaterjali käsitleusega on võimalik saavutada soovitud B-energiaklass. Kindlasti soovime säilitada maksimaalsel kujul olemasoleva hoone arhitektuuri mahtu. Seinapaksus kasv vundamendi välispiirist võiks olla kuni 10 cm. Kindlasti on olemas keskne lahendus, kus meie ambitsioon ja tegelik eelarveline võimekus kohtuvad. Teiepoolsed ettepanekud ja täpsustavad küsimused on igati teretulnud. (Tammekivi, T. Personaalne suhtlus. 22. november 2022)

Pakkumise koostamisel sooviksime teilt infot tabelina, kus on välja toodud peamised insenertehnilised sõlmelahendused meie poolt antud materjalikäsitleusega. Sõlmelahendused võiksid käsitleda energiatõhususarvu klasse Ast kuni Dni. Lisaks peab iga energiaklassi lahendus hõlmama infot CO₂ jalajälje suurusest. Näiteks kas B-energiaklassi ehitusjärgne

tulem on loodussäästvam kui näiteks C-energiaklass. Siinkohal pean silmas kogu tsükli ehitusmaterjali valikust ehitustegevuseni ja kuni objekti üleandmisaktist kasutusea lõpuni (30 aastat).” (Tammekivi, T. personaalne suhtlus. 22. november 2022)

Kuna kõikide hoone sõlmede põhjalik analüüsimine oleks liialt mahukas olnud, sai tehtud valik, mis kajastaks autori silmade läbi kolme kõige olulisemat hoone sõlme. Sellest lähtudes valiti kolm hoone sõlme: avatäited, esimese palgikorra- ning vundamendivaheline sõlm ning lae – ja seinakonstruktsiooni ühendav sõlm. Antud sõlmede analüüs koosneb inseneritehnilistest sõmlahendusest B/C-energiaklassile, renoveerimistöde eelarvestusest ning tuleviku ülalpidamiskulude hinnangulisest suurusjärgust. Samuti on välja pakutud üks põrandasõlme variant, et kõik välispiirdetarindid oleksid kaetud, mille najal saab energiatõhususarvu kalkulaatoris tulemusena arväärtuse, mille järgi hoonet energiaklassi järgi liigitada.

Lähteülesandest tuleb välja veel üks oluline punkt, et tegemist oleks rõhtpalkhoonega. Jällegi sai tehtud otsus, et uurimus ei oleks liialt laialivalguv, vaid käsitleks põhjalikult ühte konkreetset hoone tarindit.

1.1 Tööprotsessi ülesehitus

Tööprotsessi kujundamise aluseks oli lähteülesanne, millele tuginedes oli võimalik luua arvutis renoveeritavast rõhtpalkhoonest asjakohane kolmemõõtmeline ehk 3D mudel (vt Joonis 1). 3D mudelile toetudes kujundati esmased välispiirete sõlmelahenduste kahemõõtmelised ehk 2D joonised.

Piiratud töömahu seisukohalt valisin renoveeritavast hoonest välja kolm välispiirde sõlme asukohta, mis annaksid sisendi asjakohaste välispiirete sõlmelahenduste kujundamise metoodikale, milles arvestatakse energiatõhususe miinimumnõudeid, renoveerimise maksumust ning hoone ehitusjärgset ülalpidamiskulusid. Lisaks, annab autor sisendi, kuidas võiks kujundada süsinik jalajälje (CO₂) arvutamist võimalikult mõistetaval viisil.

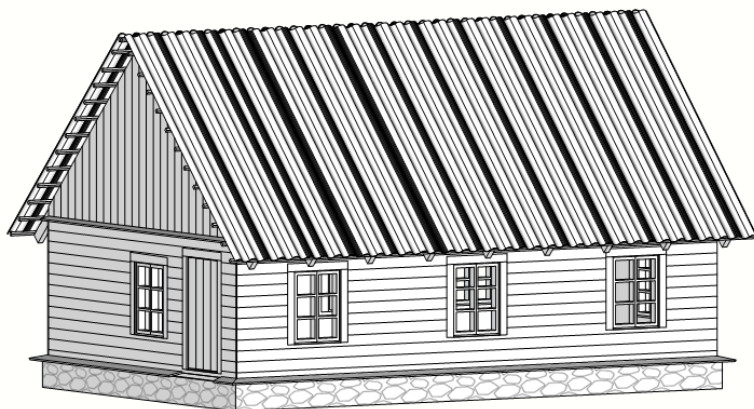
Uuritavad välispiirde sõlmelahendused:

1. Esimese palgikorra- ja vundamendivaheline sõlmelahendus;

2. Lae- ja seinakonstruktsiooni ühendav sõlmelahendus;
3. Avatäite (uks ja aken) sõlmelahendus.

Kahjuks kujunenud töömahu suuruse tõttu jäi süsiniku jalajälje sisutihedam uurimisosatahaplaanile. Samas, anti põgus sisend, kuidas võiks süsinik jalajälje arvutust edaspidi uurida või rakendada järgmistes uurimistöodes.

Sõlmelahenduste kujundamisel kasutatud ehitusmaterjalide valimisel toetuti varasemale kogemusel valdkonnas, tooteinfosid sirvides ning ka struktureerimata intervjuudes valdkonna spetsialistidega. Kõik sõlmelahendused on teoreetilised ning enne renoveerimistöde ettevõtmist konsulteerida ehitusinseneriga.



Joonis 1. 3D joonis (autori joonis)

Energiatõhususarvu koostamiseks kasutasin Majandus- ja kommunikatsiooniministeeriumi poolt tellitud lihtsustatud väikeelamu energiatõhususarvu kalkulaatorit (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium [MKM], 2018). Antud kalkulaator nõudis hoone sõlmede soojusjuhtivust (U-arv), siis tuli esmalt see välja arvutada. Käesolevas lõputöös on fookuses sõlmed, mis käsitlevad fassaadi, vahelage ning avatäiteid. Peale selle pakub autor ühe põrandatarindi variandi, mis on üles ehitatud selle põhjal, et hoonesse ei ole planeeritud põrandakütet ning mis oleks autori silmis antud hoone puhul kuluefektiivseim. Renoveerida hoonet järgides seadust, siis sellisel juhul lähevad välja pakutavad sõlmelahendused rekonstrueerimise mõiste alla.

Ehitise ümberehitamine ehk rekonstrueerimine on ehitamine, mille käigus olemasoleva ehitise omadused muutuvad oluliselt. Ümberehitamisena ei käsitleta olemasoleva ehitise üksikute osade vahetamist samaväärsete vastu. Ehitise ümberehitamine on eelkõige ehitamine, mille käigus:

- 1) muudetakse hoone piirdekonstruktsioone;
- 2) muudetakse ja asendatakse hoone kande- ja jäigastavaid konstruktsioone;
- 3) paigaldatakse, muudetakse või lammutatakse tehnosüsteemi, mis muudab ehitise omadusi, sealhulgas välisilmet;
- 4) muudetakse oluliselt ehitise tööparameetreid või kasutatavat tehnoloogiat;
- 5) viiakse ehitise kooskõlla kasutusotstarbele vastavate nõuetega;
- 6) taastatakse osaliselt või täielikult hävinud ehitise. (RT I, 07.03.2023, 72)

Antud projekteeritavad sõlmed lähevad seaduse järgi olulise rekonstrueerimise alla, sest muudetakse hoone piirdekonstruktsioone (fassaad). Selle tõttu piiritleb hoone renoveerimist järgnev punkt: oluliselt rekonstrueeritava hoone energiatõhususarv ei tohi ületada lisa 2 tabelis 2 sätestatud piirväärtust (RT I, 07.07.2020,11). Antud tabelis on välja toodud, et väikeelamu köetava pindalaga $<120 \text{ m}^2$ energiatõhususarvude piirväärtus peab olema $185 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Riigi Teatajas on energiatõhususarvu termin toodud järgnevalt: energiatõhususarv käesoleva määruse tähenduses on arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone tüüpilisel kasutusel. Energiatõhususarv kajastab hoone kompleksset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks ning see arvutatakse hoone köetava pinna ruutmeetri kohta hoone tüüpilisel kasutamisel. Energiatõhususarvu ühikuks on kilovatt-tund hoone köetava pinna ruutmeetri kohta aastas (RT I, 07.07.2020,11). Sellest lähtudes peab oluliselt rekonstrueeritav hoone olema vähemalt C-energiamärgisega. Kui on soov taotleda Kredexist väikeelamute rekonstrueerimistoetust, siis ka selle jaoks tuleb saavutada vähemalt energiatõhususarvu klass C (Kredex, 2023).

Lähteülesandest tuleb välja nõue, et pärast hoone renoveerimist peab energiatõhususarv jääma B-energiaklassi piirmääradesse. B-energiaklass kajastub ehituseaduses kui madalenergiahoone. Püstitatava madalenergiahoone energiatõhususarv ei tohi ületada lisa 2 „Hoonete energiatõhususarvude piirväärtused” tabelis 1 sätestatud madalenergiahoone energiatõhususarvu piirväärtust (RT I, 07.07.2020, 11). Antud tabelist tuleb välja, et madalenergia hoone energiatõhususarvu piirväärtus on $165 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

1.2 Renoveeritava rõhtpalkhoone kirjeldus

Antud uurimuse lähteülesannest tulenevalt on antud hoone looduskivimüüriil paiknev palkkehand, millel on viilkatus. Hoone on ühekorruseline ning sellel on tuuldav pööning. Kandvat konstruktsiooni katab otse palgile naelutatud fassaadilaud. Esmalt on vajalik teada saada olemasoleva ehitise energiaklass. Sellele saab edasi minna soovitud energiaklassile ning teada, mida ja kui palju tuleb lisada, et soovitud energiaklassi saavutada.

Hoone nurgaseotiseks on puhasnurgaga kalasabatapp ehk nurgaseotised on seintega samas tasapinnas. Selline lahendus on vanematel talumajadel väga tüüpiline. Esineb ka näiteid, kus palgi ning laudise vahele on paigaldatud tuulekaitseks tõrvapapp. See on küll pigem hilisem nähtus, mis on hoone elueale laastavalt mõjunud. Kogu niiskus, mis toast tuleb, kondenseerub tõrvapapi ning palgi vahele, kahjustades kandvat konstruktsiooni. Põrandakonstruktsioon on antud hoonel laakidel laudpõrand, mis on alt tuuldav. Hoone vahelagi toetub 200*200 mm-le taladele, mille peal on nn poola laudis. Selle peal on 100–200 mm liivasaepurusegu.

Oluline rekonstrueerimine on ehitamine, mille puhul on hoone piirdekonstruktsioonide muutmise ja kande- ja jäigastavate konstruktsioonide muutmise ja asendamisega või välispiirete ja tehnosüsteemide või nende osade muutmise või tehnosüsteemi tervikliku asendamisega seotud kulud suuremad kui üks neljandik rekonstrueeritava hoonega samaväärse hoone keskmisest ehitismaksumusest (RT I, 07.07.2020,11). Viimane lause on võetud Ehitusseadustikust ning see on ainuke viis, kuidas hetkel kehtivate nõuetega ei oleks vajalik hoone energiatõhusus piirväärtusi pärast renoveerimist täita.

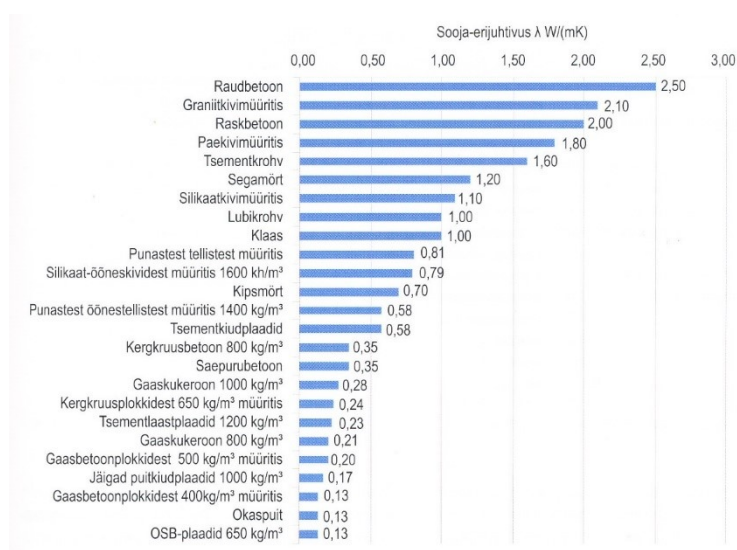
Kui välispiirde soojusläbivus ületab 0,65 vatti ruutmeetri ja kraadi kohta, siis tagatakse projekteerimisel ruumi soojuslik mugavus täiendava vastava otstarbega küttelahenduse või muu tehnilise lahendusega (RT I, 07.07.2020,11). Kui tahta näiteks võimalikult vähe fassaadi paksust kasvatada ning soojustusmaterjali võimalikult minimaalselt panna, on vajadus teiste piirdetarinditega (lagi, põrand, avatäited) selle arvelt kompenseerida, et soojusläbivuste summa piirdetarinditel tuleks võimalikult minimaalne.

1.3 Energiatõhususarvu kujunemine. Arvväärtuste kujunemise kirjeldus.

Standardselt käib energiaarvutus tagantpoolt ette ehk teada on hoone energiatõhususe eesmärk ning sealt saab teada vajalikud soojusläbivused piirdetarinditele ja avatäidetele. Selle järgi

saab hakata piirdetarindeid kavandama, et saavutada eesmärgiks seatud soojuslähivust ning niiskuselikkude toimivust. (Kalamees, T. Personaalne suhtlus. 10. märts 2023)

Osa sõlmede puhul selles lõputöös on eelpoolnimetatud arvutus tehtud vastupidiselt standardile. Ehk välja on valitud materjal, millega soovitakse hoone piirdetarindite energiatõhusust parandada ning seejärel selgub, milliseks energiaklass lõpuks kujuneb. Esmalt on tooteinfodelt ning allikatest välja uuritud soojus-erijuhtivused (λ , W/(m²K)) (vt Joonis 2). Seejärel saab välja arvutada tarindi soojustakistuse (R , (m²K/W)). Viimasena saab välja arvutada soojuslähivuse (U , W/(m²K)), mille väärtus läheb väikeelamu energiatõhususarvu kalkulaatorisse ning mis on osa energiatõhususarvu ning energiaklassi arvutamisest.



Joonis 2. Tarindusmaterjalide soojus-erijuhtivusi (Masso, 2012, lk 21)

Soojaeritakistust on vaja, et välja arvutada piirde soojatakistus. Selle arvuga ei saa kohe kogu sõlme soojatakistust, vaid leiame konkreetse materjali soojatakistuse. Alltoodud valemis on R piirdesoojatakistus (m²K/W), d on materjalikihi paksus(m) ning λ on materjali soojaerijuhtivus (W/mK) (Priks, 2021).

$$R = d/\lambda$$

Antud tulemus R näitab aega tundides, mis kulub 1,16W sooja voolamiseks läbi seina 1 m², õhutemperatuuride vahe 1 C(K) korral (Priks, 2021). Kuna väikeelamu energiatõhususarvu kalkulaatorisse on vaja tulemuste saamiseks saada kätte soojuslähivus (U), on see järgmine samm. Soojustakistus ning soojalähivus on enda suhtes pöördvõrdelised ehk siis

$$U = \frac{1}{R}$$

Järgnevalt on vaja välja arvutada joonsoojuslähivused ning punktsoojuslähivused. Mis on osa kogu välispiirde soojuskao arvutuste alustest. Välispiirde soojuskao arvutamisel lähtutakse välispiirde soojuslähivusest, välispiirde ulatuses esinevast joon- ja punktsoojuslähivusest ning välispiirde üldiste sisemõõtude või ruumi sisemõõtude alusel määratud välispiirde pindalast (RT I, 07.07.2020, 12). Esmastes arvutustes, kus aktsepteeritakse suuremat ebatäpsust, võib piirdetarindite liitekohtade soojuskao arvesse võtta, arvestades nende osakaaluks ~20 % kogusoojuskaoost ($H_{2D}+3D = H_{j1D} \times 0,28$) (Kalamees, 2020). Antud uurimises lähtume viimasest ning arvestame kogu soojuskaole juurde 15%. Täpsete tulemuste jaoks tuleb kasutada aga järgnevatel lõikudes toodud valemeid.

Soojuskadu tarindi liitekohta (näiteks välissein-välissein, välissein-vahelagi, põrand-välissein, katuslagi-välissein, akna seinakinnituse sõlm) ja läbiviigu (näiteks konsoolne rõdu ja varikatus, jäigastusside, müüriankur) kaudu võetakse arvesse joon- ja punktsoojuslähivuse abil. (RT I, 07.07.2020, 12)

Joonkülmasillad võetakse soojakulu arvutusel arvesse joon-soojuslähivusega Ψ_j , mille ühikuks on $W/(m \cdot K)$ – vatti meetri ja kraadi kohta. Külmasilla pikkuse ja juhtivuse korrutis annab soojuse erikao $L\Psi_j$ vattides kraadi kohta (W/K). (Masso, 2012, lk 35)

Tarindite liitekohta või külmasilla arvutusulatuse soojuserikadu L_{2D} ja L_{3D} kirjeldab antud kahe- või kolmemõõtmelist tarindite liitekohta läbivat soojusvoolu (pikkusühiku kohta). (Kurnitski *et al.*, 2017)

$$L_{2D} = \frac{\Phi}{(t_i - t_e)}, W/(m \cdot K)$$

Piirdetarindite liitekohta joonsoojuslähivuse Ψ , $W/(m \cdot K)$ saab arvutada alloleva valemi abil. (Kurnitski *et al.*, 2017)

$$\Psi_j = L_{2D} - \sum_{x=1}^N U_x \cdot b_x, W/(m \cdot K)$$

kus:

Ψ_j tarindite liitekohta joonsoojusläbivus, W/(m*K)

L_{2D} kahemõõtmise arvutuse tulemusel leitud tarindi arvutusulatuse soojuserikadu, W/(m*K)

U_x liitekohta moodustavate hooneosade ja tarindite soojusläbivus, W/(m²*K)

b_x liitekohta moodustavate hooneosade ja tarindite arvutusulatuse pikkus, m

Joonkülmakõõrad, millele annab väärtuse joonsoojusläbivuse arvutus, on järgnevad:

- hoone välisnurgad
- puitpostid sõrestikseinast, plekkprofiilist postid kergseinast
- tellis- ja mörtidiafragmad soojustusega tellisseinast
- akende ja uste piida perimeeter
- klaaspakettide perimeeter
- vahelae seinale toetumise kohad
- vundamendi ja allkorruse põranda kokkupuutejoon (Masso, 2012, lk 34)

Infiltratsiooni soojuskaod H_{inf}

Infiltratsiooni õhuvooluhulk arvutatakse lähtudes hoone piirdetarindite õhulekkearvust ja hoone kõrgusest ja leppivate piirdetarindite pindalast.

$$V = \frac{q_{E50} \times A_{välispüüded}}{3600 \times x}, m^3/s$$

q_{E50} : õhulekkearv, m³/(hm²)

$A_{välispüüded}$: siseruumi väliskeskkonnast eraldavad piirdetarindite (põrand, katus, seinad, aknad, ukse jne.)

x: korruse kõrgust arvestav tegur

1-korruseline hoone: x=35;

2-korruseline hoone: x=24;

3–5-korruseline hoone: x=20;

>5 korruseline hoone: x=15 (Kalamees, 2020)

Piirdetarindite võimalikult väike õhuleke on vältimatult vajalik energiatõhususe, mugava sisekliima ja niiskusturvaliste tarindite saavutamiseks. Hoone õhulekkearvu nõue on $q_{E50} \leq 1,0 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{m}^2)$, kuid esmases energiaarvutustes on soovitatav kasutada üldjuhul varuga väärtust (näiteks $q_{E50} = 1,5 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{m}^2)$). Õhulekkearvu väärtus tõendatakse mõõtmisega pärast hoone valmimist. (Kalamees, 2020)

2008 ja hiljem ehitatud hooned	Deklareeritud väärtus q_{E50}, $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$
Kõik mõõtmised (100 hoonet)	3,7
Ühel ettevõttel ≥ 4 mõõtmise (24-31 hoonet)	2,0
Ühel ettevõttel < 4 mõõtmise (42-74 hoonet)	5,3
Käsitöö palkseinad (13-15 tk)	6,1
Liimpalkseinad (4-5 tk)	3,0
Puitkarkassein, moodul, element 63-68 tk)	1,6
Puitkarkassein, kohapeal ehitatud (5-6 tk)	6,4
Väikeplokk, tellis, betoon (11 tk.)	5,2
1990 - 2008 a. ehitatud hooned	
Kõik mõõtmised (84-113 hoonet)	9,1
Palkseinad (6-12 hoonet)	25
Puitkarkassein (55-65 tk)	7,8
Väikeplokk (21-29 tk.)	7,2
Enne 1990 a. ehitatud hooned	
Kõik mõõtmised (71 hoonet)	20
Palkseinad (6-12 hoonet)	20
Puitkarkassein (4)	17
Kiviseinad (3-4 hoonet)	19

Joonis 3. 2008 ja hiljem Eestis ehitatud eramute õhulekke mõõtetulemused (Kalamees, 2020)

Kuna antud lähteülesandel ei ole välja toodud hoone vanust, siis paneb autor paika, et antud hoone on ehitatud enne 1990. aastat. Selle järgi saame ülaltoodud tabelist võtta esialgse konstruktsiooni õhulekke deklareeritud väärtuseks 20 (vt Joonis 3).

Energiatõhususarv (ETA, $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) on arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel, millest arvatakse maha summaarne eksporditud energiatega kaalutud erikasutus. Tarnitud energia all mõistetakse hangitud elektrit, kaugkütet, kaugjahutust või kütuseid (näiteks puit (pettet, puiduhake, halupuit jne), gaas, õli jne). Erikasutus on aastane energiakasutus kilovatt-tundides hoone kätava pinna ruutmeetri kohta [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]. (Kalamees, 2020)

Lihtsamal keeles on energiatõhususarv (ETA) põhimõtteliselt hoone tavalise kasutamise käigus, selle poolt tarbitavate energiatega summa, kus arvesse läheb ruumi ja sooja vee kütmine,

ventilatsioon ning ka kogu elektrit tarbiv seadmestik oma energiakuluga. (Kotsar, M. Personaalne suhtlus. 26. märts 2023)

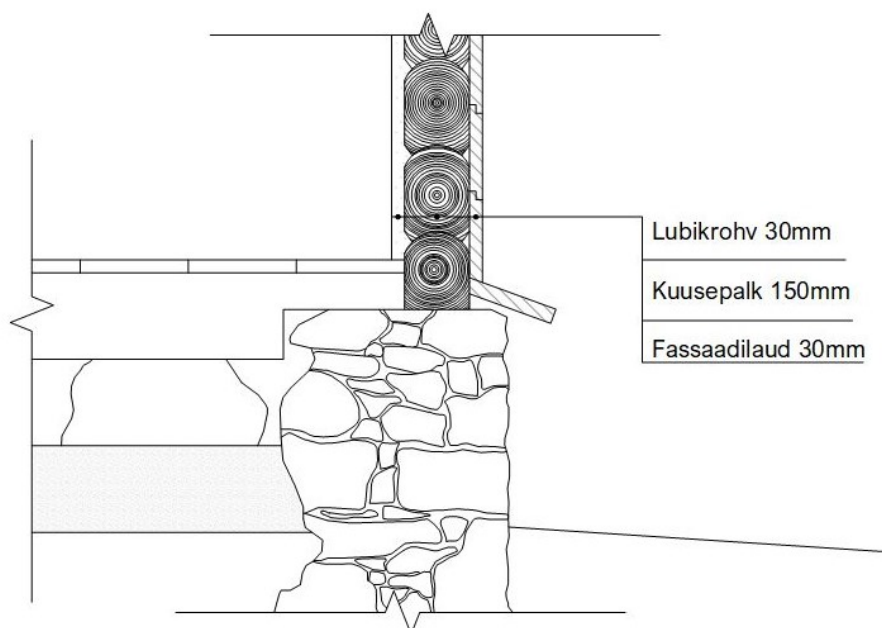
2. Sõlmlahendused

Antud peatükis käsitletakse sõlmlahendusi, mis on hoone välispiirded, ehk mis otseselt mõjutavad hoone soojuskadu ja seda kaudu energiatõhususarvu.

2.1 Esimese palgikorra- ja vundamendivaheline sõlm

Tegeledes palkhoonetega igapäevaselt, on palgi ning vundamendi kokkupuutesõlm kindlasti üks kriitilisemaid kohti palktarindi, kui ka üleüldiselt puitkonstruktsiooniga hoonete puhul. Põhiprobleemiks on hüdroisolatsiooni puudumine palgi ning vundamendi vahel, kuid ka hooldamatuse tagajärjel puudulik veelaua olemasolu, mille tulemuseks on konstantselt märg puitosa, mis loob soodsad tingimused seente ja mädanikku tekkeks. Ajalooliselt vundamendi ja palgi vahele hüdroisolatsiooni ei pandud, sest ainuke sobilik materjal tollel ajal oli kasetoht, mille kogumine on tülikas ning tõenäoliselt ei nähtud sellel sisendenergiaga ka mõtet. Tänapäeval on hüdroisolatsiooni valikuid rohkem ning on antud kohas põhiteema, millele tuleb tähelepanu pöörata.

Esmane sõlm, mis kätkeb endas ainult 150-millimeetrist kuusepalki ning sellele otse peale löödud 30 mm paksusega fassaadilauda, ei ole piisav, et antud uurimises toodud eesmärgi täita. Põhiprobleemiks antud tarindi puhul on liiga suur soojaläbivus ning liiga vähene tuulepidavus. Kui minna aga materjalivaliku juurde, tuleks jälgida, millised on sobilikud materjalid, et antud tarindi soojatakistust (R) parandada. Kuna käesoleva uurimise eesmärgiks on kasutada looduslike ehitusmaterjale, eemaldab see selektsioonist kõik sünteetilised materjalid. Autori arvamuse kohaselt oleks võimalusel mõistlik kasutada ka kohalikult toodetud materjale, mis avaldavad tänu väiksematele transpordikuludele keskkonnale vähem mõju.



Joonis 4. Renoveerimiseelne esimese palgikorra-ja vundamendivaheline sõlm

Seejärel, kui oleme kõigi piirdesoojatakistused kätte saanud, liidame need omavahel. Esialgne hoone välistarind on vastavalt seest välja – lubikrohv, palkkehand ning fassaadilaudis (vt Joonis 4). Alltoodud on esialgse välistarindi soojustakistus, millele lisandub veel sisepinna soojatakistus (0,13) ning välispinna soojatakistus (0,04).

$$R = 0,13 + 0,03 + 1,15 + 0,23 + 0,04 = 1,58 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

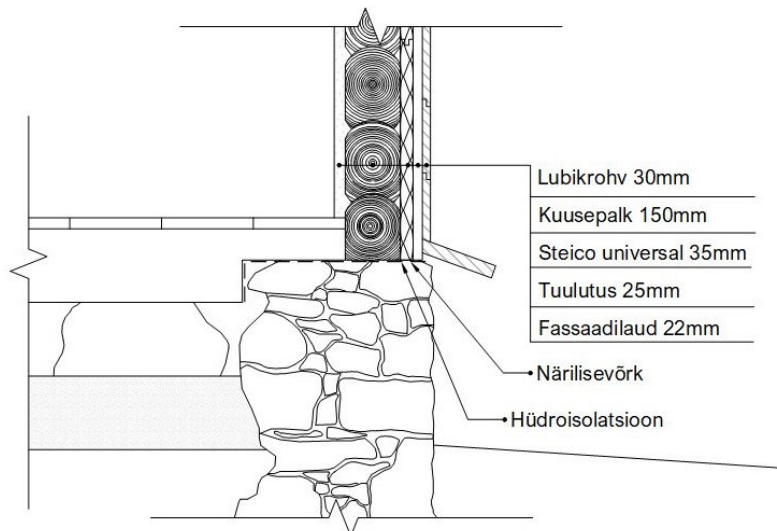
$$U = \frac{1}{1,58} = 0,633 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

Projekteeritavatel kihtidel jäävad esialgse sõlmega võrreldes samaks lubikrohv ning palkkehand. Järgnevad soojusjuhtivused ning soojustakistused on järjestuses: Steico universal (vt Joonis 5), tselluvill+tuuletõkekangas (vt Joonis 6). Antud materjalide soojaeritakistuse (λ , W/mK) võtsin materjalide tooteinfost. Steico universal'il on see 0,048 ning tselluvillal 0,039. Kuna antud fassaadilahendustel on kõigil välisõhuga tuulduvad fassaadid ehk tugevalt ventileeritud õhkvahede korral on nende mõlemas otsas olevate õhutusavade suuruseks vähemalt 1500 mm²/m kohta, siis nendel puhkudel õhkvahede ega sellest väljaspool olevate konstruktsioonide soojatakistust ei arvestata (Priks, 2021).

Steico:

$$R = 0,13 + 0,03 + 1,15 + 0,729 + 0,04 = 2,079 \frac{m^2K}{W}$$

$$U = \frac{1}{2,079} = 0,481 \frac{W}{m^2K}$$



Joonis 5. Alumise palgi ja vundamendi sõlm Steico-ga (Autori joonis)

Kuna tselluvilla märgpaigaldus nõuab olemasolevale palkkehandile peale roovi 50 x 100 mm 600 mm-se sammuga, on vajadus nii villa kui ka roovi kohapealt eraldi soojatakistused leida (Nõmmik M. Personaalne suhtlus. 26. märts 2023). Seejärel tuleb leida mõlema arvu kaalutud keskmine, et läbivalt terve välistarindi keskmine soojatakistus leida. Tuuletõkekanal on soojustakistuse väärtus piisavalt väike, mis suures pildis oluliselt tulemust ei muuda ning autor tegi otsuse see tagavara kasuks välja jätta.

Tselluvill (100 mm) Werro wool + tuuletõkekanal:

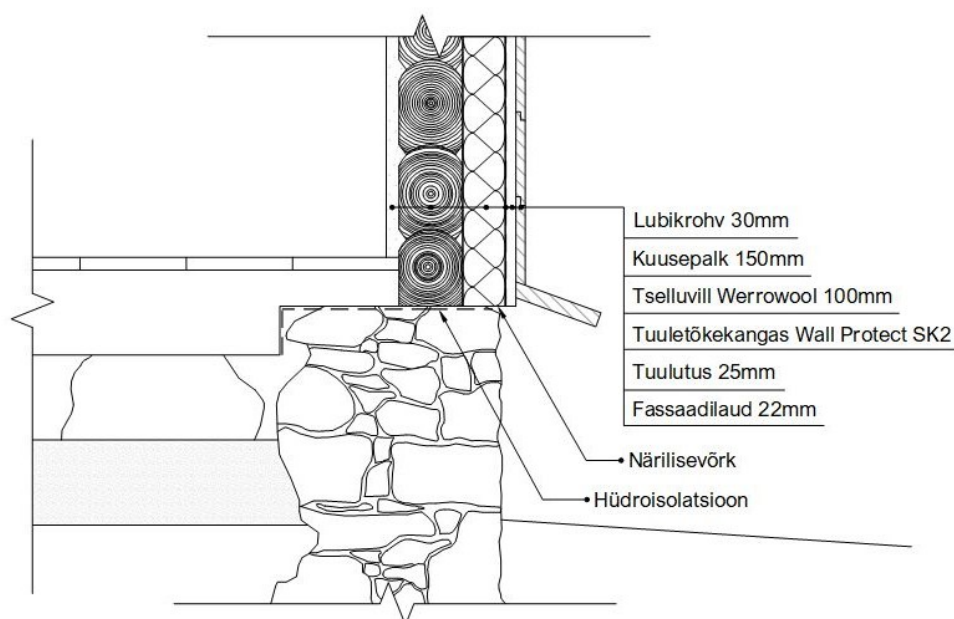
$$R_{vill} = 0,13 + 0,03 + 1,15 + 2,56 + 0,04 = 3,91 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{roov} = 0,13 + 0,03 + 1,15 + 0,77 + 0,04 = 2,12 \frac{m^2K}{W}$$

Puidu osakaal 1 m² tarindist on 0,0833 ning villa osakaal on 0,917.

$$R = \frac{1}{\frac{0,917}{3,91} + \frac{0,0833}{2,377}} = 3,77 \frac{m^2 K}{W}$$

$$U = \frac{1}{3,77} = 0,265 \frac{W}{m^2 K}$$



Joonis 6. Alumise palgi ja vundamendi sõlm 100 mm paksuse tselluvillaga soojustades (Autori joonis)

Autori arvates on ülaltoodud sõlm maksimaalne, mida võiks kaaluda fassaadi renoveerimislahendusena, et välisarhitektuur sõlmel ei muutuks. Antud sõlmes ulatub fassaadi välispind vundamendist 6 cm väljapoole. Kuigi lähteülesannes on välja toodud, et maksimaalne fassaadi üleulatus vundamendist on 10 cm, ei pea autor seda korrektseks, kui on soov säilitada esialgset arhitektuurilist välisilmet.

2.2 Põrandasõlm

Kui tahta energiatõhususkalkulaatoris lõpliku tulemust saada, on vajalik kajastada kõiki piirdetarindeid. Antud uurimusest jääb praegu välja põrand kui piirdetarind, pakub autor välja ühe põrandasõlme variandi, mis tundub antud objektile kohane arvestades soovitud kütteseadmeid ning mis säilitaks hoone sisearhitektuuri.

Traditsioonilisi laudpõrandaid on kirjeldatud järgnevalt:

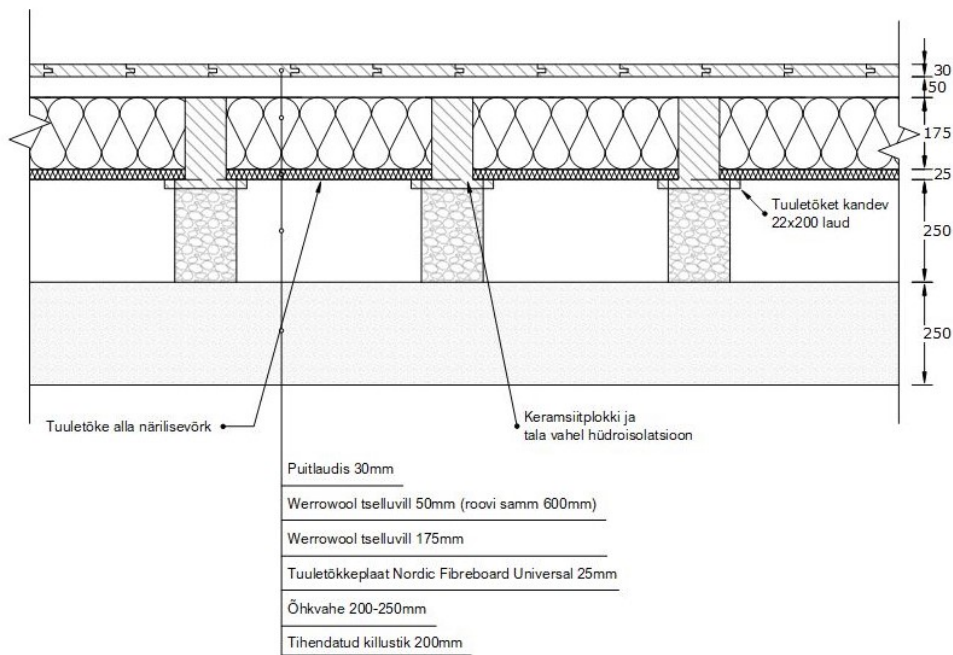
saetud ja hõõveldatud laudadest põrandaid hakati tegema peamiselt alles käesoleva sajandi (20.) algul. Laudpõranda talasid ei asetatud enam kivi- või kruusaaluse peale, vaid nad toetati otstega alusmüüri servadele, nii et põranda alla jäi natuke õhuruumi. Põrandad tehti harilikult punnitud kuivadest männi- või kuuselaudadest, mis suruti kiilude abil tihedalt kokku ning lööbi raudnaeltega talade külge kinni. Sellised laudpõrandad värviti tavaliselt linaõlivärviga. (Tihase, 1974, lk 103)

Sellest järeldades peaks antud objekti puhul tegema põrandataladel laudpõranda, mis on autori arvates optimaalseim ning kuluefektiivseim. Laudpõrandad jaotuvad omakorda veel kahte kategooriasse: ujuvpõrandad ning uputatud põrandad.

Laudpõranda kahe erineva tüübi puhul on konstruktiivne lahendus sarnane. Põrandatalad on asetatud kividele välisest palkkehandist eraldi. Selle põhjuseks on asjaolu, et juba sellel ajal teati, et põrandad amortiseeruvad enne palkkehandit ning nii on neid kergem uuendada. Alt tuulduva ning uputatud põranda erinevuseks on soojustusmaterjali, liiva, olemasolu.

Ujuvpõrandate puhul lõppes savise liiva täide enne põrandataladega kokkupuudet kividega. Uputatud põranda puhul ulatus liiv kuni põrandalaudadeni välja – see toimis kui põrandasoojustusena. Uputatud põranda miinuseks on puidukahjuritele soodsate elutingimuste tekkimine. Selliseid põrandaid saab rajada ainult kohta, kus on teada, et põrandaalune on alaliselt kuiv, näiteks, kui hoone on ehitatud künka otsa ning maapinna kalded on majast eemale. (Mürk, 2022)

Sellest lähtudes on kindlam rajada antud hoonele ujuv laudpõrand. Sama põrandat saab rajada ka betoonalusele, kuid kui sellisel juhul ei ole betooni sees põrandakütte kontuuri, ei tundu betoneerimine kuluefektiivne. Materjali kasutus hõlmab endas samu põhimõtteid, mis eelnevad sõlmedki. Väljapakutud põrandasõlm on soojustatud ujuv põrand, mis on alt tuulduv ning mis toetatud kas maakividele või keramsiitplokkidele. Soojustusmaterjalina on ka sellel sõlmel Werro wool tselluvill. Ainuke uus materjal põrandasõlme puhul on tuuletõkkeplaat Nordic Fibreboard Universal, mis on 25 mm paksune. Antud materjali eelis, nagu ka Werro wool tselluvillal, on asjaolu, et see on Eestis toodetud. (vt Joonis 7)



Joonis 7. Ujuv laudpõrand (Autori joonis)

Soojuslähivusearvutus erineb fassaadi omast ainult piirde sisepinna soojatakistuse poolest. Kui fassaadiarvutusel käsitlesime välispinnal soojatakistuse arvvaartust 0,04, mis käsitleb horisontaalset soojavoolu suunda, siis põranda puhul tuleb kasutada arvvaartust 0,17, mis iseloomustab soojavoolu suunda alla. Kuna antud sõlmel kujuneb neli eraldi materjali läbilõiget (vill+vill, roov+vill, tala+roov, tala+vill), mis juhivad soojust, on tarvis arvutada soojatakistus kõigil neljal eraldi ning leida nende kaalutud keskmine.

$$R_{vill/vill} = 0,17 + 0,23 + 5,77 + 0,51 + 0,04 = 6,72 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{roov/vill} = 0,17 + 0,23 + 0,5 + 4,49 + 0,04 = 5,38 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{tala/roov} = 0,17 + 0,23 + 0,5 + 1,54 + 0,04 = 2,48 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{vill/tala} = 0,17 + 0,23 + 1,28 + 1,54 + 0,04 = 3,26 \frac{m^2 K}{W}$$

Tala/roov osakaal 1 m² tarindist on 0,0138, vill/tala osakaal tarindist on 0,145, roov/vill osakaal tarindist on 0,066 ning vill/vill osakaal tarindist on 0,7752.

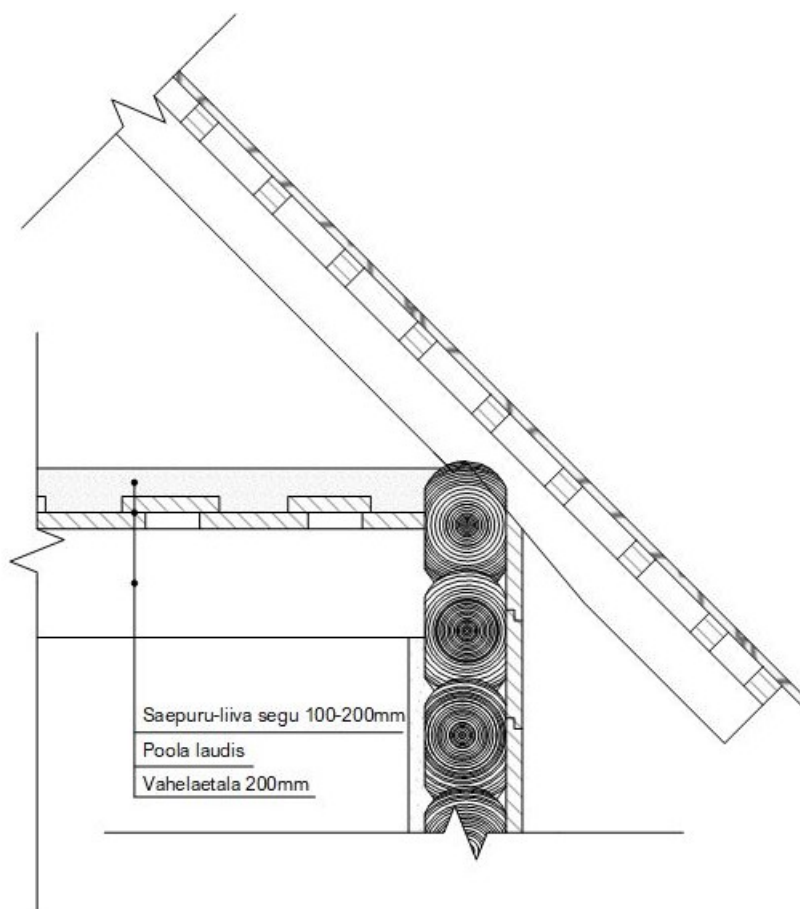
$$R = \frac{1}{\frac{0,7752}{6,72} + \frac{0,145}{3,26} + \frac{0,066}{5,38} + \frac{0,0138}{2,48}} = 5,96 \frac{m^2 K}{W}$$

$$U = \frac{1}{5,96} = 0,17 \frac{W}{m^2 K}$$

Viimane arvvärtus kajastub kõigis väljapakutavates renoveerimisvõimaluste energiatõhususarvutuses põranda kui välispiirdetarindi soojuslähivusena.

2.3 Lae- ja seinakonstruktsiooni ühendav sõlmelahendus

Niiskustehnilisest seisukohast ei ole lae ja seina sõlm nii kriitiline, kui seda on alumise palgi ja vundamendi sõlm. Antud kohas ei ole tüüpprobleemid tingitud teadmatust ehitusest, vaid pigem puudulikust hooldusest. Tüüpilisemad vead on läbijooksud katusest, mis on tingitud kas katusekate eluea lõppemisest või siis ebatihedatest läbiviikudest, nagu näiteks antenn või korsten. Kriitilisem sellise sõlme puhul on pigem soojuste kadu ebatiheda tarindi tõttu. Antud hoone esialgne vahelae tarind koosnes laetaladest, mustast lauast ning 100–200 mm saepuru-liiva segust (vt Joonis 8).



Joonis 8. Esialgne räästasõlm

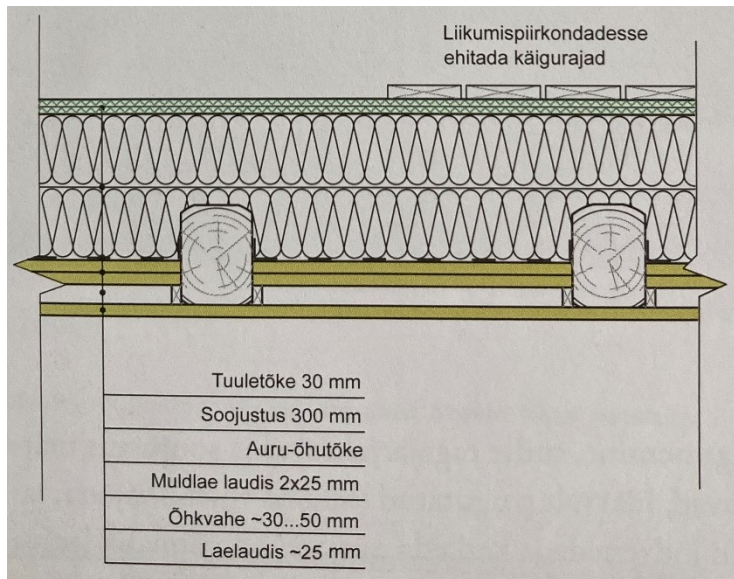
15 cm paksune saepurutäidis andis lae soojusläbivusek (U) ligikaudu $0,33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, 10 cm paksune $0,41 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Saepurutäidise peale tehti mõnikord liivakiht tuletõkkeks. Ilma saepuruta, vaid 15 cm paksuse liivakihi puhul, on lae soojusläbivus $1,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. (Masso, 2012, lk 32)

Viimasest lähtudes arvestame antud hoonel esialgsel vahelael 15 cm paksuse saepurutäidise soojuslähivusega ehk $0,33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Antud hoonel on kulutõhusam säilitada esialgne soojustusmaterjali kandev konstruktsioon ning välja vahetada ainult soojustusmaterjal. Sel puhul on tööprotsesse, mida laetarindit uuendades läbida, vähem. Uute sõlmede projekteerimisel on peamiseks soojustusmaterjaliks kasutatud tselluvilla Werrowool, mille kasuks räägib fakt, et tegemist on Eestis toodetud materjaliga ning seetõttu ei näe vajadust kasutada materjale, mida tuleks importida teistest riikidest. Pööning on välisõhuga tuulduv, siis soojuslähivuse ning soojustakistuse arvutuse valemid on samad, ainuke erinevus on materjalide soojuseri-juhtivused (λ).

Pööningu vahelae soojustamine ei nõua tarindi muutusi, võib soojustuse paksus olla 300–500 mm. Taladevahelise vana täite (liiv, saepuru vms) võib eemalda, siis saab paremat soojustust paigaldada rohkem. Korstna ja katuseluugi juurde või teistesse liikumispiirkondadesse tuleb rajada käiguteed, et soojustust ära ei tallataks. (Metslang, 2012, lk 226)

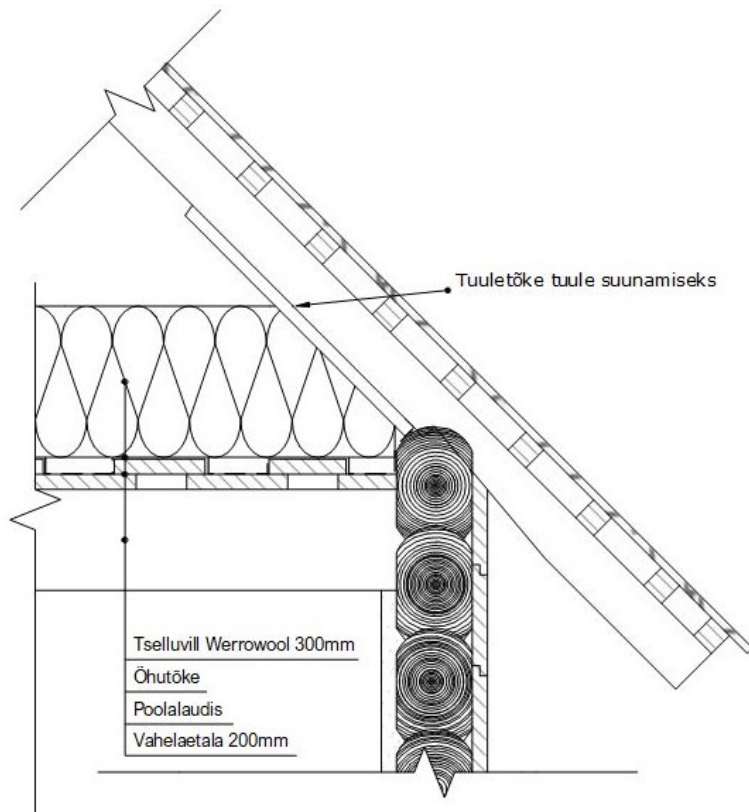
Vana maamaja raamatust tulenevate näidissõlmede (vt Joonis 9) põhjal on seal toodud, et pööninguvahelae soojustades tuleb sinna lisada soojustuse peale tuuletõke. Autor sellisel kujul tuuletõkkeplaadil eesmärki ei näe ning arvab, et kogu pööningupoolset tarindit tuuletõkkeplaadiga katta ei ole kuluefektiivne. See-eest on aga pööningul oluline lisada sarikate külge tuuletõkkeplaat umbes 15 cm soojustusest kõrgemale (vt Joonis 10), mis toimib tuulesuunajana, et suurema tuule korral ei hakkaks soojustusmaterjal lae peal ringi liikuma. Kui antud lahenduse puhul tekib mure, et närilistel on seal mugav pesitseda, siis siin tuleb mängu veel üks Werro Wool tselluvilla hea omadus.

Tselluvillas sisalduvad boorisoolad on närilistele ebameeldivad. Samuti pärsivad boorisoolad hallituse ja erinevate seente arengut. See on eriti oluline aspekt puhuks, kui toimub veeleke või muu ajutine niiskuskasv. Materjalina tselluvill aja jooksul kuivab ning säilitab oma soojustusomadused. (Werro Wool, 2023)



Joonis 9. Vahelae sõlm (Metslang, 2012, lk 226)

Esimeses projekteeritavas sõlmes jääb esialgne laekonstruktsioon samaks, vahetub ainult soojustusmaterjal ning soojustuse ja laua vahele lisatakse õhutõke, et soojustusmaterjal laudade vahelt eluruumidesse ei pudiseks. Kuna antud konstruktsioonile õhutõke ega vahelaetala soojusläbivusarvutusele märgilist muutust ei tekita, on autor otsustanud selle tagavara kasuks välja jätta.

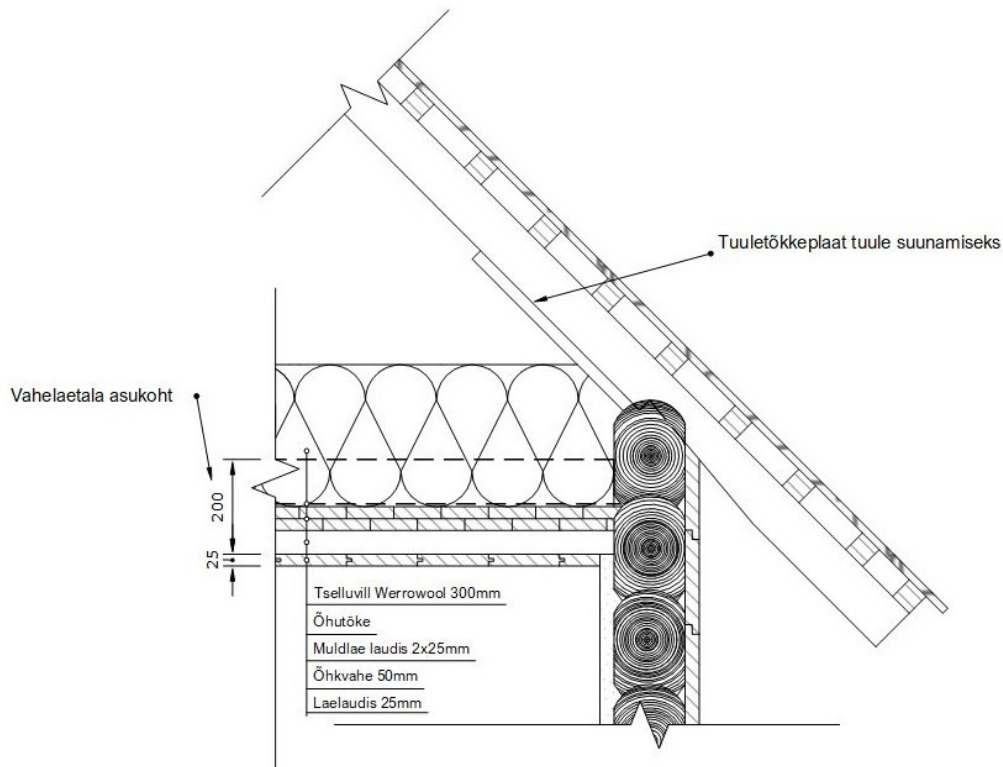


Joonis 10. Räästasõlm olemasoleva laelaudise säilimisel (Autori joonis)

$$R = 0,13 + 0,23 + 7,69 + 0,04 = 8,09 \frac{m^2 K}{W}$$

$$U = \frac{1}{8,09} = 0,12 \frac{W}{m^2 K}$$

Teises projekteeritavas sõlmes on eemaldatud ka esialgne mustlaudis, mis kandis eelnevat soojustusmaterjali. Uus laudis, mis soojustusmaterjali kandma hakkab, on viidud vahelaetalade vahele, et tulevikus saaks vajaduse korral pööning välja ehitada ilma, et peaks jalutusruumi juurde saamiseks suuremahulisi katuse- või vahelaekonstruktsiooni ümberehitustöid ette võtma. (vt Joonis 11)



Joonis 11. Räästasõlm laelaudise asemendamisel (Autori joonis)

$$R_{\text{puit}} = 0,13 + 1,54 + 5,13 + 0,04 = 6,84 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{villa}} = 0,13 + 0,38 + 7,69 + 0,04 = 8,24 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Puidu osakaal 1 m^2 tarindist on 0,2 ning villa osakaal on 0,8.

$$R = \frac{1}{\frac{0,8}{8,24} + \frac{0,2}{6,84}} = 7,93 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U = \frac{1}{7,93} = 0,126 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

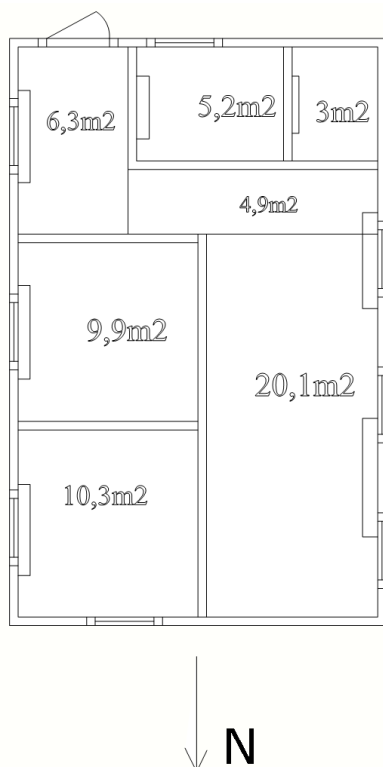
Esimese projekteeritava sõlme soojuslähivuse arväärtus on parem kui viimasel, siis ei ole mõistlik olemasolevat laetarindit muuta, kui ei ole plaanis pööningut välja ehitada. Samuti on esimene lahendus ka kulutõhusam, sest sinna tuleb lisada vähem uut ehitusmaterjali. Teise variandi kasuks on ainult asjaolu, et sellega saab soojustuse tasapinda viia umbes 16 cm

madalamale, kui esimese variandi puhul. Mõlema sõlme soojusläbivuse arvväärtuse vahe on ainult 0,06 ning seetõttu kajastan energiatõhususarvukalkulaatoris arvväärtust 0,12, mis on joonisel 10 kujutatud sõlmlahendus.

2.4 Avatäite (aken ja uks) sõlmlahendus

Aknad

Avatäidete puhul on esmalt vajalik leida akende asukoht lähtudes ilmakaarest ning arvutama välja igasse ilmakaarde jäävate akende pindala ruutmeeetrites. Kuna lähteülesandest ei selgu, kuidas hoone ilmakaarte suhtes paikneb, paneb autor hoone pikipidi põhi – lõuna külge (vt Joonis 12).



Joonis 12. Hoone paiknemine vastavalt ilmakaartele

Akna kogusoojusläbivus moodustub klaasiosa ja raamiosa soojusläbivusest. Tootja andmeid kasutades tuleb veenduda, mis väärtustega opereeritakse. Raami- ja lengiosa protsentuaalne osakaal sõltub akna suuruselt ja jaotusest, seega võivad akende kogusoojusläbivused oluliselt erineda. Akna summaarne soojusläbivus U_a $W/(m^2 \cdot K)$ arvutatakse valemiga:

$$U_a = \frac{U_k A_k + U_r A_r + U_p A_p + \Psi_k l_k}{A_k + A_r + A_p}$$

- U_k klaasiosa soojuslääbivus, W/m²K;
 A_k klaasiosa pindala, m²;
 U_r raamiosa soojuslääbivus, W/(m²K)
 A_r raamiosa pindala, m²;
 U_p lengiosa soojuslääbivus, m²; W/(m²K)
 A_p lengiosa pindala, m²;
 Ψ_k klaasiserva (aknalengi perimeetril) joonkülmastilla läbivus, W/(mK);
 l_k klaasiserva perimeetri pikkus, m. (Kurnitski et al., 2017)

Lähteülesandest ei selgu, mis akendega on antud objekti puhul tegu, selle tõttu on autor otsustanud, et arvutustes kajastatavad aknad on kaheraamsed, ühekordsete klaasidega puitaknad, mille klaaside paksus on 4 mm. Ühe ava pindala on koos lengiga **1,4 m²**. Ühe klaasi pindala on **0,139 m²** ning kuna kokku on ühel aval kuus klaasi, on ühe avataite klaasi pindala **0,834 m²**. Ehk klaasi osa kogu ava pindalast on **59,6%**. Lengi pindala on **0,13 m²**, mis moodustab **9,3%** kogu ava pindalast ning raami pindala on **0,436 m²**, mis moodustab kogu ava pindalast **31,1%**. Antud arvutuses üldistame kogu hoone joonkülmastilla 10–15% kogu hoone soojuslääbivusest, võime siin valemis selle muutuja koos klaasiserva perimeetri pikkusega (l_k) välja jätta. Vanemate akende soojuslääbivus sõltub eeskätt klaaside arvust. Ligikaudne reegel on: soojalääbivus $U=6/\text{klaaside arv}$, nt kolme klaasi puhul $U= \text{ca } 2,0$ W/(m²K) (Masso, 2012, lk 30). Antud arvutustes arvestan klaasiosa soojuslääbivusega 2,7 W/(m²K). Vanemate akende puitraamide paksus on tüüpiliselt olnud 36 mm, millest saame soojuslääbivuse antud raami puhul **1,84 W/(m²K)**. Antud leng on 15 cm paks ning selle järgi saame lengi soojuslääbivuseks **0,87 W/(m²K)**. Nüüd on kõik arvud olemas, et välja arvutada akna summaarne soojuslääbivus (U_a).

$$U_a = \frac{2,7 \times 0,834 + 1,84 \times 0,436 + 0,87 \times 0,13}{1,4} = 2,26 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Kuna autor sättis hoone paika, siis tulenevalt sellest jaotuvad aknad ilmakaarte suunas järgnevalt: põhi – 1, lõuna – 1, ida - 3, lääs – 3. Kõik aknad on ühesuurused ehk võib arvestada, et soojuslääbivused igal aval on samad. Väikeelamu energiatõhususkalkulaatorisse

sisestades on vajalik korrutada soojuislabivus avade pindalaga lahtudes ilmakaartest. (vt Joonis 13)

Piirdetarind	U_i W/(m ² ·K)	A_i m ²	H_{juhtivus} WK
Välissein	0,30	75,4	22,6
Vahelagi	0,14	63,0	8,8
Põrand pinnasel	0,20	63,0	12,6
			0,0
			0,0
			0,0
			0,0
Välisüks	1,15	2,3	2,7
Aken põhja	1,15	4,2	6,5
Aken kirdesse			0,0
Aken itta	1,15	1,4	1,4
Aken kagusse			0,0
Aken lõunasse	1,15	4,2	1,7
Aken edelasse			0,0
Aken läände	1,15	1,4	1,4
Aken loodesse			0,0
Summa		H_{juhtivus} WK	57,8

Joonis 13. Piirdetarindite soojuislabivus ja tarindite pindalad (MKM, 2018)

Kui on plaan aknaid vahetada, oleks oluline järgida esialgseid avade suurusi ning ruudujaotust. Seeläbi säilib hoone esialgne arhitektuurne ilme. Kui on aga tahtmine avasid suurendada, tuleb tähelepanu pöörata, et avade muutmisel fikseeritakse palkkehand tenderpostidega ja et sildepalk, mis hoiab vertikaalkoormust akna kohal, oleks piisav kandmaks aknaavale mõjuvat koormust.

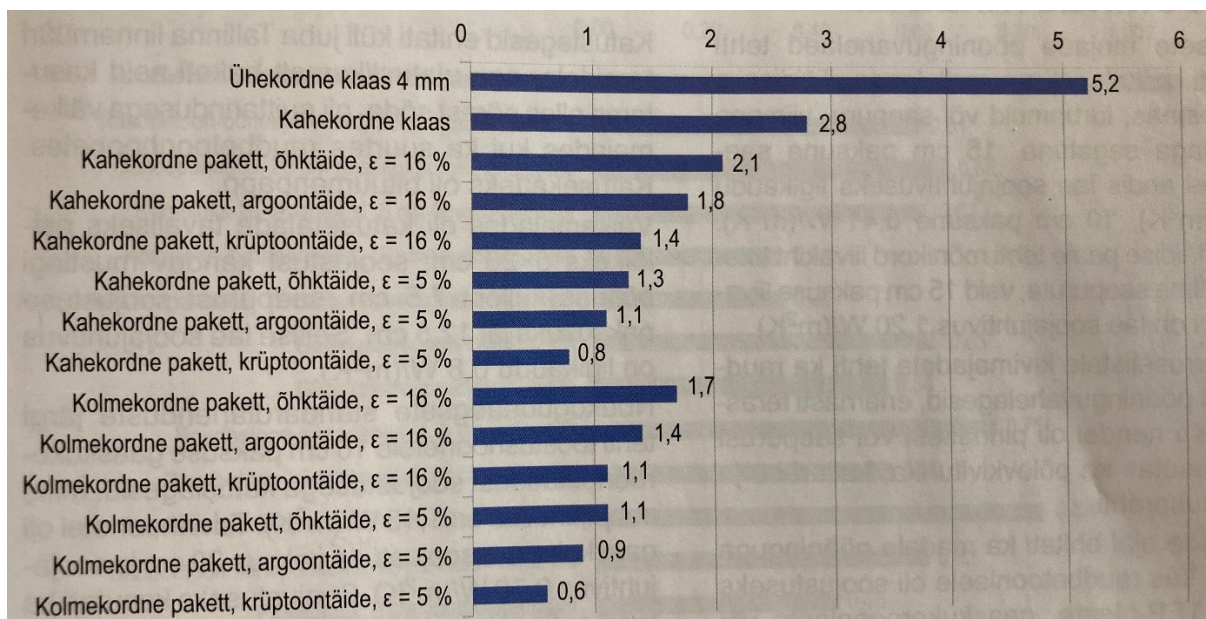
Välisseinte puhul peab silmas pidama, et akende soojakadu on 3 kuni 4 korda suurem kui seintel. Mida suurema osa välisseinast hõlmavad aknad, seda suuremad on soojakaod. Lisaks kaasneb suurte akendega suvel soojaliig ja vajadus ruume jahutada, mis omakorda vajab energiat. Seega, kuigi suured klaaspinnad on nägusad ja seostavad visuaalselt sise- ja väliskeskkonna, tuleks nende kasutamist Eesti kliimas põhjalikult kaaluda. (Masso, 2012, lk 27)

Viimast allikat arvestades tuleks akende soojapidavusele tähelepanu pöörata ehk enamgi kui ülejäänud välisseinale. Konstruktiivne osa ehk puit peab säilima ning seeläbi peaks kaaluma aknaklaase, mille soojuislabivus on väiksem kui see on hetkel 4 mm klaaside puhul. Akna soojapidavus sõltub klaasikihtide arvust, klaaside vahekaugustest, klaasidele kantud

kiirgustõkkekihtides ja klaasivaheid täitvast gaasist, samuti raamide ja piida tarindusest ning muidugi akna üldkujust ja suurusest (Masso, 2012, lk 30). Pidades silmas arhitektuurilist ilmet ning soojuslähivuse parendamist, on autori hinnangul optimaalseim kesktee säilitada/kopeerida esialgset välisraami ning klaaside vahetust sisemise raami puhul.

Klaaside vahetuse puhul on energiatõhusam kasutada pakettklaasi varianti, mille soojuslähivus on väiksem kui ühekordse klaasi puhul. Neil klaasidel on kaks või rohkem klaasi kihti, mille vahel on õhktäide või vääriskaastäide. Oluline on ka akende soojakiirguse läbilaskvus ehk emissiivsus ϵ (Masso, 2012, lk 31). Antud sõlmedes on kajastatud ainult pakettklaase, mille emissiivsus (vt Joonis 14) on 5%, kuna nende soojuslähivus on väiksem kui suurema emissiivsusega klaaside puhul. Peamisteks aknaklaasi täiteaineteks peale õhu on krüptoon ning argoon. Täispuidust aknaraamide puhul võib tekkida probleeme raami kandevõimel kui pakettide kiht liialt paksuks läheb. Ehk siis, vältimaks probleeme ning alternatiivseid aknatarindi variante, piirdub autor kahekordse pakettklaasiga.

Järgnevalt on vajadus otsustada, millist täiteainet klaaside vahel kasutada. Nagu ka eelnevalt mainitud, moodustavad aknad märkimisväärse osa kogu hoone soojakadude põhjustest. Selle tõttu on hetkel pakutavates sõlmlahendustes käsitletud krüptoontäitega pakettklaasid maksimaalse soojapidavuse saavutamiseks ning argoontäitega klaaspakett, mis on soojapidavuselt paremuselt teine.



Joonis 14. Aknaklaaside ja klaaspakettide soojusläbivus (Masso, 2012, lk 31)

Väikeste ja tiheda jaotusega akende soojakadu aknaava pinnaühiku kohta on suurem kui sama tarindusega suurte ja väheliigendatud akende puhul (Masso, 2012, lk 31). Kahe väiksema akna soojakadu on suurem kui sama pindalaga ühel suurel aknal (ibid., lk 31). Soojakadu minimaliseerimiseks tuleb pakutavates sõmlahenduses kasutusele klaaspakett, kus on kolme väiksema ruudu asemel üks ristkülikukujuline pakettklaas. Samuti on sellist klaasijaotuse lahendust ka lihtsam hooldada. Antud lahendus kehtib ainult sisemise raami puhul.

Kuna krüptoontäite soojusläbivus on väiksem kui argoonil, on see klaaspaketi variant efektiivsem hoone energiatõhususe parandamiseks. Ülaltoodud tabelist on näha, et kahekordsel paketil, millel on krüptoontäide ning emissiivsus 5%, on soojusläbivus 0,8 W/m²K.

Kui sisemise raami klaasijaotus muutub, on tarvis uuesti arvutada lengi, raami ning klaasiosa pindala osakaal ava pindalast. Antud lahendusega, kus sisemisel raamil on 6 väikse klaasiosa asemel kaks suuremat ristkülikukujulist klaasiosa, moodustab klaasi osakaal kogu ava pindalast 61,4%, lengi osakaal 9,3% ning raami osakaal 29,3%. Ava pindala on ikka 1,4 m², millest klaasiosa on 0,86 m², lengi osa 0,13 m² ning raami osa 0,41 m². Viimasena muutub veel raamiosa soojusläbivus, kuna esialgse 36 mm raami paksuse asemel on klaaspakettide puhul raami paksuseks 46 mm (vt. Joonis 15). See on muutunud, sest klaaspakett on paksem

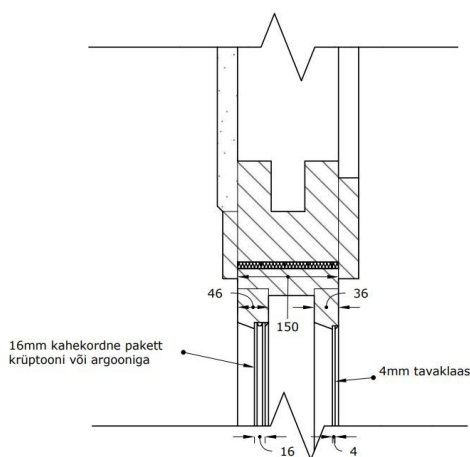
kui tavaklaas ning see tagab ka raami jäikuse ning tugevuse, et raskemat klaasi kanda. Raami soojuslähivus on paksema raami puhul $1,59 \text{ W/m}^2\text{K}$.

$$U_a = \frac{0,8 \times 0,86 + 1,59 \times 0,41 + 0,87 \times 0,13}{1,4} = 1,03 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Kui arvutada aknaava soojuslähivust, juhul kui klaaspaketis on täitegaasina kasutatud argooni, muutub ainult klaaspaketi osa soojuslähivus. Krüptooni puhul oli see $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ning argooni puhul on see $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ (vt Joonis 14).

$$U_a = \frac{1,1 \times 0,86 + 1,59 \times 0,41 + 0,87 \times 0,13}{1,4} = 1,22 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Arvväärtuse vahe on küll pigem väike, aga kui tahta ülejäänud piirdetarindite mahtu minimaalselt kasvatada, on mõistlik seda teiste piirdetarinditega maksimaalselt kompenseerida.



Joonis 15. Pakettklaasiga kaheraamse akna lõige (Autori joonis)

Uks

Hoonel on esialgu kujutatud täispuidust plankuks. Kuna aga ühekordse täispuitukse soojuslähivuse arväärtus ei ole piisav, et pakkuda piisavalt tihedat soojapidavust, oleks

mõistlik kasutada selle jaoks puitalumiinium-ust või jätta esialgne uks paika ning selle taha varju paigaldada näiteks klaasuks, mis tagab piisava soojuslähivuse arväärtuse. Antud juhul on autor otsustanud kasutada varianti, kus vana uks säilib ning juurde on lisatud soojapidavuse parandamiseks olemasoleva ukse varju klaasuks.

Klaasukse puhul saab arvutada soojuslähivust täpselt samamoodi nagu akendelgi, sest antud juhul on tegemist ühe suure aknaga. Olemasoleva plankukse puhul on soojuslähivus suurel määral ukse valmistanud tislari töö kvaliteedist ning see võib eri uste puhul erineda. Seetõttu on autor otsustanud plankukse arvutuse välja jätta. Antud arvutus annab sarnaselt aknale soojuslähivuse tulemuseks $1 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3. Tehnosüsteemid

Tänapäeval võib majaehitaja valida erinevate kütuste ja kütismooduste vahel. Kütismoodustest tulevad endiselt kõne alla eeskätt: kohtküte (ahjude ja kaminatega), vesikeskküte (põrandatorude ja radiaatorite kaudu), õhkküte, kus ruumidesse juhatakse seadmes või kolde abil soojendatud õhk. Muidugi on võimalusi rohkemgi. Näiteks laeküte, kus soojaallikas (kiirgur) paikneb laes. Soojuse allikana tulevad kõne alla: elekter, gaas, kütteõli, puithalud, hake või pelletid, kaugküte. Elekter on soojaallikaks ka nn soojapumpades, mis võivad hankida soojust lisaks pinnasest, veest, õhust ja anda sooja edasi vahetult toaõhule või vesiküttesüsteemile (põrandas või radiaatoritega). Selle järgi nimetatakse soojapumpasid maa-vesi, maa-õhk, vesi-vesi ning õhk-õhk pumbad. Viimased võivad toimida ka jahutamiseks. (Masso, 2012, lk 40)

Tabel 1. Kütteseadmete paigaldusjuhised (Vendik, 2016)

Küttesead	Seadme paigaldamise tingimused
Maasoojuspump	Maakollektori paigaldamiseks on nõutav piisavalt suurt maatükk, kus talvel aktiivselt peal ei trambita ega lükata lund. 1 m ² kütavat pinda vajab vähemalt 3 m maakollektorit ja vähemalt 3,6 m ² vaba maapinda – 150 m ² kütava pinnaga elamu vajab 540 m ² vaba maapinda. Peab olema maakollektori paigaldamise joonis. Läbiviigud ehituskonstruksioonist peavad olema hästi isoleeritud. Vajab minimaalselt 3 m ² suurust tehnoruumi. Radiaatorite või põrandakütte eeldus.
Õhk-vesi soojuspump	Seade vajab minimaalselt 3m ² suurust tehnoruumi. Seadme paigaldab spetsialist, vastasel juhul kaotab seade garantii. Välisagregaat paigaldatakse välisseinale või spetsiaalse raamiga maapinnale. Radiaatorite või põrandakütte eeldus.
Läbivoolukatel	Seadme paigaldab tehnik. Seade võtab vähe ruumi, mahub ka panipaika. Elektrikatla toitevõrk peab olema kolmefaasiline – 400/230V. Radiaatorite või põrandakütte eeldus.
Elektriradiaatorid	Elektriradiaatorite paigaldamisega saab igaüks ise hakkama ja ei vaja tehniku abi, tuleb vaid radiaator seina külge kruvida ja juhe vooluvõrku lükata.
Gaasikatel	Vajalik gaasitrassi olemasolu tänaval ja gaasivõrguga liitumistasu. Tuleb paigaldada gaasitoru elamust kuni liitumispunkti. Vajab projekteerimise lähteandmeid Eesti Gaasist. Majal peab olema nõuetele vastav korsten. Vajalik on nõuetekohane katlaruum. Radiaatorite või põrandakütte eeldus.
Pelletikatel	Katlaruum peab vastama ehitusnormidele ja tuleohutusnõuetele. Katel peab paiknema põrandal ja selle ette peab jääma vähemalt 1m vaba ruumi. Katlaruumis peab olema õhuvõtuava. Minimaalne katlaruumi pind on 6 m ² . Vajab korstnat ja küttesüsteemi. Radiaatorite või põrandakütte eeldus.
Puidukatel	Katlaruum peab vastama ehitusnormidele ja tuleohutusnõuetele. Katel peab paiknema põrandal ja selle ette peab jääma vähemalt 1m vaba ruumi. Katlaruumis peab olema õhuvõtuava. Minimaalne katlaruumi pind on 6 m ² . Vajab korstnat ja küttesüsteemi. Radiaatorite või põrandakütte eeldus. Puude ladustamiseks on vaja eraldi ruumi.
Puitbrikett katel	Katlaruum peab vastama ehitusnormidele ja tuleohutusnõuetele. Katel peab paiknema põrandal ja selle ette peab jääma vähemalt 1m vaba ruumi. Katlaruumis peab olema õhuvõtuava. Minimaalne katlaruumi pind on 6 m ² . Vajab korstnat ja küttesüsteemi. Radiaatorite või põrandakütte eeldus. Brikettide ladustamiseks on vaja eraldi ruumi.

Ülaltoodud tabelis on kajastatud kütteseadmete tingimused paigaldamisele. Tabel käsitleb kõiki kütteseadmeid, mida on võimalik antud objekti puhul kasutada. Antud hoone pindala on ainult 63 m² – ehk mida vähem ruumi võtavad kütteseadmed, seda rohkem on kasulikku pinda, kus elada. Lähteülesandes välja tulev soov säilitada ahikütet ning lisakütteseadmena

kasutusele võtta õhksoojuspump, tundub kuluefektiivsem, sest selline lahendus nõuab kõige vähem sisendenergiat (ahjud olemas ja töökorras) ning ei nõua väärtuslikke ruutmeetreid netopinnast, sest õhksoojuspump ei vaja tehnoruumi. Kuigi, et oleks võrdlusmomenti ka teiste kütteseadmetega, on autor allpool välja toonud variandid, mis oleksid antud tingimustes parimad. Seda siis arvestades kütteseadmete nõutavat pindala ning kuluefektiivsust, mida sellise hoone puhul kasutada.

3.1 Ahiküte + õhksoojuspump

Lähteülesandest lähtuvalt on renoveerimise eel küttemooduseks kohtküte – ahiküte. Samuti tuleb sealt välja, et soov on ahikutet säilitada ning lisaküttena soovitakse kasutusele võtta õhksoojuspump. Lisaküttesead on õigustatud, et ajal, mil pererahvast pikemalt kodus ei ole, oleks võimalik hoonet kütta. Õhk-õhk-soojuspumba eeliseks on veel asjaolu, et palaval suvepäeval on võimalus seda ka ruumide jahutamiseks kasutada.

Peale kuluefektiivsuse tundub autorile ahiküte üks keskkonnasõbralikumaid küttelehendusi, kuna kütus, mida põletatakse, on tihti peale hangitud ümbruskonnast. Samuti on see ainuke küttesüsteem, mis ei ole elektrist sõltuv. Hoones, mis asub hajaasustuses, on elektrikatkestuse oht suurem kui linnas. Maal elades paneb mitmepäevane või isegi paarinädalane elektrikatkestus elu seisma, kui pole alternatiivset varianti, millega sel ajal hoonet kütta. Samuti pakub küttepuudega tegelemine inimesele sooja mitu korda (lõhkumine, ladumine, küttekeha juurde toomine). Peale kõige selle, mis küll lähteülesandest välja ei tule, on renoveeritava hoone kinnistul umbes 4 hektarit sanglepametsa. Lepa energiasisaldus on 1,230 kWh/rm (Kask, 2014, lk 7). Kui sellisel maa-alal metsamaad püsimeetanduse põhimõtetele vastavalt raiuda, on see piisav metsavaru, mis on vajalike raiemahtude juures isetaastuv. Kuna aga eelmainitud asjaolud ei kajastu väikeelamu energiatõhususarvu kalkulaatoris, siis see näitab, et antud kalkulaator ei arvesta kõikide muutujatega, mis ilmnevad. See on ka täiesti arusaadav, kuna hoone omaniku küttepuude tegemine metsas, mis asub hoonest näiteks 300 meetri kaugusel, ei ole mõõdetav keskkonnajalajalg praeguste arusaamade kohaselt ning arväärtuses see ei kajastu.

Õhksoojuspumba valimisel on esmalt vaja saada paika õhksoojuspumba võimsus arvestades köetavat pindala. Tooteinfodest tuleb välja, et lisakütteseadmena suudab 63 m² ehituse aluse pindalaga hoonet kütta **4,2 kW** küttevõimsusega õhksoojuspump

(<https://kliimamarket.ee/ohksoojuspumbad/electrolux-avalanche-09>). Antud seadme hind koos paigaldusega on 997 eurot (vt Tabel 2). Kuna energiatõhususkalkulaator ei võta arvesse lisakütteseadet, vaid arvestab ainult põhikütteseadet, siis energiatõhususele õhksoojuspump midagi juurde ei anna. Õhksoojuspump selles kontekstis tõstab hoone kasutusmugavust autonoomse kütte ning jahutuse abil. See toob välja ka ühe väikeelamu lihtsustatud energiatõhususarvu kalkulaatori vea – küttesüsteemide puhul on alati mõistlik ülekatet tekitada, et oleks sõltumatus näiteks elektrist või vastupidi, kui näiteks küttepuid hind on kõrge, saab samal ajal elektriga kütta.

Tabel 2. Õhksoojuspumba paigalduskulud

Materjalid/töö	Hind	Kogus	Kokku (€)
Õhksoojuspumba Electrolux Avalanche paigaldus	997 €/tk	1 tk	997 €

Kokku: 997 €

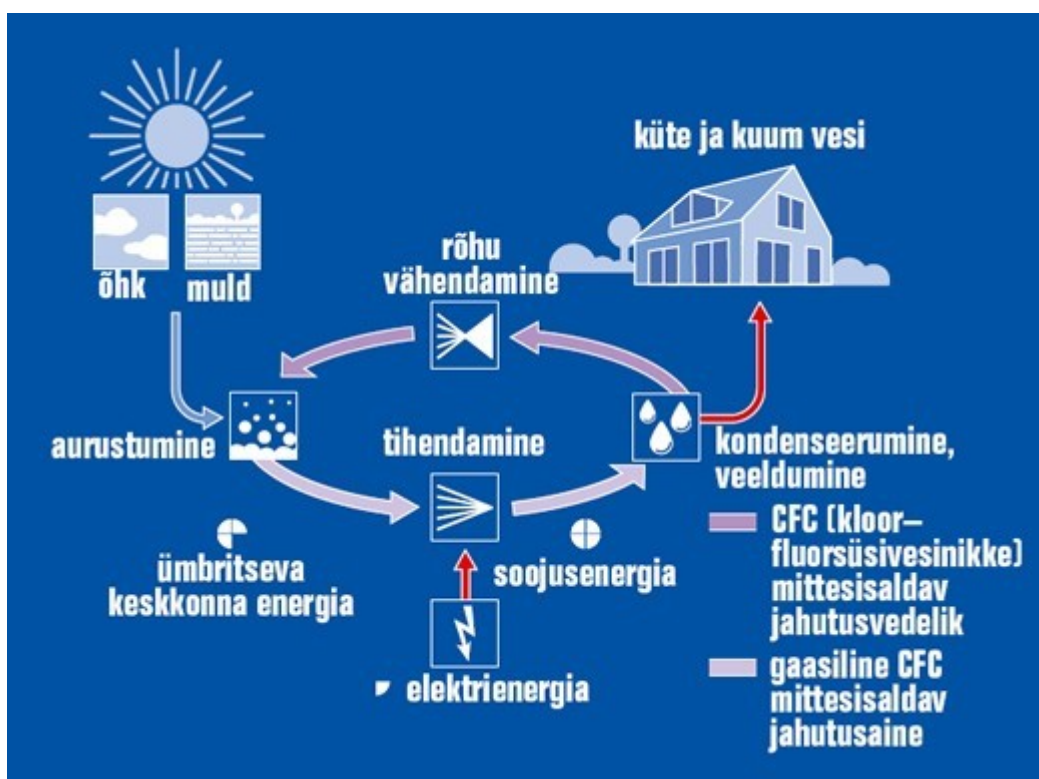
3.2 Vesikeskküte

Kuna ahiküte ei suuda projekteeritavate sõlmedega energiatõhususe eesmärki täita, on vaja kasutada alternatiivset küttemoodust. Kohtkütte väliselt saab kasutada halge kütusena veel nt halukatlas. Selline võimalus hetkel ei sobi, sest katlapõhised küttemoodused nõuavad tehnoruumi suuruseks vähemalt 6 m². Variant oleks ehitada eraldi hoone tehnoruumile, aga see on suur sisendenergia, mis ei sobi antud eelarvega. Selle tulemusel jäävad sõelale ainult soojuspumbad, mis ammutavad soojust pinnasest, veest või õhust. Kuna igal kinnistul ei ole alati veekogu lähedal, siis on üldistamiseks arvestatud soojuse hankimise viisideks ainult õhk või pinnas. Mõlema pumba puhul saab kasutada küttemoodusena radiaator- või põrandakütet. Põrandaküte antud objektil ei ole nii efektiivne kui radiaatorküte, sest vundamendi soojustamist ei ole renoveerimistöde käigus plaanis teha ning soojuskadu soojustamata vundamendi puhul on suurem põranda- kui radiaatorküttega. Kui vundament on soojustamata, tekib põrandaküte soojakao puhul efekt, kui lumisel talvapäeval on vundamendi perimeetril lumi sulanud ehk siis antud juhul tegeletakse väliskeskkonna kütmisega. Ülaltoodud põhimõttega edasi minnes on kuluefektiivseim ning töö põhimõtodega

kooskävaim variant radiaatorküte, mille soojusallika tehnoruumi maksimaalne pindala oleks kuni 3 m² (vt Tabel 1).

Maasoojuspump

Radiaatorkütte töösüsteemi toimivuse tagab elekter, mis annab soojuse edasi veeküttesüsteemile. Kuna antud hoone paikneb hajaasutuses, siis lähtuvalt sellest on vajalik soojusenergia ammutada kohapealsetest soojendamise viisidest. Esimene variant sellisel juhul on maaküte, mis ammutab soojust pinnasest (vt Joonis 16).



Joonis 16. Maasoojuspumba tööpõhimõte (<https://www.maakyte.ee/soojuspumbad/maasoojuspumbad/>)

Maaküte eeldab 1 m² kütava pinna kohta vähemalt 3,6 m² vaba maapinda ning 3 jm maakollektorit (vt Tabel 1), mis antud 63 m² hoone puhul tähendab ümardatult 227 m² vaba maapinda ning 189 jm maakollektorit. Sellisel juhul on vaja 227 m² lagedat platsi, kust pärast maakollektori paigaldamist ei tohi talvel lund ära lükata ega suuremaid kaevetöid korraldada. See võib aga väiksema krundiga hoonel problemaatiliseks osutada. Kui tegemist ongi krundiga, kus on ebapiisav hulk maa-ala, kuhu maakollektor paigaldada, on selle probleemi lahenduseks võimalik kasutada puurauku.

Puuraugud puuritakse vertikaalselt kuni 200 m ühe puuraugu kohta. Pärast soojusvahetustoru laskmist puurauku täidetakse see spetsiaalsete graanulitega. Soojuspuurauku on mõnevõrra kallim rajada kui klassikalist maakollektorit ning nende jaoks on vaja keskkonnaameti ja kohaliku omavalitsuse luba. (<https://www.maakyte.ee/tooted-ja-teenused/maakollektor/>)

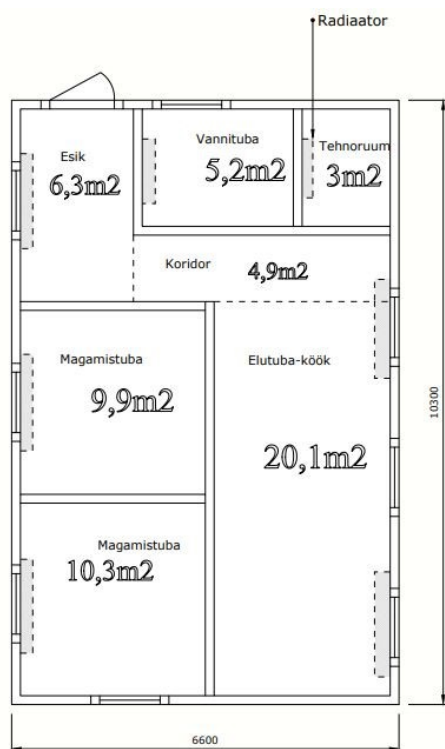
Rajatavad puuraugud on sügavusega 50–200 m ja keskmiselt on vaja eramu küttevajaduse katmiseks puurida üks kuni kaks puurauku (keskmiselt 1 m puurauku 1 m² kütava pinna kohta) (<https://www.maaküte.info/artiklid/puurkaev-energiakaev/>). Sellest tulenedes on antud hoone puhul vaja 63 meetrit puurauku.

Maasoojuspumba puhul nii väikse võimsusega pumpa ei ole, mis on mõeldud kuni 63 m² netopinnaga hoonele. Väikseima võimsusega maaküttepumbad on mõeldud alates 140 m² pindalaga hoone kütmiseks. Sellest jääb üsna suur ülekate tulevikuks, kui tekib plaan olemasolevat hoonet suurendada või lisahoone ehitada. Probleemiks on aga suurem maa-ala, kuhu maakollektor paigaldada, 140 m² korral on maa pindala, kuhu kollektor paigaldatakse, 504 m². Sellise seadme hind koos maakollektori paigalduse, kütteseadme seadistamise, kütte- ja tarbeveetorustiku paigaldamisega tehnoruumis ning transpordiga objektile, kui objekt on Tallinnast vähem kui 50 km kaugusel, on 9998 €.

(<https://kliimamarket.ee/maasoojuspumbad/compress-7800-i-lw-MF-6-inverter-boileriga>).

See aga ei hõlma endast radiaatoreid ega vajalikku torustikku, millega radiaatoreid küttesüsteemiga ühendada.

Radiaatorite paigaldamiseks ning torude vedamiseks peaks arvestama sellise mahuga hoone puhul torumehele umbes nädal aega tööd ning tunnihinne torumehel on keskmiselt 30 €/h (Kaasik, K. Personaalne suhtlus. 8. aprill 2023). Normtunde (40 h) arvestades on radiaatorite ning torude vedamise töötasu 1200 €. Järgnevalt oleks tarvidus arvutada radiaatorite ning torude maksumus. Kuna lähteülesandest ei selgu, mitu ruumi on hoones ning millest sõltub küttekehade ja torude kogus, on autor teinud ise ruumijaotuse. Ruumijaotus koosneb kahest magamistoast, vannitoast, tehnoruumist ning elutoast-köögist. Sellise jaotuse järgi oleks vajalik antud hoone kütmiseks seitse radiaatorit (vt. Joonis 17).



Joonis 17. Ruumijaotus ning radiaatorite paiknemine (Autori joonis)

Reegel on, et eluruumide võimsustarve on $20\text{--}40\text{ W/m}^3$ (üldlevinud $2,5\text{ m}$ lagede korral teeb see siis $50\text{--}100\text{ W/m}^2$), kus 20 W/m^3 on väga hästi soojustatud uuseramu ning 40 W/m^3 on amortiseerunud hoone kohta (<https://radiaatorikeskus.ee/tasub-teada/>). Antud hoone lae kõrgus põrandapinnast on olenevalt lae renoveerimislahendusest kas $2,2\text{ m}$ või $2,4\text{ m}$.

Vajaliku radiaatorite arvu arvutamiseks kasutame arvväärtust $2,2\text{ m}$. Arvestame, et antud hoone eluruumide võimsustarve on 30 W/m^3 . Antud laekõrgust arvestades on võimsustarve 66 W/m^2 . Põhiplaani järgi on vajalik võimsustarve antud hoone ruumijaotust arvestades järgnev: magamistuba 1 – 680 W , magamistuba 2 – 653 W , elutuba-köök – 1320 W , esik/koridor – 673 W , vannituba – $343,2\text{ W}$ ning tehnoruum – 198 W .

Kuna antud hoonel on põrandast akende kõrguseni 525 mm , on mõistlik valida radiaator, mis oleks 400 mm kõrge, et radiaatoril oleks paigaldusruumi ning see ei ulatuks akende lengist kõrgemale. Hinnad radiaatoritele kõrgusega 400 mm ning küttevõimsusega 711 W algavad turul 67 €/tk (<https://www.feb.ee/et/plaatradaator-purmo-compact-11-400-1000>). Antud radiaatoritega saab ära lahendada kahe magamistoa, elutoa-köögi ning esiku/koridori kütmise. Vannitoa kütmissõimsust ning akende kõrgust silmas pidades sobivad radiaatorid algavad hinnaga 50 €/tk (<https://www.feb.ee/et/plaatradaator-purmo-compact-11-400-500>).

Tehnoruumi küttevajadust täitva radiaatori hinnad algavad ka 50 €/tk (<https://www.feb.ee/et/plaatradiator-purmo-compact-11-400-500>). Kogu kulu radiaatoritele oleks antud hoonel 435 €. Vajalikku toru, mis sellise hoone puhul on vajalik, et radiaatorid keskkütteseadmega ühendada, on antud objekti puhul vaja hinnanguliselt 150 jooksvat meetrit. Sobilikku toru jooksva meetri hind turul algab 2,32 eurost (<https://interbauen.ee/1013578-uponor-uni-pipe-plus-toru-isoleeritud-s6-16x2-0mm-sinine-75m.html>). (vt Tabel 3)

Tabel 3. Maasoojuspumba rajamise materjali-/paigalduskulud (16.04.2023 seisuga)

Materjalid/Töö	Hind	Kogus	Kokku (€)
Maasoojuspump+paigaldus	9998 €/tk	1 tk	9998
Radiaatorid 711W	67 €/tk	5 tk	335
Radiaatorid 356W	50 €/tk	2 tk	100
Toru 16 x 2,0 mm	2,32 €/jm	150 jm	348
Torumehe tööaeg	30 €/h	40 h	1200

Kokku: 11 981 €

Õhk-vesi soojuspump

Teine kütmisslahendus radiaatorküte realiseerimiseks on õhk-vesi soojuspump. Antud lahenduse eeliseks maasoojuspumba ees on asjaolu, et selle jaoks ei ole vajadus maapinda rajada maakollektoreid, vaid pump läheb eraldi alusele maja kõrvale. Miinuseks sellise variandi puhul on asjaolu, et see võib rikkuda hoone terviklikku välisarhitektuuri ning selle varjualusega katmine tuleks lahendada maitsekalt.

Nagu ka õhk-õhk soojuspumba puhul tuleb esmalt määrata soojuspumba küttevõimsus, mis on sobilik antud pindalaga hoone puhul. Tooteinfost tuleb välja, et 63 m² kütmiseks on vajalik 3,2 kW küttevõimsusega õhk-vesi soojuspump (https://kliimamarket.ee/ohk-vesi-soojuspumbad/panasonic-aquarea-all-in-one-Compact%203kw-185l-boiler_1_2). Antud küttevõimsusega õhk-vesi soojuspumba tegelik võimekus on 75 m², mis jätab tulevikus võimaluse laiendusteks. Antud õhk-vesi soojuspumba hind on koos paigaldusega on 6438 €. Paigaldus hõlmab sarnaselt maasoojuspumbale seadme paigaldamist väljaspoole hoonet, ka ühendamist tehnoruumis. Küttekehade paigaldus ruumis ja nendega ühenduvate torude vedamine jääb pakkumisest välja, kuid selle jaoks kasutame eelnevalt välja toodud väärtusi, sest ülejäänud töö iseloom ei erine. (vt Tabel 4)

Tabel 4. Õhk-vesi soojuspumba materjali-/paigalduskulud (16.04.2023 seisuga)

Materjalid/Töö	Hind	Kogus	Kokku (€)
Soojuspump+paigaldus	6438 €/tk	1 tk	6438 €
Radiaatorid 711W	67 €/tk	5 tk	335
Radiaatorid 356W	50 €/tk	2 tk	100
Toru 16 x 2,0 mm	2,32 €/jm	150 jm	348
Torumehe tööaeg	30 €/h	40 h	1200

Kokku: 8421 €

3.3 Ventilatsioon

Traditsiooniliselt on ventilatsioon lahendatud akendega. Samuti pakub ventilatsiooni vanal rõhtpalkhoonetel ebakvaliteetne konstruktsiooni ehitus. Antud juhul pääseb õhk liikuma palkide vahelt, kuna palkide kokkupuutepind (vara) ei ole tihe. Tänapäeval on ehituskvaliteet tõusnud ning hoonetel, mis paiknevad tihedalt asustatud aladel, ei ole võimalik väliskeskkonna müra tõttu aknaid avada.

Siseõhu kvaliteet tagatakse soojustagastusega sissepuhke- ja väljatõmbeventilatsiooniga. Ventilatsioonisüsteemis kasutatakse efektiivset soojustagastust, madala rõhulanguga torustikku ja ventilatsiooniseadme komponente ning kõrge kasuteguriga ventilaatorit ja juhtseadet. (RT I, 07.07.2020, 11)

Ülaltoodud teksti järgi on eeldus, et siseõhukvaliteet on kohustuslik tagada soojustagastusega sundventilatsiooniga. Autori arvates selline lahendus toimib avalike hoonete ning korterelamute puhul. Avalike hoonete puhul ongi tarvis õhku tubadesse toruga juurde tuua, sest inimeste kontsentratsioon ühel ruutmeetril on suurem kui näiteks ühepereelamus ning puuduliku ventilatsiooni puhul tekiks õhupuudus. Ventilatsiooni kasuks räägivad avalike hoonete ning korterelamute puhul, et akende avamine võib olla tülikas, kuna sellised hooned paiknevad linnakeskkonnas ning väljast tulev müra võib inimesi hoonetes häirida. Autor näeb aga, et hajaasutuses ventilatsioon ei tohiks olla ainuõige variant, kuna inimeste kontsentratsioon ruutmeetril on väiksem kui näiteks avalike hoonete puhul ning väliskeskkonna müra ei ole nii häiriv, kuna ollakse teistest asustatud aladest eraldatud. Kuna ventilatsioon eeldab elektri olemasolu, mis on tagatud tihedalt asustatud piirkondades, kuid mitte hajaasutuses, siis autori arvates ei tundu see nõue asjakohane.

Väikeelamu energiatõhususarvu kalkulaatori järgi ei ole võimalik energiatõhususeesmärke täita, kui hoonel ei ole soojustagastusega ventilatsiooni. Olenemata, millised on välispiiretarindid ning millised kütteseadmed. Mis jällegi autori arvates ei ole asjakohane, sest hoonet, mis asub hajaasutuses ning hoonet, mis paikneb tihedalt asustatud alal, tuleks käsitleda erinevate põhimõtete järele. Hajaasutuses paiknevalt hoonelt ei saa eeldada, et aasta läbi on elektrienergia saadaval ning elektrikatkestused peaksid olema projekteerimisfaasis arvestatud võimalusena, mitte äärmusliku olukorrana. Antud juhul tuleks säilitada just vabavoolset õhuvahetust ning autonoomset küttesüsteemi.

Tehnosüsteemid	Soojusallikad		Maasoojuspump	Õhk-vesi soojuspump	Tõhus kaugküte	Ahküte ja el.boiler	Gaas-kondensatsioonikatel		
Projekteeritud õhk-vesi või maasoojuspumba nominaalvõimsus, kW	3,2	Netovajadus	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.		
Arvutuslik välisõhu temp., °C	-21	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)		
Kütteviis	radiaator	Ruumide küte	89,1	26,8	38,7	102,1	148,5	96,7	
Soojustagasti tüüp	rootorsoojustagasti	Vent. õhu soojendamine	66,2	66,2	66,2	66,2	66,2	66,2	
Soojustagastuse temperatuurisuhtarv, -	0,00	Tarbevee soojendamine	30,0	11,9	16,5	33,3	30,0	31,6	
vent. risa soojendamine	elektrikalorifeer	Ventilaatorid ja pumbad	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	
Ventilatsioonisüsteemi erivõimsus, kW/(m ³ /s)	0,0	Valgustus	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	
Päikesepaneelide maksimaalne võimsus, kW	0,0	Seadmed	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	
Kollektori aktiivpindala, m ²	0,0	Toodetud lokaalne taastuvelekt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Kollektori või paneeli suunatus	põhi	Taastuvelektri omatarve, %	0	0	0	0	0	0	
Kollektori või paneeli kaldenurk	15°	Tarbitud lokaalne taastuvelekt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		Eksporditud lokaalne taastuvelekt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		Summa	213,1	132,7	149,2	230,4	272,5	223,3	
		Kaalutud energiakasutus	265,5	298,4	278,0	344,5	318,2		
Paneeli paigaldusviis	mõõduka tuulutusega	B-klassi ETA piirv	165	ETA (ilma PV)	265	298	278	344	318
		C-klassi ETA piirv	185	ETA	265	298	278	344	318

Joonis 18. Vabavoolse ventilatsiooniga energiatõhusmärgise arväärtused

Joonis 18 järgi ei olegi võimalik vabavoolse ventilatsiooniga (aknad, värskõhuklapid) energiatõhususe eesmärke täita. Antud tabelis on kajastatud selle uurimuses käsitletud maksimaalseid välispiirdetarindite soojuslähivuse arväärtusi. Kuna uurimuse eesmärgiks on hetkel kehtivate norme arvestades energiatõhusust parandada, siis on ka eelarvestatud soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi väljaehitus antud hoonel. Kajastatud on ainult soojustagastusega ventilatsioonisüsteem, sest soojustagastusega ventilatsioonisüsteem on lihtsustatud kujul vabavoolne ventilatsioon, mis on elektril põhinev ning mis tarbib rohkem energiat kui seda säästab.

Hoone kogu ventilatsioonisüsteemi väljaehitamine maksab hinnanguliselt 4410 eurot (vt Tabel 5). Millegi moodustavad materjalid (torud, kinnitustarvikud, jne) ning nende paigaldus 1472 eurot, seade Vallox 2560 eurot ning mõõdistamine ja seadme käivitamine 378 eurot. Antud ventilatsiooniseadme erivõimsus on 0,9 kW/(m³/s) ning soojustagastuse temperatuuri suhtarv 0,9. (Mägi, V. Personaalne suhtlus. 13. aprill 2023)

Tabel 5. Soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi materjalid -/paigalduskulud (16.04.2023 seisuga)

Materjalid/Töö	Hind	Kokku (€)
Materjalid+paigaldus	1472 €	1472
Seade Vallox	2560 €	2560
Möödistamine, seadme käivitamine	378 €	378

Kokku: 4410 €

Järgnev eelarvestus hõlmab endast vabavoolset ventilatsiooni. Vabavoolse ventilatsiooni tagamiseks on ajalooliselt olnud aknad, aga praegusel ajal on mõistlik paigaldada lisaks ka värskõhuklapid, mis ei eelda akende avamist, kui selle jaoks ei ole väliskeskkonnas sobilikud tingimused. Põhiplaani järgi võiks autori hinnangul arvestada sellise hoone peale nelja värskõhuklapiga. Üks vannituppa ning elutuppa ning üks ka mõlemasse magamistuppa. Üldiselt võiks värskõhuklappe vajaduse järgi paigaldada hiljem ehk hoones pärast renoveerimist mõnda aega sees elada ning sellega välja selgitada, kui palju klappe tegelikult vajatakse. Odavaimad värskõhuklappid algavad 36,72 eurost (<https://cliox.planet.ee/toode/tl-80r-varskeohuklapp-o85x310-kmpl/>). Esialgse planeeritava vajaduse järgi oleks investering antud klappidesse 147 eurot (vt Tabel 6). Paigaldus antud klappidel on üsna lihtne ning ei nõua spetsialisti kohalolu. Et hinnanguliselt siiski paigaldust arvestada, arwab autor, et nelja värskõhuklapi paigaldus võiks aega võtta pool päeva ehk neli tundi. Arvestame töötunni hinnaks jällegi 30 €/h (sisaldab käibemaksu).

Tabel 6. Vabavoolse ventilatsioonisüsteemi materjalid -/paigalduskulud (16.04.2023 seisuga)

Materjalid/Töö	Hind	Kogus	Kokku (€)
Värskeõhuklapp TL 80R	36,72 €/tk	4 tk	147
Paigaldus	30 €/h	4 h	120

Kokku: 267 €

4. Renoveerimismaksumus ja ülalpidamiskulud

Järgnev peatükk kirjeldab ülaltoodud sõlmede hinnangulisi maksumusi ning planeeritavaid ülalpidamiskulusid. Hinnangud on kujunenud tehes struktureerimata intervjuusid valdkonna spetsialistidega ning autori enda kogemuste põhjal. Nimetatud renoveerimismaksumus eeldab kliendilt lammutustöid ning konstruktsiooni korrasolekut (katus, vundament, palkkehand). Selliste vanade hoonete renoveerimist on üldisest mõistlikum teha avatud eelarvega, sest üllatusi tekib igal sammul ning sellisel viisil ei saa kannatada töö tegija ega klient. Samuti on antud eelarvestuse eesmärgiks kajastada üldist renoveerimismaksumust sarnase konstruktsiooniga hoonete puhul. Sisse ei ole arvestatud transpordikulud. Tarned peaksid tulema võimalikult suures mahus objekti lähipiirkonnast ning logistika peab olema läbi mõeldud. Et aga klient saaks eelarvestada enda võimalikku investeeringut, on esmane eelarvestus vajalik.

Üheks püstitatud eesmärgiks oli analüüsida, kas on mõistlik algselt teha suurem investeering ning küttekuludelt kokku hoida või kasutada renoveerimiseks vähem ressursi ning maksta hilisemalt rohkem küttekuludeks. Seetõttu on ka alumise palgi ja vundamendi sõlmes variante, kus soojustusmaterjali on vähem ning fookus seatud eesmärgile tarind tuulekindlamaks saada. Samuti räägib vähema soojustusmaterjali kasuks asjaolu, et neid lahendusi kasutades säilivad paremini hoone proportsioonid ning välisilme.

4.1 Renoveerimismaksumus

Arvestades töö kronoloogilist järjekorda on esimeseks arvutuseks alumise palgi ja vundamendi sõlme maksumus. Antud sõlmes kajastan peamiselt fassaadi maksumust ning materjale: Steico Universal ning 100 mm tselluvilla+tuuletõke. Esmalt on mõistlik paika panna fassaadi ruutmeetrid, mille järgi saab arvutada kogu materjali. Kui välja jätta akna- ja ukseavad, on fassaadi pindala 75,4 m².

4.1.1 Fassaad

Steico universal

Steicol on Eestis ligi viis maaletoojat. Turu-uuringut tehes tuli kõige odavamaks ruuduhinnaks 16,5 €/m², mis teeb 75,4 ruutmeetrise fassaadpinna katmise maksumuseks 1244

eurot (<https://www.ehomer.ee/et/soojustus/tuuletoke-ja-aluskatted/tuuletokkeplaadid/steicouni.html>). Steico paigaldusjuhendit sirvides on 3,8 x 100 mm naelte vajadus ühele ruutmeetrile 6 tk (Steico universal special paigaldusjuhend). Naela hind, mis on ligilähedane antud mõõtudele, on 4 senti tk (<https://www.k-rauta.ee/p/naelad-ehituse-essve-m-fusion-90-mm-x-3-1-mm/dpq0?cat=bp2&index=1>). Sellest lähtudes on vaja 75,4 ruutmeetrist hoone puhul 450 naela, mis teeb naelte hinnaks 18 €. Samuti on vaja antud lahenduse puhul plaadi vuugid teipida, et tarind oleks maksimaalselt tuultpidav. Sobiva teibi jooksva meetri hind (turul odavaim) oli 1,04 €

(<https://pood.tervemaja.ee/toode/universaalteip-pro-clima-tescon-vana/>). Sellise teibi kulu võib igal objektil suurel määral erineda, kuid varuga arvestades võib sellise hoone puhul arvestada umbes 175 jooksva meetriga, mis teeb summaks 182 €. (vt Tabel 7)

Järgnevalt tuleb eelarvestada fassaadilaua ning distantssliistu maksumus. Kuna fassaade saab lahendada väga erinevalt, on autor vastavalt kliendi soovidele mõelnud fassaadilahenduse, mis kopeeriks esialgset arhitektuurset välisilmet ning oleks ka kuluefektiivne.

Välisvoodrilauaks oleks horisontaalselt paigaldatud 21 mm x 195 mm kuuselaud. Sellise laua hind turul on 20 €/m² (<https://puumarket.ee/toode/valisvoodrilaud-kuusk-uyv-21x145x6000mm/>). Distantssliist, mis tagab fassaadi taguse ruumi õhutuse, on 22 mm x 100 mm x 2700 saelaud, mille jooksva meetri hind on 0,95 € (<https://puumarket.ee/toode/laud-kuivatatud-22x100x2700mm/>). Kui paigaldada antud hoonele vertikaalne distantssliist 600 mm-se sammuga, kulub hoone sellist lauda ümardatult 150 jm. Distantssliistu naela kogus, mis on samuti mõõduga 3,8 x 100 mm on ümardatult 800. Fassaadilaua naelade kulu on hinnanguliselt 20 tk/m² ning antud fassaadi pinnaga hoone puhul on naelte koguseks 1500 tükki. Antud fassaadilaua paksuse juures on sobilik kasutada kuumtsingitud naela, mille mõõdud on 2,9 x 65 mm. Sellise naela tükihind turul on 3 senti tk

(https://www.naelad.ee/et/pustolinaelad/3-34-kassetnaelad-210-plastseotud-50-90mm-pustolinaelad.html#/41-kassetnaela_variant-21_6529_kz_kamm_2500tk).

Viimaseks arvutuseks antud sõlmel jääb viimistlusvahendi kulu välisvoodrilaua pinnale. Kuna tegu on viimistlusvahendiga ning ei ole kriitilise väärtusega tervet tarindit arvestades, peab autor õigeks see välja jätta ning töödelda pind raudsulfaadiga, mis pakub puidule kaitset seente eest ning tõstab puidu ilmastikuoludele vastupidavust.

(<https://www.heamajapood.ee/et/a/raudsulfaat>). Raudsulfaati segatakse 1 kilo 10 liitri sooja veega ning 1 liitriga saab töödelda 4–5 m² saetud materjali pinda

(<https://www.heamajapood.ee/et/a/raudsulfaat>). Antud hoone puhul teeb see raudsulfaadi kogukuluks 1,66 kg.

Tabel 7. Fassaadi materjalide maksumus soojustades Steico Universal-ga (20.04.2023 seisuga)

Materjalid	Hind	Kogus	Kokku (€)
Steico universal (35 mm)	16,5 €/m ²	75,4 m ²	1244
Kuumtsingitud naelad Steicole (3,1 x 90 mm)	0,04 senti/tk	450 tk	18
Vuugiteip (6 cm x 30 m)	1,04 €/jm	175 jm	182
Distantслиist (22 x 100 x 2700 mm)	0,95 €/jm	150 jm	142,5
Kuumtsingitud naelad distantstile (3,1 x 90 mm)	0,04 €/tk	800 tk	32
Väliswoodrilaud (21 x 195 mm)	20 €/m ²	75,4 m ²	1508
Kuumtsingitud naelad fassaadile (2,9 x 65 mm)	0,03 €/tk	1500 tk	45
Raudsulfaat	4 €/kg	1,66 kg	6,64

Kokku: 3178,14 €

Järgnevalt on vaja eelarvestada ka antud materjalide paigalduse maksumus. Tihtipeale vanade hoonetel puhul ei kehti tüüpilised ruutmeetri hinnad, kuna iga objekt on väga erinev. Sellest tulenedes on autor ise vastavalt oma kogemustele arvanud välja ühikuhinnad ning eritööde puhul konsulteerinud spetsialistidega. Umbes 150 m² netopinnaga riskihti-naelpuit hoone soojustavad Steicoga neli meest kahe päevaga (Mardisoo, M. Personaalne suhtlus. 23. märts

2023). Sellest lähtudes võib arvestada, et 63 m² netopinnaga hoone katmine Steicoga võtab kahel mehel aega kaks päeva. Antud kogus on ümardatud, kuid kuna autor aktiivselt tööturul tegutseb, on mõistlik vana hoonet renoveerides jätta kerge ajaline puhver, sest üllatusi tekib igal sammul. Olenevalt piirkonnast on tunnitasu, millega ettevõtte üldehitajat müüb, erinev. Hinnanguliselt võib see jääda 20–30 €/h + km (Mardisoo, M. Personaalne suhtlus. 23. märts 2023). Lähtume hetkel keskteest ehk 25 €/h + km, mis teeb erakliendile hinnaks 30 €/h. Ainult Steico paigaldamine läheb maksma 960 €.

Distantslaudade paigalduseks annab turu-uuring 2 €/jm (<https://eliitehitus.ee/hinnakiri/>). Jällegi lisame nii-öelda vana maja koefitsendi ehk arvestame selleks tööks 3 €/jm. Kuna hinnanguliselt on distantslauda vaja paigaldada 150 jooksvat meetrit, teeb see töö hinnaks 450 €. Välisvoodrilaua paigalduse hind algab alates 15 €/m² (<https://eliitehitus.ee/hinnakiri/>). Kuna antud voodri lahendus on lihtne horisontaallaudis, siis lisame samuti vana maja puhul kerge varu ning arvestame hinnaga 16 €/m², mis teeb välisvoodri paigalduse töörahaks 1200 €. Viimase asjana tuleb arvesse võtta välisviimistlus. Turg määrab ühe viimistluskihi hinna vahemikuks 3–5 €/m² (<https://eliitehitus.ee/hinnakiri/>). Kuna pinnaviimistlus vana maja puhul ei erine uue maja pinnaviimistlusest, arvestame kuluks 4 €/m². See teeb antud hoone viimistlemise töörahaks 302 €. (vt Tabel 8)

Tabel 8. Tööraha maksumus soojustades Steico Universaliga (23.03.2023 seisuga)

Töö	Hind	Kogus	Kokku €
Steico paigaldus	30 €/h	32 h	960
Distantslaudade paigaldus	3 €/jm	150 jm	450
Välisvoodri paigaldus	16 €/m ²	75,4 m ²	1206,4
Pinnatöötlus raudsulfaadiga	4 €/m ²	75,4 m ²	302

Kokku: 2918,4 €

Arvestades materjalide ja tööde eest makstavat raha, on kogu välisseina piirdetarindi renoveerimine Steico Universaliga 6100 €. Mis teeb 75,4 ruutmeetrise fassaadi ühe ruutmeetri hinnaks 81 €.

100 mm tselluvill + tuuletõkkekangas

Erinevalt eelnevast variandist on järgneva sõlme materjali ja tööjõukulu suurem, kuid selline lahendus aitab tänu paremale soojuslähivuse (U) arväärtusele paremini energiatõhususe eesmärke täita.

Tselluvilla märgpaigalduseks on 100 mm kihi puhul vaja palkkehandile vertikaalroovi mõõtudega 50 x 100 mm. Samuti on vaja paigaldada alla ja üles horisontaalroov, et tselluvill poleks kuskilt avatud, et ülevalt tulev tuul ega vundamendi alt tulev kapillaarniiskus ei pääseks villa sisse villa soojustusomadusi kahjustama. Nõutav roovi samm tselluvilla märgpaigalduseks on 600 mm. Selle tingib spetsiaalne frees, mis pärast tselluvilla paigaldust freesib roovidest kõrgemale jääva villa rooviga tasa. Antud objekti puhul on vajadus sellise roovi järele 210 jm. Selliseks rooviks sobib hästi 50 mm x 100 mm x 2700 mm kuivatud prussi, kuna seina kõrgus on 2,6 m, mis tagab seina paigaldades minimaalse materjali kao. Antud prussi odavaim hind tooteturul on 1,84 €/jm (<https://puumarket.ee/toode/pruss-kuivatatud-50x100x2700mm-2/>).

Nimetatud roov kinnitatakse terasest nurgikutega. Kuna planeeritud on ka horisontaalroov üles ning alla, arvestame ühele vertikaalroovile neli nurgikut. Spetsiaalse roovinurga hind on 1,60 €/tk (<https://www.inserv.ee/products/81932/roovinurk-lv1-80x60x40x2-mf-451511-essve>). Antud hoonele on selliseid nurgikuid vaja täpselt arvestades 210 tükki, kuid kuna antud hoone ei ole standartne ning vaja võib olla erilahendusi, arvestame nurgikute kuluks 230 tükki. Nurgikud tuleb kinnitada 50 mm pikkuste spetsiaalsete nurgakruvidega, mille odavaim hind turul on 0,05 €/tk (<https://espak.ee/epood/toode/nurgakruvi-5050-tx25-zn-250-tk-pk/>). Selliseid kruve peaks iga nurga kohta panema vähemalt kuus – kolm palkkehandile ning kolm roovile. Kui arvestame kuus kruvi nurga kohta, saame kruvide koguseks hoonel 1380, mis on arvestatud 230 nurga järgi.

Tselluvilla märgpaigaldus on spetsifiline töö ning nõuab vilunud eksperti. Tselluvilla märgpaigaldusega on katmisvajadus antud hoonel 75,4 m². Roovi kõrgus on küll 10 cm, aga

arvestame villa paksuseks 13 cm, sest vanad palkseina ei ole kunagi sirged ning see annab piisava ruumi, millega roovi palkseinal sirgeks ajada. Antud paksuse juures annab see meile 9,8 m³ suuruse ruumala, mis on vaja tselluvilla täis pritsida.

Tselluvilla märgpaigaldus vertikaalpinnale on spetsifilisem kui kuivpaigaldus horisontaalpinnale. Selles osas konsulteeris autor tselluvillatöödega igapäevaselt tegeleva spetsialistiga. Antud hoone soojustamiseks on vaja 13 cms paksuse kihi puhul 32 kotti tselluvilla ehk 480 kg. Paigaldaja müüb ühte kotti 12,6 euroga. Märgpaigalduse puhul on tarvidus ka spetsiaalse liimi järele, mis aitab villal roovi vahele kinnituda. Antud liimi on vaja 2 x 15 kg ning paigaldaja müüb ühte ämbrit 60 €/tk. (Nõmmik, M. Personaalne suhtlus. 13. aprill 2023)

Viimase asjana on vaja arvutada tuuletõkkekanga maksumus. Tuuletõkkekanga Wall Protect SK2 odavaim ruutmeetri hind on 1,27 €. Antud kanga paigaldamine toimub esialgu klambritega ning lõplikult fikseerivad selle distantslauad. Klambri koguse arvutamine on üsna keeruline, kuna tihtipeale on paigalduse käigus nende kadu oluliselt suurem kui kruvide või naelte puhul. Peale selle võiks antud hoone puhul arvestada ca 900 klambri. 1000 klambri karp maksab jaemüügis 3,25 eurot (<https://www.bauhof.ee/et/p/124682/klambrid-12mm-1000tk-pk>). Kogu renoveerimise maksumuse juures on see muidugi kaduvväike summa. Sarnaselt eelmise kahe välisvoodrilahendusega on distantslaua ja fassaadilaua paigaldus ning materjalide kogus sama. (vt Tabel 9)

Tabel 9. Fassaadimaterjalide maksumus soojustades 100 mm tselluvill+tuuletõkkekangas (20.04.2023 seisuga)

Materjalid	Hind	Kogus	Kokku (€)
Roov (50 x 100 x 2700)	1,84 €/jm	210 jm	386,4
Roovinurk (80 x 60 x 40)	1,6 €/tk	230 tk	368
Nurgakruvi (5,0 x 50)	0,05 €/tk	1380 tk	69

Materjalid	Hind	Kogus	Kokku (€)
Tselluvill	12,6 €/kott	32 kotti	403,2
Sitol liim 6740	4 €/kg	30 kg	120
Tuuletõkkekangas Wall Protect SK2	1,27 €/m ²	75,4 m ²	95,8
Klambrid (12 mm)	3,25 €/karp	1 karp	3,25
Distantслиist (22 x 100 x 2700 mm)	0,95 €/jm	150 jm	142,5
Kuumtsingitud naelad distantisile (3,1 x 90 mm)	0,04 €/tk	800 tk	32
Välisvoodrilaud (21 x 195 mm)	20 €/m ²	75,4 m ²	1508
Kuumtsingitud naelad fassaadile (2,9 x 65 mm)	0,03 €/tk	1500 tk	45
Raudsulfaat	4 €/kg	1,66 kg	6,64

Kokku: 3179,79 €

Antud tarindi paigaldamine on aeganõudvam ning keerulisem tegevus kui ülaltoodud plaatmaterjalide seina kinnitamine. See teeb ka töö kallimaks kui eelnevate sõlmede materjalide paigaldamine. Selliste roovide paigaldus algab 18 €/m² (<https://eliitehitus.ee/hinnakiri/>). Vanade käsitööpalkmajade palkkehandid ei ole kunagi täpselt loodis, seega on mõistlik lisada antud tööle kerge puhver, et roovi rihtimisele minev aeg jääks kindlalt eelarvestuse raamidesse. Seetõttu arvestame roovi paigaldamiseks 22 €/m².

Seekord arvestame fassaadi pinna sisse ka avatäited, mille ümber peab ka roovituse paigaldama. Pakkumise põhjal tuli antud hoone välispiirde soojustamise töörahaks 720 € (Nõmmik, M. Personaalne suhtlus. 20. aprill 2023). Kui aluspind on korralikult tehtud, ei ole autori hinnangul tuuletõkkekanga paigaldamine kuigi ajamahukas ning autori kogemusest lähtuvalt võiks ainult tuuletõkkekanga paigaldamisele kuluda kahel mehel üks tööpäev. Arvestame jällegi ühe mehe tunnihindeks 30 € (sisaldab km), saame ajalise kulu 16 tundi. (vt Tabel 10)

Tabel 10. Tööraha maksumus soojustades 100 mm tselluvill + tuuletõkkekangas (20.04.2023 seisuga)

Töö	Hind	Kogus	Kokku
Vertikaalroovi paigaldus	22 €/m ²	89 m ²	1958
Tselluvilla märgpaigaldus	9,5 €/m ²	75,4 m ²	720
Tuuletõkke paigaldus	30 €/h	16h	480
Distantslaua paigaldus	3 €/jm	150jm	450
Voodrilaua paigaldus	16 €/m ²	75,4 m ²	1206,4
Pinna töötlemine raudsulfaadiga	4 €/m ²	75,4 m ²	302

Kokku: 5116,4 €

4.1.2 Vahelagi

Lae ja seina sõlmes tuleb arvestada renoveerimismaksumuse sisse ainult vahelae soojustamine, kuna välisseina soojutsmaist on juba kirjeldatud. Arvestame ainult ühte vahelae sõlme (vt Joonis 10), sest seda on antud uurimuses väikeelamu energiatõhususarvu

kalkulaatoris ainukesena käsitletud ning see on kuluefektiivsem kui alternatiivne sõlm, sest uusi materjale, mida peab paigaldama, on vähem.

Võrreldes fassaadiga on antud sõlm konstruktiivselt lihtsam ning erinevate materjalide hulk on väiksem. Vaja on ainult õhutõket, tuuletõkkeplaati ning tselluvilla. Õhutõkkena on mõeldud kasutada ehituspaberit, mis on veeauru läbilaskev. Autori vaatevinklist on selline lahendus õigem, kui veeauru takistava tõke paigaldamine. Ehituspaberiga tungib elamisest tekkiv niiskus ühtlaselt läbi terve tarindi ning antud materjalid, mis on selles uurimuses kajastatud, on samuti veeauru läbi laskvad. Ehk kui niiskus tungib soojustusmaterjali, kuivab see sealt ka välja. Aurutõke puhul on vajalik tekitada hoonest sisuliselt kilekott, et mitte niiskus kuskilt välja ei pääseks. Praeguses ehitusturu olukorras julgeb autor väita, et ükski aurutõke ei ole täielikult tihe, ikka on lekkekohad läbiviikude ümber, mille tihedaks saamine on äärmiselt keeruline. Kui on mingisugused läbiviigid, mis lasevad auru läbi, tekib olukord, kus kogu hoone peale on üks koht, kust on võimalik niiskusel läbi pääseda ning aur, mis muidu läheks ühtlaselt kõikidesse tarinditesse, tungib ühest väiksest avast konstruktsioonidesse. Sellisel juhul on antud koha niiskussisaldus väga suur ning see võib soodustada hallituse ning mädanikseente teket. Lõpetuseks ei näe autor, et oleks vaja paigaldada kordades kallimat aurutõkkematerjali, kui selle tulemusel ei saa täielikult kindel olla, et see ka töötaks ning et see ei tekitaks tulevikus suuremaid probleeme.

Ülaltoodu põhjal arvutame vahelae materjalide hulga juhul, kui musta laudise ning soojustusmaterjalide vahel on tavaline ehituspaber. Ehituspaberi eesmärk antud kontekstis on puhtalt asjaolu, et soojustusmaterjal laelaudade vahelt tulevikus pudisema ei hakkaks. Vahelae pindala, mis soojustusega kaetakse, on 63 m². Ehituspaberi ruutmeetri hind on 0,22 eurot (<https://www.decora.ee/ehituspaber-0-84x60m-50m2>). Selle fikseerimiseks on vaja klambreid, et villa puistades paber paigast ei liiguks. Klambri kulu on raske täpselt hinnata, aga kui tuuletõkkekanga paigaldamiseks kulus umbes 1000 klambriga karp, siis arvestame ka paberi paigalduseks samasuguse karbiga, mis maksis 3,25 eurot.

Avatud pinna soojustust saab ka käsitsi paigaldada, aga suheldes inimesega, kes igapäevaselt seda tööga tegelevad, sain teada, et on mõistlik see ikkagi teenusena sisse osta. Selgub, et käsitsi paigaldades on materjali kulu tihti suurem kui seda masinaga tehes. Võimalus on vajalikku masinat, millega villa paigaldada, rentida. Aga kui igapäevaselt sellega kokku ei puutu, ei ole antud tööprotsess kuluefektiivne. Samuti on mõistlik selliseid töid kombineerida

nagu ka antud objekti puhul, kus avatud paigaldus on mõeldud nii vahelaele kui ka põrandale. Hetkel arvestame netopinnana vahelae soojustamiseks 63 m², mis teeb 30 sentimeetrise kihi puhul ruumalaks 18,9 m³ ning kuna avatud paigalduse puhul tuleb arvestada 55 kg/m³, tuleb kogukuluks 1050 kg tselluvilla (Nõmmik, M. Personaalne suhtlus. 23. aprill 2023).

Paigaldajalt materjali ostes on koti hinnaks 12,6 € (sisaldab km) (Nõmmik, M. Personaalne suhtlus. 23. aprill 2023).

Viimase asjana on vaja sarikate peale niiöelda tuulesuunajaid, et tuul villa sisse ei satuks ega kahjustaks villa soojustusomadusi. Antud suunajateks saavad olema Nordic Fibreboard tuuletõkkeplaadid, mis peavad asuvad vähemalt 15 cm villa pealmisest kihist kõrgemal. Et tuuletõkkeplaat ulatuks vähemalt 15 cm üle tselluvilla pealmise pinna, peab tuuletõkkeplaadi laius olema vähemalt 600 millimeetrit. Kogu perimeetri pikkus on 32 meetrit, mis annab tuuletõkkeplaadi kuluks 20 m². Odavaim ruutmeetri hind antud plaadil on 3,67 m² (<https://www.bauhaus.ee/tuuletokkeplaat-nordic-fiberboard-12-x-1200-x-2700-mm.html>).

Plaatide kinnitamiseks on vaja vähemalt 40 mm pikkuseid kuumtsingitud naelu (<https://www.nordicfibreboard.com/et/tooted/isoplaad/tuuletokkeplaat>). Kui paigaldada tuuletõkkeplaati kolmest küljest, on naelte kulu 33 tk/m². Sellise naela hind on alates 0,04 eurot tk (<https://www.bauhaus.ee/papinael-kzn-2-8-x-40-mm-2.html#>). (vt Tabel 11)

Tabel 11. Vahelae soojustamise materjalide maksumus (23.04.2023 seisuga)

Materjalid	Hind	Kogus	Kokku (€)
Ehituspaber	0,22 €/m ²	63 m ²	13,86
Klambrid (12 mm)	3,25 €/karp	1 karp	3,25
Werrowool tselluvill	12,6 €/kott	70 kotti	882
Tuuletõkkeplaat (Nordic Fibreboard 12 mm)	3,67 €/m ²	20 m ²	74,3

Materjalid	Hind	Kogus	Kokku (€)
Papinaelad (2,8 x 40 mm)	0,04 €/tk	660 tk	26,4

Kokku: 999,81 €

Sellise tarindi paigaldust tuleks alustada tuuletõkkeplaadist sarikatele, et plaatide paigaldamisel ehituspaberit ei kahjustataks. Tuuletõkkeplaadi tööaja maksimaalne kulu on autori kogemuse põhjal maksimaalselt üks päev. Ehituspaberi paigaldamine võtab autori hinnangul pool päeva. Antud tegevused on arvestatud kahe mehe peale ehk 24 tundi kokku – tööhind on jällegi 30 €/h (sisaldab km). Tselluvilla paigaldamise hind pakkumisena oli 300 eurot (sisaldab km) juhul kui põrand ja vahelae soojustamine ühel päeval ette võtta. (vt Tabel 12)

Tabel 12. Vahelae soojustamise tööjõu kulu (23.04.2023 seisuga)

Töö	Hind	Kogus	Kokku (€)
Eeltööd	30 €/h	24 h	720
Tselluvilla paigaldus	4,76 €/m ²	63 m ²	300

Kokku: 1020 €

4.1.3 Põrand

Antud hoonel on projekteeritud põrandataladel alt õhustatud laudpõrand. Alternatiivsed variante on veel, aga selline lahendus tundus autorile parim, arvestades soovitud kütteseadmeid ning sisearhitektuuri. Sellise põranda renoveerimismaksumus eeldab, et klient on ära teinud kõik vajalikud lammutustööd.

Esmalt peab põranda alla paigaldama tihendatud killustikku 200 mm. Tihendamata killustiku puhul võiks kõrgus olla 250 mm. Sellest lähtudes on 63-ruutmeetrise hoone killustikuvajadus 16 m³. 1 m³ killustiku kaalub keskmiselt 1,5 tonni (<https://karjaar.ee/kasulikku/>). Sellest lähtuvalt on vaja 24 tonni killustiku. Ühe tonni killustiku hind on alates 18 eurot (<https://isekallur.ee/materjalid/peenkillustik>). Sellele lisandub transport, mis on väga sõltuv asukohast. Arvestame, et vajalik killustik jõuab objektile mitte enam kui 30 kilomeetri kauguselt. Transpordikulu arvestatakse kilomeetri hinna alusel ning see on alates 1,62 €/km (sisaldab km) (<https://liiv-virumaal.ee/>).

Järgnevalt arvestame välja keramsiitplokkide vajaduse. Ideaalis saaks kasutada ka maakive, mis on maakohas tasuta kättesaadavad, aga ehitusturule üldiselt meeldib kasutada standardiseeritud materjale ning maakivide paika ajamine killupadjal on keerulisem, sest iga kivi on erineva suurusega. Laakide samm on antud hoonel 600 mm, mida võiks toetada iga 1,5 meetri tagant keramsiitplokk. Ühe tala peale saame sel juhul 4 keramsiitplokki, kui talad paiknevad risti hoonet. Autoripoolse põhiplaani najal on kasulikku netopinda, kui siseseinad välja jätta, 59,7 m². Nüüd saab välja arvutada, et keramsiitplokkide kulu ruutmeetrile on kaks tükki. Keramsiitploki (150 x 250 mm) hinnad algavad 2,75 €/tk (<https://www.decora.ee/vaheseinte-plokk-fibo-5-150x250x480-tapp-liitega>). Puittalade ning keramsiitplokkide vahele on vajalik paigaldada hüdroisolatsioon niiskustõkkeks, seda on vaja 9 m². Odavaim hüdroisolatsioon on ühe ruutmeetri hinnaga 9,5 € (<https://www.k-rauta.ee/p/vundamendilint-icopal-poluester-bituumen-20-cm-x-1000-cm-must/1xk7>).

Põrandataladeks on mõeldud 100 x 200 mm prussid. Antud hoonel on mõistlik soetada talad pikkusega 3000 mm, kuna tubade jaotuse põhjal põrandapinna mõõdud sellest suuremaks ei kujune. Antud hoonel on vaja 100 x 200 mm prussi 108 jm. Antud prussi turuhind algab 11 €/jm (<https://heliapuit.ee/tooted/kuiivatatud-puit-100x200/>). Sisendinvesteering põrandataladesse on seega 1188 €. Järgnev materjal on 22 x 200 mm saetud laud, mille külge kinnitatakse tuuletõkkeplaat. Antud koguse saab kätte kui lahutada talade jooksva meetri kogusest kõikide plokkide pikkused, kuna laud paigutatakse keramsiitplokkide vahele. Sellest lähtuvalt on 22 x 200 mm lauda vaja 51 jm. Antud laua turuhind algab 1,90 €/jm (<https://trendwood.ee/tooted/ruitmaterjal/ehituslik-saematerjal/>). Kuna kruvi töötab tõmbele ning nael paindele, on mõistlik sellise konstruktsiooni puhul laudu kinnitada kruvidega, sest koormused mõjuvad vertikaalselt. Tuuletõkkeplaati kandvaid laudu tuleks paigaldada vähemalt 50 mm pikkuste tsingitud puidukruvidega. Kruvide kulu antud konstruktsiooni

puhul on hinnanguliselt 800 tk ning nende tüki hind turul algab 0,04 €/tk

(https://www.naelad.ee/et/kruvid/15-101-puidukruvid-zn-torx-50-200-mm-kruvid.html#/99-kruvi_variant-puidukruvi_5x50_zn_tx_500tk).

Enne tuuletõkkeplaadi paigaldamist on vajalik paigaldada ka närilisevõrk, et närilised tulevikus tuuletõkkeplaati kahjustama ei hakkaks. Närilisevõrgu kogust saab arvutada, kui lahutada kogu põrandapinnast põrandatalade pindala. Talade pindala on kogu põrandapinnast 10,8 m². Ülejäänud netopind, mis kaetakse närilise võrguga talade vahelt, on 48,9 m².

Sobiliku närilisevõrgu hind algab 5,16 € ruutmeetrist (<https://abpolar.ee/nariliste-vork-63x63x06mm-05x5m/>). Tuuletõkkeplaadi kogus on sama, mis närilisevõrgul ehk 48,9 m² ning antud plaadi ruutmeetri hind algab 10,94 eurost (<https://www.ehituseabc.ee/ee/isoplaat-tuuletokke-tapiga-25mm>). Tuuletõkkeplaadi kinnitamiseks on sobivad samad naelad nagu vahelaegi, kuid seekord arvestame kuluks 22 tk/m², sest plaat kinnitatakse ainult kahest küljest. Naelahind on 0,04 €/tk (<https://www.bauhaus.ee/papinael-kzn-2-8-x-40-mm-2.html>).

Risti taladega on projekteeritavas sõlmes mõeldud 50 x 50 m prussid, mis võimaldab paigaldada rohkem soojustusmaterjali ning tagab parema soojusläbivuse arvvaärtuse. Sellist prussi on antud hoonel vaja 124 jm, kui paigaldada seda 600 millimeetrise sammuga ning antud prussi hind turul algab 1,08 €/jm (<https://trendwood.ee/tooted/puitmaterjal/ehituslik-saematerjal/>). Antud prussi peaks paigaldama vähemalt kas 75 mm pikkuste kruvidega või 120 mm pikkuste naeltega. Antud tüübi puhul tundub nael mõistlikum, kuna puidul on tahtmine määgida ja nael määgib sellega kaasa. Kruvil on suur tõenäosus puruneda. Naelade kulu antud tarindile on ligikaudu 200 tükki. Ühe tüki hind on alates 0,14 € (<https://espak.ee/epood/toode/ehitusnael-zn-umar-40120-200g-16tk-pk/>).

Soojustusmaterjaliks on Werro Wool tselluvill ning nagu vahelaie alapeatükis sai mainitud, on kuluefektiivsem antud materjal sisse osta koos paigaldusega. Nii tuleb materjalikulu väiksem ning koti hind on odavam kui seda jaekaubandusest osta. Antud juhul arvestame ruumalaks põranda soojustamisel 14 m³ ning kulu ühe kuupmeetri kohta on 55 kilogrammi. Ehk vajalik oleks 770 kg ning ühe 15 kg koti hind on 12,6 € (sisaldab km) (Nõmmik, M. Personaalne suhtlus. 23. aprill 2023).

Põranda tarindi võtab kokku põrandalaud mõõtudega 33 x 185 mm, kuna lähtudes sisearhitektuurist pn autori arvates sellisesse hoonesse sobilikumad laiad põrandalauad. Antud

laua ruutmeetri hind turul algab 17,9 eurost (<https://voodrilaud.ee/tooted/kuusepuidust-t%C3%A4ispunn>). Antud hoonele on vaja sellist lauda 59,7 m². Laua paigaldamiseks sobib 90 mm pikkusega nael ning neid on sellisele põrandale vaja ca 20 tk/m². Sellise naela hind on jaekaubanduses alates 0,3 eurot/tk (<https://www.bauhaus.ee/ehitusnael-3-5-x-90-mm.html>). Viimaseks asjaks on põrandalaua viimistlus, et hooldus oleks antud põrandal lihtsam. Viimistlusvahendeid on sellise põranda jaoks väga erinevaid ning valik sõltub suuresti kliendi eelistusest. Antud uurimises on käsitletud põranda õlitamist Osmo Polyx® õlivaha Original, mis jätab puidule naturaalse puidutooni (https://osmo.ee/toode/polyx-olivaha-original-3032-3062-3065-3011/?attribute_pa_taara=25-l). Antud tootekulu on 1 l/24 m² ühe kihi puhul ning sellest lähtudes on tarvidus uurimises kajastatud laudpõrandal 2,5 liitrit. Ühe liitri hind on 72,22 € (https://osmo.ee/toode/polyx-olivaha-original-3032-3062-3065-3011/?attribute_pa_taara=25-l). (vt Tabel 13)

Tabel 13. Põranda renoveerimise materjalide maksumus (27.04.2023 seisuga)

Materjalid	Hind	Kogus	Kokku (€)
Killustik+transport	22,05 €/t	24 t	529,2
Keramsiitplokk (150 x 250 x 480)	2,75 €/tk	120 tk	330
Vundamendilint	9,5 €/m ²	9 m ²	85,5
Puittalad (100 x 200 mm)	11 €/jm	108 jm	1188
Saelaud (22 x 200 mm)	1,9 €/jm	51 jm	96,9
Kruvid (5,0 x 50 mm)	0,04 €/tk	800 tk	32
Närilisevõrk	5,16 €/m ²	48,9 m ²	252,3

Materjalid	Hind	Kogus	Kokku (€)
Klambrid (12 mm)	3,25 €/karp	1 karp	3,25
Tuuletõkkeplaat 25 mm	10,94 €/m ²	48,9 m ²	535
Papinaelad (2,8 x 40 mm)	0,04 €/tk	1076 tk	43
Roov (50x50mm)	1,08 €/jm	124 jm	134
Tselluvill Werrowool	12,6 €/kott	51 kotti	642,6
Nael (4,0 x 120)	0,14 €/tk	200 tk	28
Põrandalaud 33 x 185	17,9 €/m ²	59,7 m ²	1068,63
Naelad (3,5 x 90 mm)	0,3 €/tk	1200 tk	360
Osmo Polyx õlivaha	72,22 €/l	2,5 l	180,55

Kokku: 5509 €

Selle põrandatarindi ehituse maksumus võib iga objekti puhul olla väga erinev, sest nagu varem mainitud, on vanade majade puhul keskmisest rohkem üllatusi. Turu seisukohast on üksikutel julgetel välja arvestatud umbkaudne ruutmeetri hind antud tööle. Odavaim hind on alates 22 €/m² (<https://eliitehitus.ee/hinnakiri/>). Autor arvab enda kogemuse baasil, et see ei ole piisav ning arvestab ruutmeetri hinnaks 35 €/m². Selle põhjuseks on asjaolu, et standardselt on laudpõrandad nii-öelda ühekihilised, millest lähtudes antud põranda lisaroov (50 x 50 mm) tekitab ajakulu juurde. Arvestame põrandapinna ehituse maksumuses kogu hoone pindala ehk 63 m², mis tagab ka kerge rahalise puhvri ehitajale. Lisandub ka tselluvilla

paigaldus, mille ruutmeetri hind on 4,76 €/m² (Nõmmik, M. Personaalne suhtlus. 23. aprill 2023). (vt Tabel 14)

Tabel 14. Põranda renoveerimise töö maksumus (23.04.2023 seisuga)

Töö	Hind	Kogus	Kokku (€)
Puitpõranda ehitus	35 €/m ²	63 m ²	2205
Tselluvilla paigaldus	4,76 €/m ²	63 m ²	300

Kokku: 2505 €

4.1.4 Avatäited

Uurimuse lähteülesandes ei ole mainitud, kas olemasolevad avatäited on renoveeritud, restaureeritud või vajavad täielikult asendamist. Sellest lähtudes on autor otsustanud, et kõik hoone avatäited lähevad vahetamisele. Autor on otsustanud eelarvestada ainult kaheraamseid täispuitaknaid, kuna need on vana maamaja arhitektuuri ning ka konstruktsiooni eripära arvestades ainuõiged. Nagu ülaltoodud sõmlahendustes välja toodud, näeb autor ainukese muutusena energiatõhususe parandamist silmas pidades tarvidust esialgsed lihtklaasiga kaheraamsed aknaklaasid asendada. Seeläbi soojuslähivuse arvvaartus avatäidetel paraneks. Kuna autor igapäevaselt avatäidetega ei tegele, on küsitud valdkonna spetsialistilt hinnapakkumist ning sellest on kogu komplekti hinnastamiselka lähtutud.

Antud hinnapakkumine näeb ette, et antud suurusega ühe aknaava maksumuseks kujuneb 1630,60 eurot (sisaldab km) (Nõmmik, M. Personaalne suhtlus. 28. aprill 2023). Sellest moodustavad puidutöö 609,6, viimistlus 304,75 ning materjalid 444,59 €. Antud hoone avatäidete kulud on 13 044,8 eurot. Aknasõlm on sama, nagu ülalpool kajastatud (vt Joonis 15) ehk pakettklaasid krüptoontäitega.

Ukse puhul on eeldatud, et esialgne plankuks ei ole amortiseerunud ning juurde tuleb lisada esialgse ukse varju klaasuks. Sobiliku klaasukse odavaimaks turuhinnaks kujunes 748,8 € (<https://www.aknad-uksed.ee/viljandi-valisuksed>).

4.2 Ülalpidamiskulud

Ülalpidamiskulusid arvestame lähteülesandest tulenevast soovitud ajavahemikust ehk objekti üleandmisaktist kasutusea lõpuni (30 aastat). Esmalt arvestame tehnosüsteemide rajamiskulud ning seejärel hoolduskulud. (vt Tabel 15)

Tabel 15. Kütteseadmete alginvesteeringud (10.04.2023 seisuga)

Kütteseade	Kütteseadme hind	Kütteseadme paigaldamise hind	Kütteseadme alginvesteering
Ahiküte+õhk-õhk soojuspump	648 €	349 €	997 €
Maasoojuspump, radiaatorid	8681 €	3300 €	11 981 €
Õhk-vesi soojuspump, radiaatorid	6201 €	2220 €	8421 €

Suurim alginvesteering antud kütteseadmete puhul tuleb teha maasoojuspumba puhul, seejärel on õhk-vesi-soojuspump ning odavaimaks kujuneb olemasolev ahiküte ning õhk-õhk-soojuspump. Viimane ainult eeldusel, kui olemasolevad ahjud on töökorras.

Ahikütte hooldustasuks on korstnapühkija kutsumine kord aastas, mis sellise väikese elamu puhul on 50 € kord (<https://korstnapuhkimine.ee/#hinnakiri>). Õhk-õhk-soojuspumpa tuleb samuti kontrollida kord aastas ning selle tasu on 75 € kord (<https://www.kliimakaubamaja.ee/soojuspumpade-hooldus/>). Maasoojuspump nõuab samuti hooldust kord aastas, mille hind on alates 115 eurost (<https://www.kliimakaubamaja.ee/soojuspumpade-hooldus/>). Õhk-vesi-pumba puhul toimub

sarnaselt eelnevatega hooldus kord aastas ning selle maksumus on alates 115 eurost (<https://www.kliimakaubamaja.ee/soojuspumpade-hooldus/>). (vt Tabel 16)

Tabel 16. Kütteseadmete hoolduskulud (10.04.2023 seisuga)

Kütteseade	Hooldus	Hoolduskulu aastas	Hoolduskulu kasutusea lõpuni (30 aastat)
Ahiküte+õhk-õhk-soojuspump	Korstnapühkija kord aastas, pumba hooldus kord aastas	125 €	3750 €
Maasoojuspump, radiaatorid	Tehniku hooldus kord aastas.	115 €	3450 €
Õhk-vesi-soojuspump, radiaatorid	Tehniku hooldus kord aastas.	115 €	3450 €

Järgnev arvutus hõlmab endast ventilatsioonüsteemi rajamise maksumust ning ka hoolduskulusid. Ventilatsioonüsteemide paigaldamiskulud võtame ülalkirjeldatud tabelitest (vt. Tabel 5 ja 6). Arvestame kahte erinevat ventilatsioonüsteemi: soojustagastusega ventilatsioon ning vabavoolne ventilatsioon värskeõhuklappide näol.

Tabel 17. Ventilatsioonüsteemi alginvesteeringud (15.04.2023 seisuga)

Ventilatsioonissüsteem	Ventilatsioonissüsteemi hind koos paigaldusega	Ventilatsioonissüsteemi alginvesteering
Soojustagastusega ventilatsioon, seade Vallox	4410 €	4410 €
Vabavoolne ventilatsioon värskeõhuklappide näol	267 €	267 €

Soojustagastusega ventilatsioonisüsteem vajab hooldust kord aastas ja selle jaoks on vajalik kohale kutsuda tehnik (<https://www.kliimakaubamaja.ee/ventilatsiooni-hooldus/#ventilatsioonihooldus>). Antud hinnakirja järgi on ventilatsiooni korraline hooldus 75 eurot kord. Sellele lisandub veel vajadusel kuluvahendite vahetus (filtrid, rihmad, jne), mida ennustada ei ole võimalik, sest see kõik oleneb tarbimisharjumustest. Vabavoolse ventilatsiooni puhul saab hoolduskulusid täielikult vältida, kuna hoolduse tegemiseks ei ole vaja spetsialisti kohalolu, vaid värskõhuklappide filtreid saab iseseisvalt puhastada. (vt Tabel 18)

Tabel 18. Ventilatsioonisüsteemi hoolduskulud (15.04.2023 seisuga)

Ventilatsioonisüsteem	Hooldus	Hoolduskulu aastas	Hoolduskulu kasutusea lõpuni (30 aastat)
Soojustagastusega ventilatsioon, seade Vallox	Korra aastas, lisandub filtrite vahetus	75 €	2250 €
Vabavoolne ventilatsioon värskõhuklappide näol	Filtri saab iseseisvalt puhastada – ei vaja spetsialisti kohaletulekut	0 €	0 €

Järgnevalt on vajalik välja arvutada kütteseadmete püsikulude arvväärtus. Antud võrdluses kajastab autor sõlmesid, kus on arvestatud, et lagi, põrand ning avatäited on igal lahendil renoveeritud vastavalt ülal välja toodud näidetele. Erinevuse toovad sisse kütteseadmed, ventilatsioonisüsteem ning alumise palgi ja vundamendi sõlm. Kuna eesmärk on luua võimalikult erinevad tulemused renoveerimismaksumusest ning ülalpidamiskuludest ja nende suhte arvudel paika panna, kas on mõistlikum rohkem investeerida renoveerimisse või rohkem tasuda ülalpidamiskulusid.

Esmalt on vaja paika panna küttepau 1 kWh maksumus, mille järgi saab arvutada välja küttehinna kasutusea lõpuni (30 aastat). Antud uurimuses on kütusteks välja pakutavatele kütteseadmetele elekter ning küttepau. Elektri hind kujuneb viimase 12 kuu aritmeetilisest

keskmisest, milles on 0,18 €/kWh (<https://www.220energia.ee/eraklient-elekter/viimase-12-kuu-kaalutud-keskmised-borsihinnad>).

2021. aasta sügisel sai lepalhalge osta hinnaga 40 eurot ruumimeeter. Hepneri andmetel on ka praegu kõige odavam halupuu hall lepp, kuid hind on kaks korda kõrgem. Märjana maksab Paapsi sõnul hall lepp 68 eurot ruumimeeter, must lepp aga 73 eurot. Märja kase ruumimeetri eest tuleb aga välja käia 98 eurot. Kuivatamine lisab igale hinnale *ca* 30 eurot juurde.

(<https://www.err.ee/1608930008/halupuude-hind-pusib-korgel>, 30.04.2023)

Ülaltoodust lähtuvalt arvestame küttepuid ruumi hinnaks 103 eurot (vt Tabel 19). Ehk artikli hindade põhised arvestame küttepuid kuiva sangleppa, mille kütteväärtus on 1230 kWh/rm (Kask, 2014, lk 7). Hajaasutuses on üsna populaarne nähtus endale küttepuid ise varuda oma lähedalasuvast metsast. Arvutustes aga on seda keeruline arvestada, sest muutujaid on väga palju: küttepuid langetus, väljavedamine, lõhkumine ning ladumine. Olenevalt ülesehitusest ei ole selgelt arvestatav kui palju ostetakse erinevaid teenuseid sisse ning kui palju sellest ise tehakse. Autori hinnangul on võimalik antud ruumihinda vähemalt kolm korda alla tuua, kui antud protsesse tehakse võimalikult suurel määral iseseisvalt.

Tabel 19. Kütuste kütteväärtused ja hind

Kütus	Kütteväärtus	Hind
Küttepuid	1230 kWh/rm	0,08 €/kWh
Elekter	1 kWh	0,2 €/kWh

Järgnevalt on tarvidus paika panna, millised on antud uurimuses välja toodud kütteseadmete efektiivsused. Kütteseadme efektiivsus näitab kui suure osa saab soojusenergiat tarbitud sisendenergiast (halg, elekter jne). Käsitatud uurimuses on kajastatud kahte eritüüpi sisendenergiat: küttehalg ning elekter. Toaahjude kasuteguriks on soovitatud arvestada 0,5 (Masso, 2012, lk 40). Uurimuses käsitatud maasoojuspumba kasuteguriks on 5,76 (<https://kliimamarket.ee/maasoojuspumbad/compress-7800-i-lw-MF-6-inverter-boileriga>). Õhk-vesisoojuspumba kasuteguriks on 5 (<https://kliimamarket.ee/ohk-vesi->

[soojuspumbad/panasonic-aquarea-all-in-one-Compact%203kw-185l-boiler_1_2](#)). Kasutegurit on vaja, et välja arvestada vastava seadme 1 kWh soojusenergia maksumus.

ETA või KEK, kWh/(m²a)	Klass
ETA või KEK ≤ 145	A
146 ≤ETA või KEK ≤ 165	B
166 ≤ETA või KEK ≤ 185	C
186 ≤ETA või KEK ≤ 235	D
236 ≤ETA või KEK ≤ 285	E
286 ≤ETA või KEK ≤ 350	F
351 ≤ETA või KEK ≤ 420	G
ETA või KEK ≥ 421	H

Joonis 19. Väikeelamu köetava pinnaga < 120 m² energiatõhususarvu piirväärtused (ETA) (RT I, 07.07.2020, 11)

Järgnevalt on vajadus paika panna, mis sõmlahendusi lihtsustatud väikeelamu energiatõhususarvutustes käsitleda, et välja selgitada energiatõhususarv (edaspidi ETA). Selle järgi saab välja arvestada aastase energiakulu ruutmeetri kohta. Antud kalkulaatorist saame kätte, palju on energiat vaja, et oleks kaetud ruumide küte, ventilatsiooniõhu soojendamine, tarbevee soojendamine, ventilaatorid ja pumbad, valgustus ning seadmed. Esimeseks renoveerimislahenduseks on renoveeritud põrand (vt Joonis 7), renoveeritud vahelagi (vt Joonis 10), fassaadi soojustuseks kasutatud Steico Universal (vt Joonis 5) ning renoveeritud avatäited (vt Joonis 15). Olenevalt kütteseadmest ning ventilatsioonisüsteemist on ETA erinev (vt. Tabel 20).

Tehnosüsteemid	Soojusallikad		Maasoojuspump	Õhk-vesi soojuspump	Tõhus kaugküte	Ahiküte ja el.boiler	Gaas-kondensatsioonikatel		
Projekteeritud õhk-vesi või maasoojuspumba nominaalvõimsus, kW	3,2		En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.		
Arvutuslik välistõhu temp., °C	-21	Netovajadus	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)		
Kütteviis	radiaator	Ruumide küte	89,1	26,8	38,7	102,1	148,5	96,7	
Soojustagasti tüüp	rootorsoojustagasti	Vent. õhu soojendamine	66,2	66,2	66,2	66,2	66,2	66,2	
Soojustagastuse temperatuurisuhtarv, -vent. rissa soojendamine	0,00	Tarbevee soojendamine	30,0	11,9	16,5	33,3	30,0	31,6	
	elektrikalorifeer	Ventilaatorid ja pumbad	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	
Ventilatsioonisüsteemi erivõimsus, kW/(m ² /s)	0,0	Valgustus	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	
Päikesepaneelide maksimaalne võimsus, kW	0,0	Seadmed	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	
Kollektori aktiivpindala, m ²	0,0	Toodetud lokaalne taastuvelekt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Kollektori või paneeli suunatus	põhi	Taastuvelektri omatarve, %	0	0	0	0	0	0	
Kollektori või paneeli kaldenurk	15°	Tarbitud lokaalne taastuvelekt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		Eksporditud lokaalne taastuvelekt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		Summa	213,1	132,7	149,2	230,4	272,5	223,3	
		Kaalutud energiakasutus	265,5	298,4	278,0	344,5	318,2		
Paneeli paigaldusviis	mööduduka tuulutusega	B-klassi ETA piirv	165	ETA (ilma PV)	265	298	278	344	318
		C-klassi ETA piirv	185	ETA	265	298	278	344	318

Joonis 20. Vabavoolse ventilatsioonisüsteemiga energiatõhususarv soojustades Steico Universaliga (MKM, 2018)

Jooniselt 20 saame teada, palju energiat on vaja vabavoolse ventilatsioonisüsteemiga hoone ruumide kütteks, vent. õhu soojendamiseks, tarbevee soojendamiseks, ventilaatorite ja pumpade töös, valgustuse ning seadmete töös hoidmiseks.

Maasoojuspumba puhul on vajalik ainult elektrienergiat, sest kõik vajalikud hoone tehnoseadmed toimivad elektriga. Maasoojuspumba puhul on ETA 265 kWh/m²a ning kuna tegu on endiselt 63-ruutmeetrise hoonega, saame terve hoone energiavajaduseks 16 695 kWh.

Õhk-vesi-soojuspumba on puhul on samuti vajalik ainult elektrienergia. Õhk-vesi-soojuspumbal on ETA 298 kWh/m²a, mis teeb 63-ruutmeetrise hoone energiavajaduseks 18 774 kWh/a.

Ahikütte puhul arvestame aga ruumide kütet ning ventileeritava õhu soojendamist koos ning ülejäänuid muutujaid eraldi, sest ahikütte puhul on kütteallikaks puit, mis soojendab ruumid ka ventileeritavat õhku. Ülejäänud seadmed toimivad endiselt elektriga. Ahikütte puhul on ETA 344 kWh/m²a, millest ruumide küte ja vent õhu soojendamine moodustavad 214,7 kWh/m²a ning ülejäänud seadmete töös hoidmiseks on vajalik 129,3 kWh/m²a. Kogu energiavajadus antud kütteseadmega on 21 672 kWh.

Tehnosüsteemid	Soojusallikad		Maasoojuspump	Õhk-vesi soojuspump	Tõhus kaugküte	Ahiküte ja el.boiler	Gaas-kondensatsioonikatel		
Projekteeritud õhk-vesi või maasoojuspumba nominaalvõimsus, kW	3,2	Netovajadus	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.		
Arvutuslik väisõhu temp., °C	-21	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)		
Kütteviis	radiaator	Ruumide küte	89,1	26,8	38,7	102,1	148,5	96,7	
Soojustagasti tüüp	rootorsoojustagasti	Vent. õhu soojendamine	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	
Soojustagastuse temperatuurisuhtarv, -	0,90	Tarbevee soojendamine	30,0	11,9	16,5	33,3	30,0	31,6	
vent. risa soojendamine	elektrikalorifeer	Ventilaatorid ja pumbad	3,9	3,9	3,9	4,9	3,9	4,9	
Ventilatsioonisüsteemi erivõimsus, kW/(m ² /s)	0,9	Valgustus	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	
Päikesepaneelide maksimaalne võimsus, kW	0,0	Seadmed	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	
Kollektori aktiivpindala, m ²	0,0	Toodetud lokaalne taastuvelekt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Kollektori või paneeli suunatus	põhi	Taastuvelektri omatarve, %	0	0	0	0	0	0	
Kollektori või paneeli kaldenurk	15°	Tarbitud lokaalne taastuvelekt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		Eksporditud lokaalne taastuvelekt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		Summa	154,9	74,6	91,0	172,2	214,3	165,1	
		Kaalutud energiakasutus	149,1	149,1	182,0	161,6	228,1	201,9	
Paneeli paigaldusviis	mööduka tuulutusega	B-klassi ETA piirv	165	ETA (ilma PV)	149	182	162	228	202
		C-klassi ETA piirv	185	ETA	149	182	162	228	202

Joonis 21. Soojustagastiga ventilatsioonisüsteemi energiatõhususarv soojustades Steico universaliga (MKM, 2018)

Viimase joonise järgi on näha, kui palju mõjutab soojustagastiga ventilatsioonisüsteem energiatõhususarvu. Antud süsteem tõmbab küll ülalpidamiskulusid alla, aga siin tulevadki juurde suuremad rajamiskulud, mis on vabavoolse ventilatsiooni puhul väiksemad.

Maasoojuspumba puhul on energiatõhususarv 149 kWh/m²a, mis teeb antud hoone puhul aastaseks energiavajaduseks 9387 kWh. Õhk-vesi-soojuspumba puhul on energiatõhususarv 182 kWh/m²a ning aastane energiavajadus 11 466 kWh. Ahiküttel on energiatõhususarv 228 kWh/m²a, mis teeb hoone aastase energiavajaduse suuruseks 14 364 kWh.

Tabelis 20 on näha kõiki ülalmainitud variante, kui soojustada hoone Steico Universaliga ning milliseks kujuneb energiatõhususarv ning selle põhjal aastane energiavajadus 63-ruutmeetrise hoone puhul. Tabelis 21 on kajastatud samu arvvaartusi, aga fassaadiks on antud juhul 100 mm tselluvill + tuuletõkkekangas. Antud tabelis on arvestatud, et põrand, avatäited ning lagi on renoveeritud siinse uurimuse käigus kõige kuluefektiivsemaks tunnistatud sõlmede järele.

Tabel 20. Steico Universaliga välisfassaadi soojustuse ETA ning energiavajadus

Fassaadi sõlmlahendus	Soojusallikas	Veesoojendus	Ventilatsioon	Energiamärgis	Energiatõhususarv (kWh/m ² a)	Energiavajadus 63 m ² peale (kWh/a)
Steico soojustus	Ahiküte	Elektriboiler	Soojustagastiga	D	228	14364
			Vabavoolne	F	344	21672
	Maasoojuspump	Maasoojuspump	Soojustagastiga	B	149	9387
			Vabavoolne	E	265	16695
	Õhk-vesi-soojuspump	Õhk-vesi-soojuspump	Soojustagastiga	C	182	11466
			Vabavoolne	F	298	18774

sojendamine ning ruumide kütte moodustab 335 energiatõhususarvust 187,6 kWh/(m²a) ning ülejäänud seadmete töös hoidmiseks on vajalik 147,4 kWh(m²a).

Tehnosüsteemid	Soojusallikad	Maasoojuspump	Õhk-vesi soojuspump	Tõhus kaugküte	Ahiküte ja el boiler	Gaas-kondensatsioonikatel			
Projekteeritud õhk-vesi või maasoojuspumba nominaalvõimsus, kW	3,2	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.			
Arvutuslik välisõhu temp., °C	-21	Netovajadus kWh/(m ² -a)	kWh/(m ² -a)	kWh/(m ² -a)	kWh/(m ² -a)	kWh/(m ² -a)			
Küttevahendid	radiaator	Ruumide kütte	72,8	21,4	30,7	83,4	121,4	79,1	
Soojustagasti tüüp	rootorsoojustagasti	Vent. õhu soojendamine	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	
Soojustagastuse temperatuurisuhtarv, - ventil. ühik	0,90	Tarbevee soojendamine	30,0	11,7	16,2	33,3	30,0	31,6	
Soojustagastuse elektrienergia	elektrikalorifeer	Ventilaatorid ja pumbad	3,9	3,9	3,9	4,9	3,9	4,9	
Ventilatsioonisüsteemi erivõimsus, kW/(m ² /s)	0,9	Valgustus	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	
Päikesepaneelide maksimaalne võimsus, kW	0,0	Seadmed	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	
Kollektori aktiivpindala, m ²	0,0	Toodetud lokaalne taastuvelekter	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Kollektori või paneeli suunatus	põhi	Taastuvelektri omatarve, %	0	0	0	0	0	0	
Kollektori või paneeli kaldenurk	15°	Tarbitud lokaalne taastuvelekter	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		Eksportitud lokaalne taastuvelekter	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		Summa	138,6	68,9	82,7	153,6	187,2	147,4	
		Kaalitud energiakasutus	137,8	165,4	149,5	210,5	184,2		
Paneeli paigaldusviis	mõõduka tuulutusega	B-klassi ETA piirv	165	ETA (ilma PV)	138	165	149	211	184
		C-klassi ETA piirv	185	ETA	138	165	149	211	184

Joonis 23. Soojustagatisega ventilatsioonisüsteemiga ETA, välisseina soojustuseks 100 mm tselluvilla +tuuletõkkekanas (MKM, 2018)

Joonisel 23 on kujutatud, et soojustagatisega ventilatsioonisüsteemiga on ETA maasoojuspumbal 138 kWh/(m²a), õhk-vesi-soojuspumbal 165 kWh/(m²a) ning ahikütte puhul 211 kWh/(m²a). Aastane energiavajadus on maasoojuspumbal 8694 kWh, õhk-vesi-soojuspumbal 10 395 kWh ning ahikütte puhul 13 293 kWh. (vt Tabel 21)

Kui võrrelda kahte erinevat esimese palgikorra ja vundamendi sõlmlahendust, ei ole arvvaartuste vahe nii suur kui seda on erinevate kütmissüsteemide või ventilatsioonisüsteemiga. Sellest lähtudes, kui tahta parandada hoonete energiatõhusust praegustele nõuete vastavalt, oleks olulisem investeerida rohkem kütmissaadmetesse ning ventilatsioonisüsteemi kui välisseina paksust oluliselt suurendada. Kuna palkkehandiga hooned on hea soojussalvestusomadusega, oleks kasutusmugavuse jaoks oluline väline tuul kinni saada, et toas kardin suurema tuule korral ei liiguks.

Tabel 21. Soojustades 100 mm tselluvilla+tuuletõkkekanga ETA ning energiavajadus

Fassaadi sõlmlahendus	Soojusallikas	Veesoojendus	Ventilatsioon	Energiamärgis	Energiatõhususarv (kWh/m ² a)	Energiavajadus 63 m ² peale (kWh/a)
100mm tselluvilla + tuule-tõkkekangas	Ahiküte	Elektriboiler	Soojustagastiga	D	211	13293
			Vabavoolne	F	335	21105
	Maasoojuspump	Maasoojuspump	Soojustagastiga	A	138	8694
			Vabavoolne	E	262	16506
	Õhk-vesi-soojuspump	Õhk-vesi-soojuspump	Soojustagastiga	B	165	10395
			Vabavoolne	F	290	18270

Lähteülesandest välja tulevalt annab vähemalt B-energiaklassi uurimuses toodud sõmlahendustega kolm erinevat sõmlahenduste ja tehnosüsteemide kombinatsiooni. Nende puhul erinevad küttesüsteemid ning fassaadi sõmlahendused, sest vabavoolse ventilatsioonisüsteemiga ole võimalik B-energiaklassi saavutada ning vahelagi, avatäited ja põrand on jäetud samaks, tuues aluseks ülalloodud põhjendused. Steico Universaliga soojustades annab B-energiaklassi ainult lahendus, kui kütmiseks on kasutusel maasoojuspump. 100 mm tselluvillaga annab vähemalt B-energiaklassi peale maasoojuspumba ka õhk-vesi-soojuspumba küttesüsteem. Ülaltoodust lähtuvalt ei ole võimalik kasutada ahikütet, et täita energiatõhususeesmärke. Jällegi ei tundu selline lahendus relevantne, kui hoone peaks paiknema hajaasutuses, sest elektrienergia kindlus ei ole aasta läbi tagatud. Seda kindlust saab tagada näiteks diiseldiiselmootoriga ajaks, mil on elektrikatkestus. Aga antud lahend ei lähe kuidagi kokku lähteülesandest välja tuleva sooviga hoida CO₂ jalajälgi võimalikult väike, sest diiselmootor on fossiilkütus.

Seadusest tulenevalt peab peale olulist rekonstrueerimist olema hoone energiamärgiseks C. Sellise tulemuse annab praegu neli renoveerimislahendit. Peale nende, mis on kajastatud eelmises lõigus, lisandub nende lahendite hulka veel võimalus kui välisfassaad on soojustatud Steico Universaliga ning soojusallikaks on õhk-vesi-soojuspump, ventileerib soojustagastusega ventilatsioonisüsteem. Jällegi ei suuda ahiküte soojusallikana ka minimaalset energiamärgist tagada, mida seadus ette näeb.

Järgnevalt arvestame Tabelis 22 ja 23 välja toodud lahendite aastased püsikulud ning toome võrdlusena sisse, millised on selliste lahendite renoveerimismaksumused. Vahelae, avatäidete ning põranda renoveerimismaksumus on kõigil ühtne vastavalt põhimõtetele, mis on lähteülesandes kajastatud ning mis on autori meelest sellise hoone puhul kuluefektiivseim.

Püsikuludena võtame arvesse, kui suur on erinevate renoveerimislahenditega energiavajadus ning arvestame kWh hinnaks tabelis 20 toodud kWh hetkel kehtivad hinnad. Ahiküte puhul on vajalik elektrikulu ning küttepude kulu arvestada eraldi, kuna ruumide küte ja ventileeritava õhu soojendamise toimub puiduga. Samuti on selles arvestuses käsitletud ka erinevate tehnoseadmete hoolduskulud. Renoveerimismaksumuses ja püsikulude maksumuses on muutujateks ventilatsioonisüsteem, soojusallikas ning alumise palgi ja vundamendi sõmlahendus.

Tabel 22. Steicoga soojustades püsikulud aastas ja kasutusaja lõpuni

Fassaadi sõlmilahendus	Soojusallikas	Veesoojendus	Ventilatsioon	Energia-märgis	Energiatõhususarv (kWh/m ² a)	Energiavajadus 63 m ² peale (kWh/a)	Püsikulud aastas (€)	Püsikulud (30a) (€)
Steico soojustus	Ahiküte	Elektriboiler	Soojustagastiga	D	228	14364	1949,8	58493,4
			Vabavoolne	F	344	21672	2836,3	85089
	Maasoojuspump	Maasoojuspump	Soojustagastiga	B	149	9387	2067,4	62022
			Vabavoolne	E	265	16695	3454	103620
	Õhk-vesi-soojuspump	Õhk-vesi-soojuspump	Soojustagastiga	C	182	11466	2483,2	74496
			Vabavoolne	F	298	18774	3869,8	116094

Tabel 23. 100mm tselluvilla+tuuletõkkekangaga soojustades püsikulud aastas ja kasutusaja lõpuni

Fassaadi sõlmilahendus	Soojusallikas	Veesoojendus	Ventilatsioon	Energiamärgis	Energiatõhususarv (kWh/m ² a)	Energiavajadus 63 m ² peale (kWh/a)	Püsikulud aastas (€)	Püsikulud (30a) (€)
100 mm tselluvill + tuuletõkkekangas	Ahiküte	Elektri boiler	Soojustagastiga	D	211	13293	1940,8	58224
			Vabavoolne	F	335	21105	2927,7	89181
	Maasoojuspump	Maasoojuspump	Soojustagastiga	A	138	8694	1928,9	57867
			Vabavoolne	E	262	16506	3416,2	102486
	Õhk-vesi-soojuspump	Õhk-vesi-soojuspump	Soojustagastiga	B	165	10395	2269	68070
			Vabavoolne	F	290	18270	3769	113070

4.3 Järeldused

Kasutades alapeatükis 4.1 toodud renoveerimisemaksumusi, saame võrrelda, kas on mõistlik investeerida enam renoveerimisse või arvestada edaspidi kõrgemate püsikuludega.

Renoveerimismaksumuses on muutujateks ventilatsioonisüsteem, alumise palgi ja vundamendi sõlm ning küttesüsteem. Vähemalt energiatõhususklassi B andvaid tulemusi on kolm ning nende puhul kehtib kõigile nõue, et tegemist oleks soojustagastusega ventilatsioonisüsteemiga. Soojusallikaks on ainult maasoojuspump või õhk-vesi-soojuspump. Steico Universaliga välisfassaadi soojustamine annab B-energiaklassi, kui soojusallikaks on maasoojuspump. 100 mm tselluvilla + tuuletõkkekangaga soojustades annab B-klassi kui soojusallikaks on õhk-soojuspump ning kõige parema energiatõhususarvu $138 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ annab antud sõlme puhul maasoojuspump, mis on sis energiaklass A.

Ahiküte soojusallikana ei täida antud uurimuses käsitletud sõlmalahendustega ka seaduses sätestatud miinimumi energiatõhususeesmärgist, milleks on energiaklass C ning mille energiatõhususarv peab olema $\leq 185 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ (RT I, 07.07.2020, 11). Antud soojusallikas osutub püsikulude osas kõige odavamaks (vt Tabel 23, 24). Seda lahendit oleks võimalik veel kuluefektiivsemaks muuta, kuna praegu on arvestatud turul kehtiva küttepuid ruumimeetri hinnaga. Kui küttepuid iseseisvalt teha, oleks autori arvates võimalik ruumihinda vähemalt kolm korda alandada, aga see eeldab jällegi teadmisi metsandusest, metsa olemasolu ning leibkonna tahet sellise asjaga tegeleda. Kuna aga küttepuid varu isetegemist on võimatu kuidagi tüüplahendina välja arvutada, sest muutujaid (väljaveo-, lõhkumise, ladumise hind) on palju, on arvestatud selles uurimuses hetkel kehtiva turuhinnaga.

Alumise palgi ja vundamendi sõlm ei muuda arväärtust nii palju nagu ventilatsioonisüsteem või soojusallikas. Sellest järeldades, kui tahta püüda mingisuguseid energiatõhusueesmäärke saavutada või ülalpidamiskulusid vähendada, on mõistlik rohkem investeerida soojusallikasse ning ventilatsioonisüsteemi. See on kehtiv eeldusel kui avatäited, lagi ja põrand on renoveeritud. Autori hinnangul peaks fassaadi soojustamine puhtalt energiatõhususe parendamiseks olema renoveerimise järjekorras viimane. Kui akende vahelt või põrandalt külma puhub, ei ole see kasutajasõbralik ning kui vahelagi on soojustamata, köetakse toa asemel hoopiski välisõhku. Ja kuna rohkem soojustusmaterjali välisfassaadil oluliselt ei muuda energiatõhususarvu oleks autori arvates mõistlik see esialgset arhitektuuri silmas pidades minimaalsena hoida.

Väljapakutud sõlmlahendused ning tehnosüsteemid jäävad kõik lähteülesandes kajastatud eelarve piiridesse. Kui aga sisse arvestada ülalpidamiskulusid ning lähteülesandes soovitud vähemalt B-energiaklass, osutub nendest kriteeriumidest kõige kuluefektiivsemaks renoveerimislahend, kus välisfassaad on soojustatud 100 mm tselluvilla + tuuletõkkekangaga, soojusallikaks on maasoojuspump ning ventilatsioonisüsteem on soojustagastiga. Sellest odavamad on ainult lahendid, mis kasutavad soojusallikana ahikütet, aga need ei vasta energiatõhususeesmärgile.

Kõige ülaltoodu kõrval oleks tarvilik arvestada sisse ka CO₂ jalajälg, mis näitaks, et kui hoone sisendinvesteering tehnosüsteemidele on suur, et kas antud lahend on ka keskkonda säästev. Antud uurimuses ei jõudnud autor sellega tegeleda, kuna ei teatud, et sisendenergia, mis praegused tulemused andis, nii suur on. Sellest lähtuvalt pakub autor uue sisendi, kuidas CO₂ arvestus võiks välja näha. Hetkel Eestis kehtivad nõuded CO₂ jalajälge ei arvesta, vaid kehtib ainult põhimõte, et ehitise, ehitamine ja ehitise kasutamine peavad olema võimalikult keskkonnasäästlikud. Sealhulgas tuleb ehitamisel loodusvarasid säästlikult kasutada (RT I, 07.03.2023, 72). Antud paragrahv ütleb kõik ja absoluutselt mitte midagi. Nagu ka lähteülesandest selgub, tuleks autori hinnangul käsitleda CO₂ jalajälge ehitusmaterjali valikust ehitustegevuseni ja kuni objekti üleandmisaktist kasutusea lõpuni. Antud uurimuse kontekstis täpselt ei tea, kui suur on CO₂ jalajälg ning kas käsitletud sõlmlahendused on antud hetkel keskkonnasäästlikuimad. Valik on tehtud selle põhjal, et millised ehitusmaterjalid on taaskasutatavad/komposteeritavad ning võimalikult paljud ehitusmaterjalid oleksid pärit Eestist.

Autori hinnangul on hetkel väljakujunenud ainult üks arvutusmeetodika, millega saab mõõta kogu hoone elutsükli süsiniku jalajälge. Selle jaoks on Eesti Majandus – ja Kommunikatsiooniministeeriumi poolt tellitud CO₂ kalkulaator. Antud kalkulaator annab hinnangu hoone elutsükli jooksul tekkivate süsiniku heitkoguste kohta (E-ehitus, 2022). Arvutusmeetod põhineb stardandil ISO 14040, keskkonnasäästlikuse hindamise Euroopa standarditel EN 15804 ja EN 15978, Euroopa Level(s) raamistikul ning süsiniku jalajälge hindamise rahvusvahelistel parimatel tavadel (E-ehitus, 2022). Antud meetodika on veel esialgne ning vajab täiendamist aga süsiniku jalajälge suurusjärgu hindamiseks on see piisav, et esmaseid järeldusi teha.

Tabel 24. Steico Universaliga soojustades ülalpidamiskulud, renoveerimise maksumus ning kogukulu 30 aasta peale

Fassaadi sõlmilahendus	Soojusallikas	Veesoojendus	Ventilatsioon	Energiamärgis	Energiatõhususarv (kWh/m ² a)	Energiavajadus 63 m ² peale (kWh/a)	Ülalpidamiskulud (30 a)	Ren.maksumus	Kogukulu 30 a
Steico Universal	Ahiküte	Elektriboiler	Soojustagastiga	D	228	14 364	58493,4	35332,95	93826
			Vabavoolne	F	344	21 672	85089	31189,95	116279
	Maasoojuspump	Maasoojuspump	Soojustagastiga	B	149	9387	62022	46316,81	108338
			Vabavoolne	E	265	16 695	103620	42175,81	145795
	Õhk-vesi-soojuspump	Õhk-vesi-soojuspump	Soojustagastiga	C	182	11 466	74496	42756,95	117253
			Vabavoolne	F	298	18 774	116094	38613,95	154708

Tabel 25. 100 mm tselluvilla ning tuuletõkkega soojustades ülalpidamiskulud, renoveerimise maksumus ning kogukulu 30 aasta peale

Fassaadi sõlmlahendus	Soojusallikas	Veesoojendus	Ventilatsioon	Energiamärgis	Energiatõhusarv (kWh/m ² a)	Energia-vajadus 63 m ² peale (kWh/a)	Ülalpidamiskulud (30 a) (€)	Ren.maksumus (€)	Kogukulu 30 a (€)
100 mm tselluvill+tuuletõkkekangas	Ahiküte	Elektriboiler	Soojustagastiga	D	211	13 293	58224	37532,6	95756
			Vabavoolne	F	335	21 105	89181	33389,6	122570
	Maasoojuspump	Maasoojuspump	Soojustagastiga	A	138	8694	57867	48516,5	106383
			Vabavoolne	E	262	16 506	102486	44375,5	146816
	Õhk-vesi-soojuspump	Õhk-vesi-soojuspump	Soojustagastiga	B	165	10 395	68070	44956,6	113026
			Vabavoolne	F	290	18 270	113070	40813,6	153883

Kokkuvõte

Lõputöö „Renoveeritava käsitöö rõhtpalkhoone kasutusotstarbe muutmine suvilast aasta läbi elatavaks hooneks“ uurib võimalusi, kuidas vana käsitööna valminud rõhtpalkhoone energiatõhusust parandada välispiirdetarindi sõmlahenduste abil. Kõige kuluefektiivsemate sõmlahenduste puhul on välja arvatud renoveerimismaksumus ning hinnangulised ülalpidamiskulusid 30 aasta jooksul. Sellest lähtuvalt on püstitatud kaks uurimisküsimust:

- Milliste looduslike ehitusmaterjalide ja soojusallikate kombinatsioonina oleks võimalik saavutada B-energiatõhususarvu klass?
- Milline lahendus on optimaalseim arvestades kogu elukaare kulusid?

Lõputöö koosneb resümeeist, sissejuhatusest, uurimismetoodikast, kolmest sisupeatükist ning kokkuvõttest.

Autor püstitas järgmise hüpoteesi: Millised on parimad välispiirete sõmlahendused vana rõhtpalkhoone renoveerimisele kui arvestada kogu hoone elukaart ning keskkonnasõbralikkust läbi süsiniku jalajälje suuruse arvutamist hoone eluringile, ehitusmaterjalide valikust kuni hoone utiliseerimiseni selle kasutusea lõppedes? Sõmlahenduste jaoks uuriti tooteinfosid, konsulteeriti eriala ekspertidega ning lähtuti autori kogemustest. Kuna süsinikujalajälje arvutusteni antud uurimuse raames ajanappuse tõttu ei jõutud, lähtuti materjalivalikul, et kasutatakse looduslike ehitusmaterjale, mille toodang toimiks võimalusel Eesti-siseselt.

Esmalt uuriti energiatõhususarvu kujunemist, mille najal sai välja töötada sobilikud sõmlahendused. Sõmlahenduste kujunemisel lähtuti põhimõtetest, et võimalikult säiliks hoone arhitektuurne välisilme, kuid see-eest oleks tagatud ka energiatõhususe miinimumnõuded. Põranda ning avatäidete puhul pakuti välja ainult üks sobilik sõmlahendus, mis on antud hoone kontekstis kuluefektiivseim ning autori arvates kõige sobilikum käsitööna valminud palkmaja puhul.

Lõputööle antud lähteülesande kohaselt oli soov säilitada soojusallikana kohtkütet ahikütte näol. Uurimise käigus selgus aga, et energiatõhususe eesmärke ei ole võimalik sellise kütismoodusega täita. Sellest lähtuvalt pakuti välja alternatiivsed soojusallikad lähtuvalt

hoone iseärasustest ning planeeritavatest renoveerimistöödest. Samuti kajastas antud alapeatükk ka teist olulist hoone tehnosüsteemi – ventilatsiooni. Autori eeldus oli, et sellega ei peaks tegelema, aga jällegi ei täitnud esialgne ventilatsioonisüsteem energiatõhususeesmärke ning oli vajalik välja selgitada ventilatsioonisüsteem, mis seda teeks.

Peale sobilikke sõmlahenduste väljatöötamist arutati välja renoveerimistööde hinnanguline suurusjärk konsulteerides eriala ekspertidega ning tuginedes autori kogemustele valdkonnas. Antud renoveerimistööde maksumuse eelduseks oli asjaolu, et lammutustööd on tehtud ning hoone konstruktiivsed osad on korras. Ülalpidamiskulude arvestamisel lähtuti hetkel kehtivatest kütuste (elekter, puit) hindadest.

Uurimuse tulemusena tuli välja, et hoone energiatõhususele mängivad suuremat rolli tehnosüsteemid (soojusallikas, ventilatsioon) kui välispiirdetarindid. Millest lähtuvalt renoveerimisel tuleks jätta fassaadi soojustamine pigem järjekorra lõpu ning esmalt tegeleda tehnosüsteemide, avatäidete, põranda ning vahelaega. Soojustusmaterjali suurem hulk rõhtpalkhoone fassaadil ei taga otseselt paremat energiatõhususklassi. Ahiküte soojusallikana ning vabavoolne ventilatsioon ei suuda tagada soovitud energiatõhususeesmärke olenemata välispiirdetarindite sõmlahendustest, mis autori hinnangul on antud hetkel energiatõhususarvutuse puudujäägiks, sest hajaasutuses paikneval hoonel peaks säilima autonoomia elektrienergiast.

Kasutatud allikad

220 Energia. (2023). *Viimase 12 kuu kaalutud keskmised börsihinnad.*

<https://www.220energia.ee/eraklient-elekter/viimase-12-kuu-kaalutud-keskmised-borsihinnad>, (28.04.2023)

Aasmäe, K. (2022). Käsitöö palkmaja energiatõhususe parima võimaliku energiaklassi saavutamine Kolga talu rehielamu näitel [Seminaritöö, Tartu Ülikooli Viljandi kultuuriakadeemia]

AB Polar. (2023). <https://abpolar.ee/nariliste-vork-63x63x06mm-05x5m/>, (15.04.2023)

Aknad-Uksed. (2023). <https://www.aknad-uksed.ee/viljandi-valisuksed>, (01.05.2023)

Bauhaus. (2023). <https://www.bauhaus.ee/ehitusnael-3-5-x-90-mm.html>, (15.04.2023)

Bauhaus. (2023). <https://www.bauhaus.ee/papinael-kzn-2-8-x-40-mm-2.html#>, (07.04.2023)

Bauhaus. (2023). <https://www.bauhaus.ee/tuuletokkeplaat-nordic-fiberboard-12-x-1200-x-2700-mm.html>, (07.04.2023)

Bauhof. (2023). <https://www.bauhof.ee/et/p/124682/klambrid-12mm-1000tk-pk>, (07.04.2023)

Cliox. (2023). <https://cliox.planet.ee/toode/tl-80r-varskeohuklapp-o85x310-kmpl/>, (10.04.2023)

Decora. (2023). <https://www.decora.ee/ehituspaber-0-84x60m-50m2>, (07.04.2023)

Decora. (2023). <https://www.decora.ee/vaheseinte-plokk-fibo-5-150x250x480-tapp-liitega>, (15.04.2023)

E-Ehitus. (2023). Uuring ehituse süsinikjalajälje hindamisprintsipiide rakendamiseks Eestis. <https://eehitus.ee/timeline-post/uuring-ehituse-susiniku-jalajalg/>

Ehituse ABC. (2023). <https://www.ehituseabc.ee/ee/isoplaat-tuuletokke-tapiga-25mm>, (15.04.2023)

Ehitusseadus. (2020). RT I, 07.03.2023, 72.
<https://www.riigiteataja.ee/akt/105032015001?leiaKehtiv>

Ehitusseadus. (2020). RT I, 07.07.2020, 11.
<https://www.riigiteataja.ee/akt/107072020011?leiaKehtiv>

Ehitusseadus. (2020). RT I, 07.07.2020, 12.
<https://www.riigiteataja.ee/akt/109062015021?leiaKehtiv>

Eliitehitus ja viimistlus. (2023). <https://eliitehitus.ee/hinnakiri/>, (04.04.2023)

Espak. (2023). <https://espak.ee/epood/toode/ehitusnael-zn-umar-40120-200g-16tk-pk/>, (15.04.2023)

Espak. (2023). <https://espak.ee/epood/toode/nurgakruvi-5050-tx25-zn-250-tk-pk/>, (07.04.2023)

Feb. (2023). <https://www.feb.ee/et/plaatradiaator-purmo-compact-11-400-1000>, (15.03.2023)

Feb. (2023). <https://www.feb.ee/et/plaatradiaator-purmo-compact-11-400-500>, (15.03.2023)

Hea Maja Pood. (2023). <https://www.heamajapood.ee/et/a/raudsulfaat>, (04.04.2023)

Helia Puit. (2023). <https://heliapuit.ee/tooted/kuivatatud-puit-100x200/>, (15.04.2023)

Homer. (2023). <https://www.ehomer.ee/et/soojustus/tuuletoke-ja-aluskatted/tuuletokkeplaadid/steicouni.html>, (10.04.2023)

Inserv.ee. (2023). <https://www.inserv.ee/products/81932/roovinurk-lv1-80x60x40x2-mf-451511-essve>, (07.04.2023)

Interbauen. (2023). <https://interbauen.ee/1013578-uponor-uni-pipe-plus-toru-isoleeritud-s6-16x2-0mm-sinine-75m.html>, (21.04.2023)

Isekallur. (2023). <https://isekallur.ee/materjalid/peenkillustik>, (15.04.2023)

Kalamees, T. 2020. Eramu energiatõhususe määramine projekteerimise varajases staadiumis. Tallinna Tehnikaülikool

Karjäär. (2021). <https://karjaar.ee/kasulikku/>, (15.04.2023)

Kask, Ü. (2014). Puitkütus (Brošüür). Eesti Biokütuste Ühing.

Kliimakaubamaja. (2023). Soojuspumbade hooldus. <https://www.kliimakaubamaja.ee/soojuspumpade-hooldus/>, (28.04.2023)

Kliimakaubamaja. (2023). Ventilatsiooni hooldus. <https://www.kliimakaubamaja.ee/ventilatsiooni-hooldus/#ventilatsioonihoidus>, (28.04.2023)

Kliimamarket. (2023). <https://kliimamarket.ee/maasoojuspumbad/compress-7800-i-lw-MF-6-inverter-boileriga>, (13.03.2023)

Kliimamarket. (2023). <https://kliimamarket.ee/ohksoojuspumbad/electrolux-avalanche-09>, (13.03.2023)

Kliimamarket. (2023). https://kliimamarket.ee/ohk-vesi-soojuspumbad/panasonic-aquarea-all-in-one-Compact%203kw-185l-boiler_1_2, (13.03.2023)

Korstnapühkimine. (2023). <https://korstnapuhkimine.ee/#hinnakiri>, (28.04.2023)

K-Rauta. (2023). <https://www.k-rauta.ee/p/naelad-ehituse-essve-m-fusion-90-mm-x-3-1-mm/dpq0?cat=bp2&index=1>, (05.04.2023)

K-Rauta. (2023). <https://www.k-rauta.ee/p/vundamendilint-icopal-polueter-bituumen-20-cm-x-1000-cm-must/1xk7>, (15.04.2023)

Kredex. (2023). Väikeelamute rekonstrueerimistoetus 2022–2023.

<https://kredex.ee/et/majaduueks>.

Kurnitski, J. (2017). Liginullenergia eluhooned: rida- ja korterelamud (Abimaterjal). Tallinna Tehnikaülikool.

Kurnitski, J. 2017. Piirdetarindite liitekohtade joonsoojuslähivuse arvutus (Abimaterjal). Tallinna Tehnikaülikool.

Maaküte. (2023). <https://www.maakyte.ee/soojuspumbad/maasoojuspumbad/>, (13.03.2023)

Maaküte. (2023). Maakollektor ja puuraugud. <https://www.maakyte.ee/tooted-ja-teenused/maakollektor/>, (13.03.2023)

Maaküte. (2023). Soojuspuurauk ehk energiakaev maakütte paigaldamiseks. <https://www.maaküte.info/artiklid/puurkaev-energiakaev/>, (13.03.2023)

Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. (2023, 9. veebruar). Energiatõhusus ja sisekliima. <https://www.mkm.ee/ehitus-ja-elamumajandus/keskkonnasaastlikkus/energiatohusus-ja-sisekliima>

Masso, T. (2012). Ehitusfüüsika ABC soojus, niiskus, müra. Ehitame kirjastus.

Metslang, J. (2015). Vana maamaja: Käsiraamat. Tammerraamat kirjastus.

Mürk, H. (2022, aprill 7). Restaureerimine ja renoveerimine.

Naelad.ee. (2023). https://www.naelad.ee/et/kruvid/15-101-puidukruvid-zn-torx-50-200-mm-kruvid.html#/99-kruvi_variant-puidukruvi_5x50_zn_tx_500tk, (15.04.2023)

Naelad.ee. (2023). https://www.naelad.ee/et/pustolinaelad/3-34-kassettnaelad-210-plastseotud-50-90mm-pustolinaelad.html#/41-kassettnaela_variant-21_6529_kz_kamm_2500tk, (04.04.2023)

Osmo. (2023). https://osmo.ee/toode/polyx-olivaha-original-3032-3062-3065-3011/?attribute_pa_taara=25-l, (15.04.2023)

Priks, H. (2021, märts 18). Ehitusfüüsika

Priks, H. (2021, märts 4). Ehitusfüüsika.

Puumarket. (2023). <https://puumarket.ee/toode/laud-kuivatatud-22x100x2700mm/>, (04.04.2023)

Puumarket. (2023). <https://puumarket.ee/toode/pruss-kuivatatud-50x100x2700mm-2/>, (07.04.2023)

Puumarket. (2023). <https://puumarket.ee/toode/valisvoodrilaud-kuusk-uyv-21x145x6000mm/>, (05.04.2023)

Radiaatorikeskus. Tasub teada. <https://radiaatorikeskus.ee/tasub-teada/>, (15.03.2023)

Tervemaja. (2023). <https://pood.tervemaja.ee/toode/universaalteip-pro-clima-tescon-vana/>, (14.02.2023)

Tihase, K. 1974. Eesti talurahvaarhitektuur. Kunst kirjastus.

Trendwood. (2023). <https://trendwood.ee/tooted/ruitmaterjal/ehituslik-saematerjal/>, (15.04.2023)

Trendwood. (2023). <https://trendwood.ee/tooted/ruitmaterjal/ehituslik-saematerjal/>, (15.04.2023)

Vahtla, A. (2023, 29. märts). Halupuude hind püsib kõrgel. ERR. <https://www.err.ee/1608930008/halupuude-hind-pusib-korgel>

Vendik, J. (2016). Energiatõhusa elamu sisekliimat tagavate seadmete elueakulude võrdlev analüüs.[Lõputöö, Tallinna Tehnikaülikooli Tallinna kolledž]

Werro Wool. (2023). Paigaldusjoonised. <https://werrowool.ee/abiks-ostjale/>.

Veskimäe Liivamaardla. (2023). <https://liiv-virumaal.ee/>, (15.04.2023)

Voodrilaud.ee. (2023). <https://voodrilaud.ee/tooted/kuusepuidust-t%C3%A4ispunn>,
(15.04.2023)

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Kermo Aasmäe,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

„Renoveeritava käsitöö rõhtpalkhoone kasutusotstarbe muutmine suvilast aasta läbi elatavaks
hooneks“

mille juhendajad on Tarmo Tammekivi ja Targo Kalamees, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Kermo Aasmäe

12.05.2023