



TALLINNA
TEHNIKA KÕRGGKOO

Indrek Soots

**PÕHKKONSTRUKTSIOONIDE
STANDARDISEERIMINE JA
TASUVUSE ANALÜÜS VÕRRELDES
STANDARDKONSTRUKTSIOONIGA
PUITKARKASSMAJA VAHEL**

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2016



Indrek Soots

**PÕHKKONSTRUKTSIOONIDE
STANDARDISEERIMINE JA
TASUVUSE ANALÜÜS VÕRRELDES
STANDARDKONSTRUKTSIOO-
NIGA PUITKARKASSMAJA VAHEL**

LÕPUTÖÖ

Ehitusteaduskond
Hoonete ehituse eriala

Tallinn 2016

Mina/meie,

.....
.....,

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

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Lõputöö autor/autorid

.....

Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....

Üliõpilase kood

Õpperühm

Lõputöö vastab sellele püstitatud kehtivatele nõuetele ja tingimustele.

Juhendajad

.....

Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....

Konsultandid

.....

Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....

Kaitmisele lubatud „.....“20....a.

..... teaduskonna dekaan

Teaduskonna nimetus

Nimi ja allkiri



Ehitusteaduskond

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõpetaja: **Indrek Soots**
Üliõpilase kood: 120820417
Õpperühm: HE-82
Eriala: Hoonete ehitus
Lõputöö teema: **Põhkkonstruktsioonide standardiseerimine ja tasuvuse analüüs võrreldes standardkonstruktsiooniga puitkarkassmaja vahel**

Lähteandmed töö koostamiseks:

Energiatõhususe arvutamise aluseks eramaja arhitektuuriline projekt

Töö sisu, ülesehitus ja lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Põhkkonstruktsioonide standardiseerimine tehasetootmise võimalikustamiseks, ehitusfüüsikaline ja ökonoomiline analüüs, energiatõhususe arvutamine ning võrdlus

Seletuskirja ning graafilise materjali sisu ja maht:

Põhkkonstruktsioonide väljatöötamine ning tehniliste andmete leidmine ning analüüs.
Maht. 55 lk.

Lõputöö konsultandid:

Konsultandi nimi	Valdkond	Allkiri	Kuupäev
Anti Hamburg	Energiatõhusus, ehitusfüüsika		19.04.2016

Lõputöö juhendaja: **Pille Hamburg**
(nimi) (allkiri) (kuupäev)

Lõpetaja: **Indrek Soots**
(nimi) (allkiri) (kuupäev)

Kinnitaja: **Martti Kiisa**
Ehitusteaduskonna dekaan (allkiri) (kuupäev)

Lõputöö ülesanne antud: 20.02.2016

Lõputöö esitamise tähtaeg: 09.05.2016

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	6
1. STANDARDISEERIMISEST.....	8
2. PÕHKKONSTRUKTSIOONID JA NENDE OMADUSED.....	10
2.1. Tehnilised andmed.....	10
2.2. Põhupakkidest seinakonstruktsioonist.....	10
2.2.1. Kandev ja mittekandev sein.....	10
2.2.2. Standardiseeritud põhksein.....	11
2.3. Põhupakkidest pörandakonstruktsioon.....	12
2.4. Põhupakkidest katusekonstruktsioon.....	14
3. PÕHKKONSTRUKTSIOONIDE SÕLMLAHENDUSED.....	16
3.1. Pörand-välissein.....	16
3.2. Välissein-välissein.....	17
3.3. Välissein-katus.....	19
4. STANDARDSE PUITKARKASSI JA PÕHKKONSTRUKTSIOONI VÕRDLUS.....	20
4.1. Võrdluse põhimõtted ja arvutuse meetodika.....	20
4.1.1. Piirdetarindi soojusjuhtivus.....	20
4.1.2. Piirdetarindi aurutakistus.....	21
4.1.3. Piirdetarindi kaal.....	22
4.1.4. Soojusmahtuvus.....	22
4.1.5. Ehituse aeg.....	23
4.1.6. Piirdetarindi maksumus.....	23
4.1.7. Süsinikdioksiidi jalajälg.....	23
4.1.8. Niiskusrežiimide lähteandmed.....	23
4.2. Süsihappegaasi emissioon ja selle mõju.....	23
4.3. Seinakonstruktsioonide võrdlus.....	25
4.3.1. Standardse puitkonstruktsiooniga välisseina tehnilised andmed.....	25

4.3.2.	Põhkkonstruktsiooniga (voodritega) välisseina tehnilised andmed (ver 1)	27
4.3.3.	Põhkkonstruktsiooniga (savikrohviga) välisseina tehnilised andmed (ver 2)	29
4.4.	Katusekonstruktsioonide võrdlus.....	31
4.4.1.	Standardmaterjalidega mätaskatuse tehnilised andmed	31
4.4.2.	Põhkkonstruktsiooniga mätaskatuse tehnilised andmed	33
4.5.	Põrandakonstruktsioonide võrdlus.....	35
4.5.1.	Standardkonstruktsiooniga põranda tehnilised andmed.....	35
4.5.2.	Põhkkonstruktsiooniga põranda tehnilised andmed.....	37
5.	ENERGIATÕHUSUSE TULEMUSTE VÕRDLUS	39
5.1.	Üldised põhimõtted.....	39
6.	TASUVUSE HINDAMINE	43
6.1.	Elueakulude analüüs seinakonstruktsioonide põhjal	43
6.2.	Küttekulude kokkuvõtte	46
6.3.	Piirdetarindite mahud ning kulude kokkuvõtte.....	46
	KOKKUVÕTE.....	48
	SUMMARY	49
	VIIDATUD ALLIKAD.....	51
	LISAD	54

SISSEJUHATUS

Ehitustraditsioonid on läbi ajaloo teinud läbi olulisi muutusi tulenevalt ühiskonna vajadustest ja ootustest. Viimastel aastakümnetel on hakanud ühiskond mõistma üha enam meid ümbritseva looduse osatähtsust meie elus. Väärtushinnangud ajapikku ei baseeru enam sedavõrd ühekülgset kapitalistlikust ühiskonnast tulenevalt materjaalsest tasuvusest, kuivõrd põhimõtetest nagu jätkusuutlikkus, loodushoid, säästmine ja optimeerimine. Üheks väljundiks ehituses nende põhimõtete kajastamiseks on ökoehitus. Ökoehitus on täna kujunenud alternatiivseks nišiversiooniks ehitusvaldkonnas, mille peamiseks tõukejõuks on idee säästa loodust ning mõte muuta maailma, kuid mida teisalt pärsib ebastandardsuse kõrge hind.

Käesoleva lõputöö teemapüstituse põhiidee on taastada vanu looduslikke ehitustraditsioone ning ühendada neid tänapäevase tehnoloogiliste võimalustega, et saavutada pikemas perspektiivis läbi standardiseerimise masstootmise võimalikkus. Teema teravik on suunatud looduslike materjalidega ehitamise efektiivistamisele, standardkonstruktsioonide väljatöötamisele ning tasuvuse võrdlusele standardse puitkonstruktsiooniga hoonetega.

Lõputöö on jaotatud kahte suuremasse ossa: esimene osa keskendub peamiselt standardkonstruktsioonide väljatöötamisele ja looduslike ehitusmaterjalidega konstruktsioonide ehitusfüüsikalistele teemadele, et tagada piirdekihtide toimivus ning optimaalne konstruktsiooniline lahendus. Lähenetud on teemadele energiatõhususe aspekti silmas pidades.

Teine osa tööst keskendub võrreldavate konstruktsioonide energiatõhususele ning tasuvuse leidmisele. Eesmärk on analüüsida erinevusi standardse puitkonstruktsiooni ning ökomaja vahel. Võrdlusi tehakse sama eramaja arhitektuurse projekti põhjal.

Ökoloogilise ehituse kasuks otsustamine on põhimõtteline valik. Selle tasuvuseni jõudmine ning efektiivistamine samale tasemele täna tuntud ehitusmeetoditega, on pikaajaline ja keeruline protsess, kuid nähes ühiskondlikku suundumust ning väärtushinnangute muutumist ajas, on töö

autori arvates ökoloogilistel ehitusvõtetel palju potentsiaali olla üheks alternatiiviks tänasele ehitusele tulevikus. Standardsuse ja efektiivistamise eelduseks on ehituse osaline viimine majatehastesse, kus on töö korraldus kõige efektiivsem, kuluoptimaalsem ning välistatud ilmastiku ohufaktor. Tehasetingimused on täpsemini kontrollitavamad tänu automaatsele tööstustehnoloogiale ning ajaline võit kõige tõhusamalt saavutatav. Standardiseerimise aluseks on standardsed sõlmede ideoloogilised lahendused ning sama tarindikihtide kasutamine, kus on konstruktsiooniline toimivus tagatud ning vaid viimistluskihid on vastavalt erasoovidele hõlpsamini ümberlahendatavad.

1. STANDARDISEERIMISEST

Standardiseerimine on kvaliteedijuhtimise osa, mis ühtlustab ja parandab tööprotsesse, tööjõuressursi ja materjalide kasutamist ning efektiivistamist. See on alus liintootmise – ühe efektiivseima tootmismudeli – üles seadmiseks. Standardiseerimise olulisemad tugipunktid on olemasoleva ressursi tõhustamine üleliigsete töövõtete elimineerimisega, töökoha korraldamine ja korrashoid 5S¹ meetodite rakendamisega, toodete ühtlustamine standardmaterjalidega, pidev vigade parandamine ning planeerimine. Toyota autotehas on standardiseerimise arenduse üheks etalonnäiteks, kui 20 sajandi esimese poole keskel saavutati kümnetes kordades väiksemate ressurssidega võrreldes toona juhtivaima autotootja Fordi ees edumaa läbi oma tegevuste läbimõtlemise, standardiseerimise ja pideva paranduse läbi. Keerulised majanduslikud seisud ning konkurentsiturve sundisid leidma alternatiivseid meetodeid, kuidas saavutada maksimaalne võimsus ja toodete kvaliteet üheaegselt – selle võtmesõnaks oli koostöö ja pidev vigade parandus. Liintootmistehasesüsteemi algatajad, jaapanlased, on tänaseks tõestanud oma kvaliteeti limiteeritud ressurssidega.

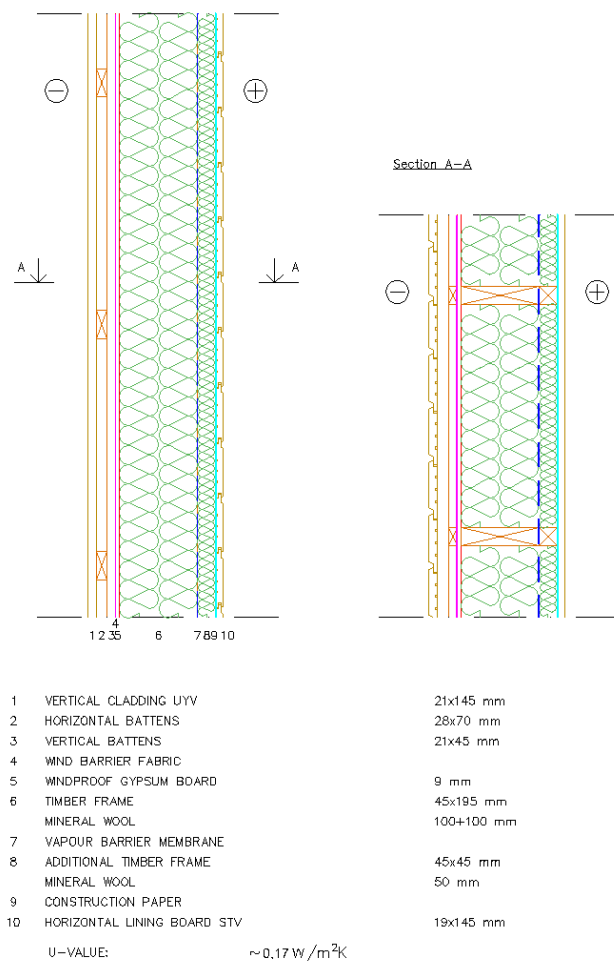
20 sajandi teisel poolel väärtushinnangud muutusid tehnoloogia arenguga, kuid tänapäeval pööratakse üha enam tähelepanu ja ressursi arendustegevustesse, et olla efektiivsem väiksemate kuludega – üheks võimaluseks selle saavutamiseks on standardiseerimine, ehk kasutada võimalikult palju tarnijatelt lihtsaimini kättesaadavat toormaterjali, töötada välja konstruktsioonitüübid, millel on piisavalt valikuvabadusi erinevate klientide soovide täitmisel ent on samas projekteerides alati ühtse loogikaga lähenetud. Standardkonstruktsioonidest tulenevad ka korduvad töövõtted, mis oluliselt kiirendavad tööprotsessi ning seeläbi kogumaksumust kliendile.

Ehitamine tehasetingimustes on üha populariseeruv protsess, nagu on näidanud puitmajatootjate viimaste aastakümnete areng. Välja on töötatud standardlahendused olemasolevate materjalide ja

¹ 5S on Jaapani tööstustest pärit töökoha organiseerimise meetod, mis hõlmab 5 fraasi: *seiri, seiton, seiso, seiketsu, shitsuke*. Jätkusuutlik metoodika, kuidas efektiivistada oma töökoha produktiivsust.

võimalustega, mille aluseks on täna standardsete ehitusmaterjalide väga laialdane levik. Konstruktsiooni välja töötades on lähtutud soojustuse paksuse ning kandekonstruktsiooni tugevuse muutumise võimalikkusest.

Järgnevalt on toodud joonis (Joonis 1) ühest standardkonstruktsioonist puitkarkasstehasemaju tootva ettevõtte näitel:



Joonis 1. Standardiseeritud välisseina konstruktsioon²[1]

Looduslike ehitusmaterjalide standardiseerimine on pikaajaline ja keerukas protsess, kuid turupotentsiaalset ja trendidest lähtuvalt perspektiivne. Optimaalne võimalik lahendus on ühendada looduslikke materjale standardsete materjalidega.

² Standardiseerimine tähendab ühtlustamist, ühtsete tööprotsesside ja/või materjalide väljatöötamist ning järjepidevat kasutamist ning arendamist

2. PÕHKKONSTRUKTSIOONID JA NENDE OMADUSED

2.1. Tehnilised andmed

Põhkehituses kasutatakse enamjaolt nisu, rukki või kaera õlgedest pressitud standardseid väikepakke mõõtudega 900x450x350 mm (PxLxK). Kuna tegemist on loodusliku ja mittehomoogeense materjaliga, on tehnilised andmed väga erinevalt tulenevalt erinevatest katsetest. Järgnevalt on esitatud mõned andmed:

- soovitatav tihedus seinas $\rho = 120 \text{ kg/m}^3$ [27];
- veeauru diffusioonitegur $\mu = 2$ [13];
- soojaerijuhtivus $\lambda = 0,0337\text{-}0,07 \text{ W / mK}^3$;
- sooja-erimahtuvus $c_p = 2 \text{ kJ / kgK}$ [14].

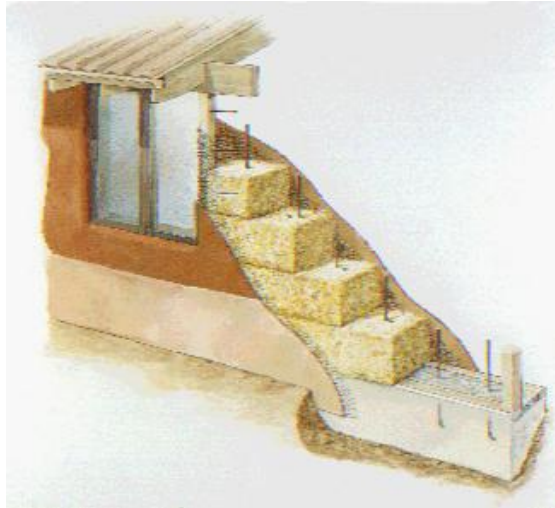
2.2. Põhupakkidest seinakonstruktsioonist

2.2.1. Kandev ja mittekandev sein

Peamiselt on kasutusel kaks erinevat konstruktsioonitüüpi:

- Kandva konstruktsiooniga põhksein (joonis 2) on laotud standardsetest põhupakkidest sein, mis on ennastkandev ja pealmisi koormusi kandev. Katuse, vahelagede ja muutuvkoormused kantakse läbi kandva põhkseina otse vundamendile. Põhkseinale annavad kandevõime põhupakkide kokkusurutavus (u 110-120 kg/m^3) ning pakkide omavaheline sidumine salapulkadega. Lisaks ühendatakse seinaosad ülemise ja alumise puidust ringvööga.

³ Katsete tulemused erinevad suuresti olenevalt tihedusest, õlgede orientatsioonist, niiskusest. $\lambda = 0,0369$ Määratud katsetel 10°C, 10% niiskuse, 100kg / m³ tiheduse juures, vastavalt ISO 8301 järgi. [2]



Joonis 2. Kandva seinakonstruktsiooniga põhksein [3]

- Mittekandva konstruktsiooniga põhksein – põhupakid on soojustuse ja viimistluse eesmärgil, kõik koormused võtab vastu standardne puitkarkass. Puitkarkassil seinakonstruktsioon on puitkarkassi külmasildade tõttu kehvema soojapidavusega, kuid on teisalt lihtsamini ja kiiremini ehitatav ning annab valikuvabaduse sise- ja välisviimistlusmaterjalide valikuosas. Samuti on seina lihtsam projekteerida ning ehitada valmis majatehases elementide või moodulitena.

2.2.2. Standardiseeritud põhksein

Tuginedes standardmaterjalidele ning koormuskandeskeemidele, on üheks mõistlikuks lahenduseks korruse kaupa seinaelemendid. Tulenevalt põhupaki mõõtude eripärast on mõistlik kasutada topelt puitkarkassi (ristlõige vastavalt koormustele, karkassiposti samm 900 mm põhupaki pikkuse järgi, karkassiosa laius kokku 450 mm), mis annab võimaluse kinnitada hõlpsalt välis- ja siseviimistluskihte nagu voodrilauda koos distantssliistuga või puitlaastplaate. Samuti on topeltkarkasse eelis 1-kordse karkassi ees väiksem soojaläbivus külmasildade arvelt. Miinuseks on keerukam koormuste jagunemise kalkulatsioon ja kahe karkassi vahelise jääkuse saavutamine.

Põhkseinad krohvitakse tavaliselt väljast savikrohviga 3-5 cm paksuselt kahes kuni kolmes kihis, et tagada niiskusliku režiimi toimivus. Esimene kiht on 0,6-1,2 cm paks ning täidetakse ära suuremad augud, pind jäetakse krobeline ja lisatakse võimalusel kiudusid, näiteks põhuõlgesid – see tekitab nakke järgmise kihi jaoks. Teine kiht on täitev kiht, millega kasvatatakse kihi paksust ja kolmas kiht viimistluskiht, millega antakse lõpptöötlus. [4]

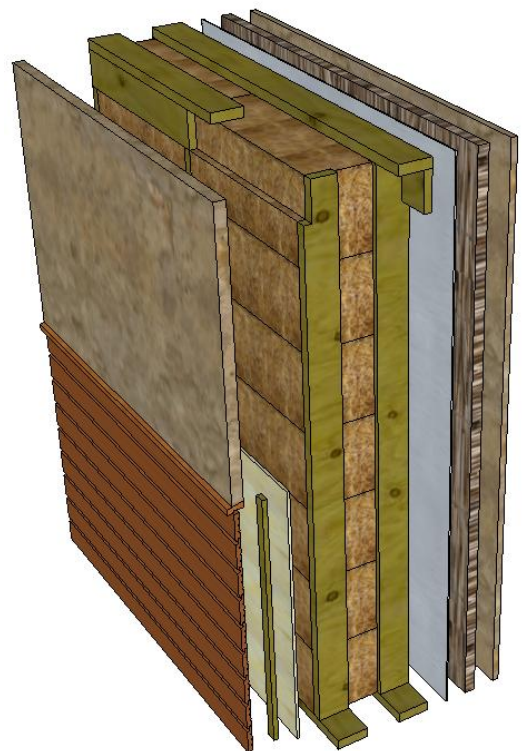
Savikrohv on hea niiskuse balanseerija, kuid liigse niiskuse vältimiseks ilmastiku näol on mõistlik sokli osas kasutada teisi fassaadiviimistluse võimalusi. Selleks sobib näiteks tuuletõkkeplaat, mis kaetud horisontaalse välisvoodrilauaga, mis on sokli osas lihtne osaliselt välja vahetada juhul, kui voodrilaud on saanud niiskuskahjustusi eksploatatsiooni aja jooksul.

Niiskusrežiimi toimivuseks on oluline takistada seesmise ruumiõhu niiskuse kandumist kandvasse konstruktsiooni ja soojustuskihti. Lahenduseks on kas savikrohv või muu aurutõkke materjal. Lähtudes looduslikust aspektist on tavapärase aurutõkkele asemel kasutatud Pro Clima DB+ aurutõkkepaberit, mis on toodetud tselluloosikiududest ja tugevdatud naturaalse sooladega andmaks paremat tulepüsivust. Veeauru läbivus on suvisel ajal suurem, et konstruktsioon kuivaks ning talvisel ajal väiksem, et ei tekiks kondensaadi ega kandva konstruktsiooni märgumise ohtu. [5]

Kõik alljärgnevad standardiseeritud konstruktsioonide tüüpide joonised on töö autori poolt loodud.

Järgnevalt on välja toodud piirde kihid sisemistest kihtidest välisteni (Joonis 3):

- savikrohv 30 mm / sisevooder;
- pillirooplaat 50 mm / distantliist;
- aurutõkkepaber 0,2 mm;
- topelt puitkarkass + 450 mm põhupakksoojustus;
- savikrohv 50 mm / tuuletõkkemembraan 0,2 mm + distantstroovitus 21 mm + välisvoodrilaud 19 mm.



Joonis 3. Standardiseeritud põhksein

2.3. Põhupakkidest põrandakonstruktsioon

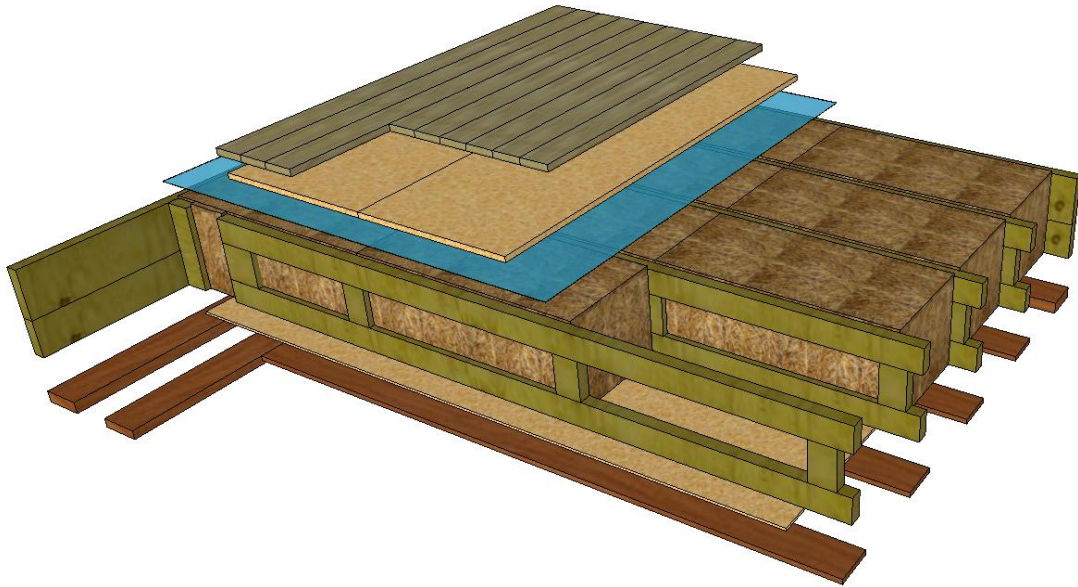
Põrandakonstruktsiooni puhul on autor kasutanud põhupakkide standardset laiust 450 mm, mis võimaldab põrandalaagituse sammuks 450 mm. Põhupaki paksus määrab põrandakonstruktsiooni

paksuse 350 mm, Kandekonstruktsiooni materjali ja külmasildade vähendamise eesmärgil kasutatud sarnaselt seinakonstruktsioonile topeltkarkassi. Alternatiiviks energiatõhusamale topeltkarkass-fermile on kasutada ogaplaattalaseid (nt puitu ristlõigetega 45x195+45x145), kuid põrandakarkassi koormused on sedavõrd väiksemad sellise materjali ristlõigete kandevõimest, on optimeeritud puitmaterjali hulka. Topeltkarkassi puhul on tööhulk suurem, kuid läbi standardkonstruktsiooni väljatöötamise annab tootlikust oluliselt kiirendada.

Niiskusrežiimi toimivuseks on aurutõkkena kasutatud Pro Clima DB+ aurutõkkepaberit. Kuna tegemist on alt-tuulutatava põrandakonstruktsiooniga, on tuuletõkkeks kasutatud puitlaastplaati eeldusel, et alt on tagatud piisav tuulutus ning kõrvaldatud pinnaseniiskuse konstruktsiooni levimise oht.

Järgnevalt on välja toodud piirde kihid sisemistest kihtidest välisteni (Joonis 4):

- põrandalaud 28 mm / muu põrandakatte materjal;
- niiskuskindel puitlaastplaat 22 mm;
- aurutõkkepaber 0,2 mm;
- puidust topelt põrandalaagid (ristlõige vastavalt koormuskalkulatsioonidele) + põhupakksoojustus 350 mm;
- niiskuskindel puitlaastplaat 8 mm;
- süvaimmutatud puidust alusprussid 45 mm.



Joonis 4. Standardne põrandakonstruktsioon

2.4. Põhupakkidest katusekonstruktsioon

Mätaskatus pole tänapäeval laialt levinud eramajadel, kuid selle traditsioonilises standardkonstruktsioonina Skandinaavia maades on olemas. Mätaskatuse soojutuskihiks on põhupakksoojustus. Sarikate samm on vastavalt põhupakkide standardmõõdule 450 mm, sarika materjal vastavalt tugevuskoormustele. Sarnaselt põrandakonstruktsioonile on katuse puhul kasutatud topeltkarkassi lahendust 350 mm põhupakkide osas hoidmaks kokku puitmaterjali hulka koormuste üledimensioneerimise vältimiseks. Katusekonstruktsioonil on suhteliselt suur kaal: mätaskatuse omakaal 3kN/m^2 ja põhupakksoojustuse omakaal $0,5\text{-}1\text{ kN/m}^2$.

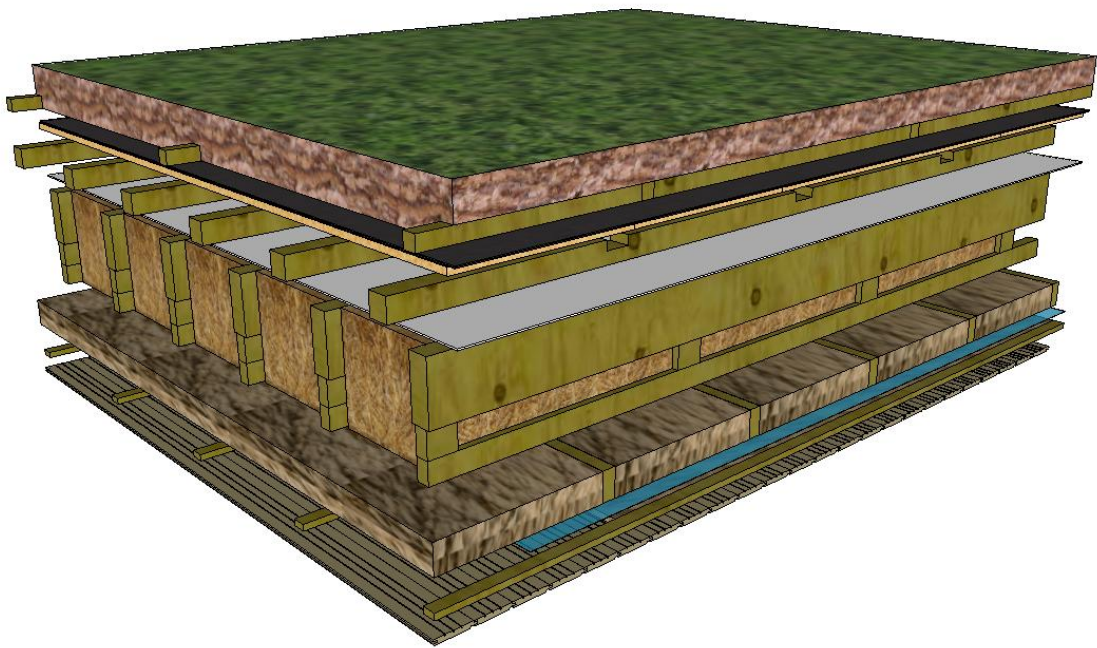
Mätaskatuse soojustehnilised omadused on sooja salvestusvõime ja hea sisekliima tagamine. Massiivne katusekonstruktsioon aitab kaasa kütte- ning jahutamiskulude madaldamisele. Mätaskatus vajab vastupidavat ja usaldusväärset hüdroisolatsioonikihti, mida looduslike ehitusmaterjalide valikus pole.

Lisaks põhupakksoojustusele on katusekonstruktsioonis kasutatud lisasoojustuseks lambavilla, et alandada täiendavalt soojaläbilaskvust. [6]

Katusekonstruktsiooni puhul on kasutatud tuuletõkeks Pro Clima Solitex UM tuuletõkkekangast, mis on neljakihiline mikrokiud vill [7]. Tuuletõkkeks on eelistatud kasutada tuuletõkkekangast, et vähendada konstruktsiooni täiendavat kaalu lisamist.

Järgnevalt on välja toodud piirde kihid sisemistest kihtidest välisteni (Joonis 5):

- sisevoodrilaud 19 mm / muu viimistlusmaterjal;
- distantsroovitus 21 mm + lambavilla soojustus;
- aurutõkkepaber 0,2 mm;
- lisakarkass + lambavillsoojustus 95 mm;
- topeltkarkass sarikafermid + põhupakksoojustus 350 mm;
- tuuletõkkekangas 0,2 mm;
- tuulutusröövitus 70 mm;
- niiskuskindel puitlaastplaat 22 mm;
- bituumen aluspapp, 2 kihti, 4 mm;
- turbakiht 150 mm.

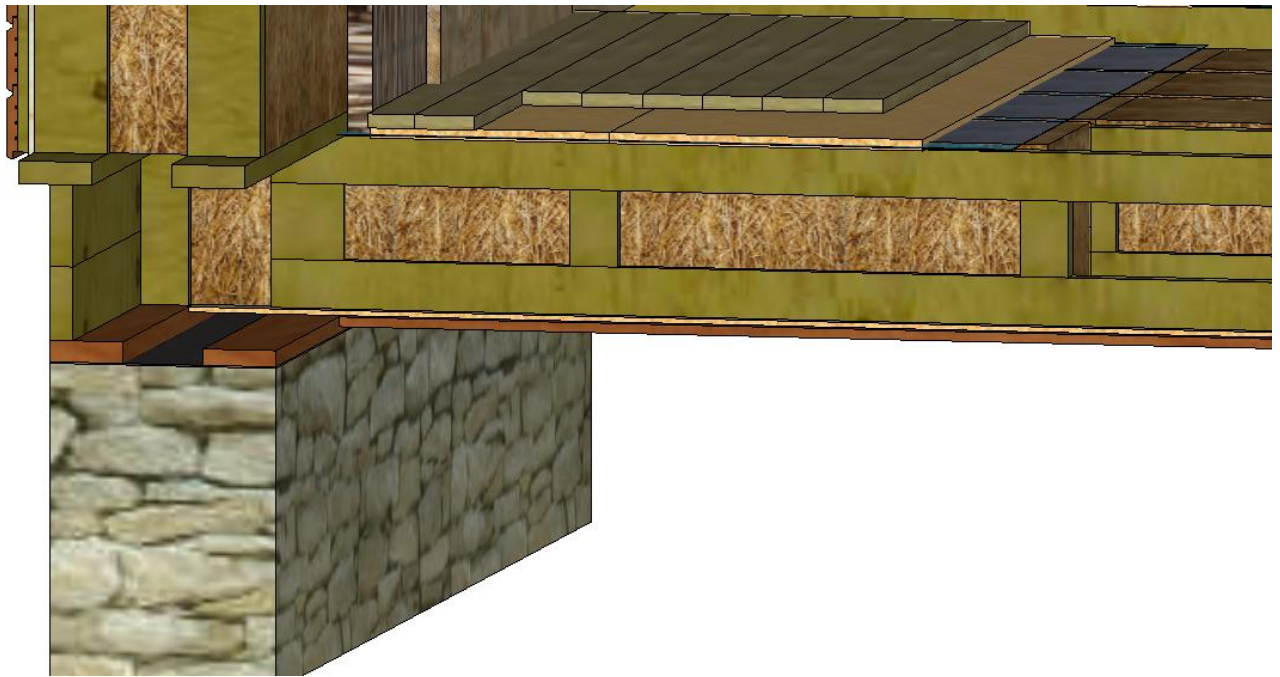


Joonis 5. Standardne mätaskatuse konstruktsioon

3. PÕHKKONSTRUKTSIOONIDE SÕLMLAHENDUSED

Sõlmlahenduste projekteerimisel on arvesse võetud külmasildade vähendamist ning õhutiheduse saavutamist, võttes arvesse põhksoojustusest tulenevaid erivajadusi. Eesmärgiks on konstruktsioonilised koormused kanda vundamendini võimalikult väheste külmasildade tekitamisega. Järgnevalt on välja toodud peamised sõlmlahendused standardiseeritud põhkkonstruktsioonist.

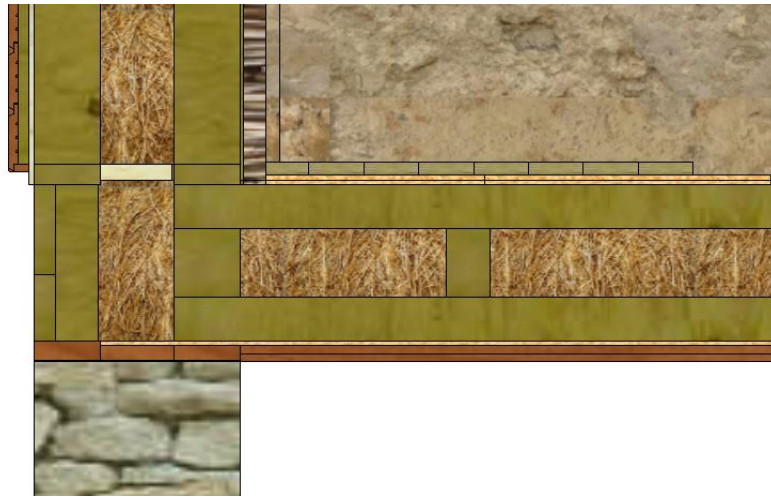
3.1. Põrand-välissein



Joonis 6. Põrandaja välisseina ühendussõlm

Topeltkarkassiga seina üheks miinuseks on kandva vundamendi osa laiendamine või vahesoojustusega kahe kandva vundamendiosa rajamine. Joonisel (Joonis 6, Joonis 7) kujutatud juhul on jaotatud seinakoormused läbi põrandatalade vundamendini, et vähendada soojusläbivust

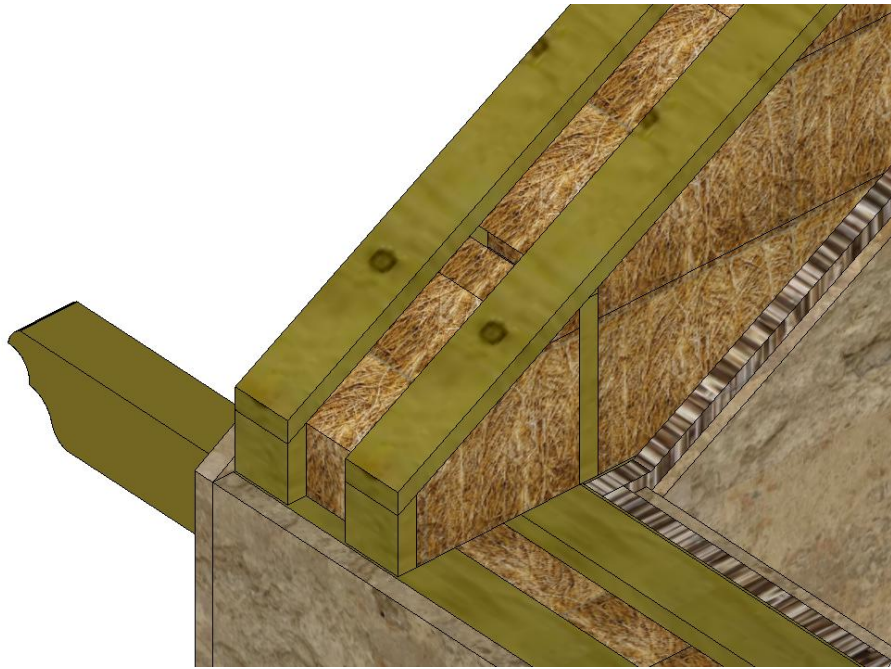
külmasilla eemaldamise tõttu. Rooplaat välisseinas ulatub kuni põrandataladeni, mis vähendab seina alumise vöö kaudu külmasilda.



Joonis 7. Põranda-välisseina lõige

3.2. Välissein-välissein

Välisseina nurkühendusel on külgliseina karkass vastu otsaseina karkassi (otsasein on kuni välisperimeetrini). Sellisel juhul on võimalik omavahel ära siduda külgliseina mõlemad karkassid otsaseinaga. Kuna otsasein on vaid omakoormust kandev, pole otsaseina topeltkarkassi jäigastamine keeruline. Välisseinte omavaheline sõlmilahendus näidatud joonistel (Joonis 8, Joonis 9).



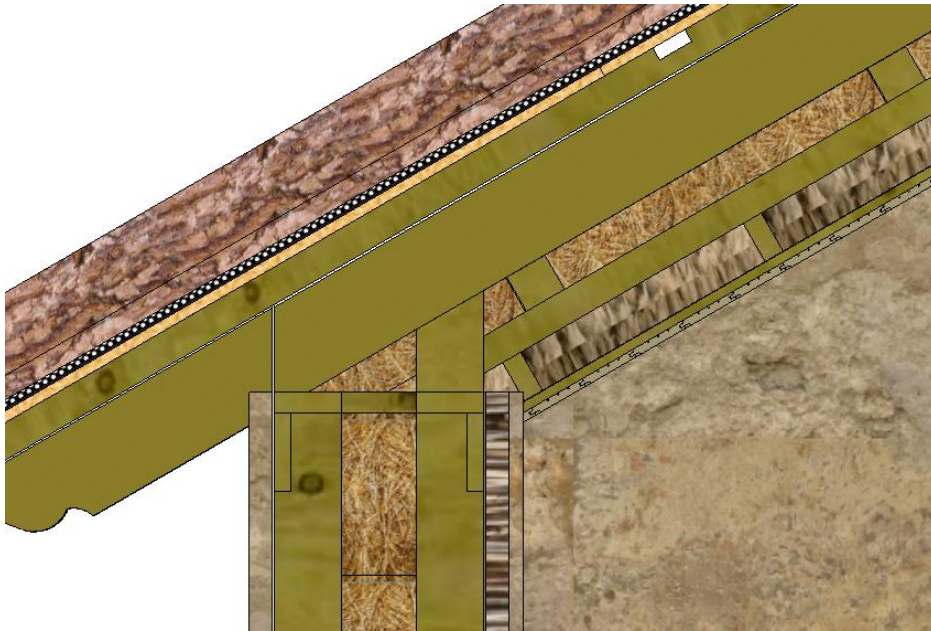
Joonis 8. Otsmine välissein - külgmine välissein ühendussõlm



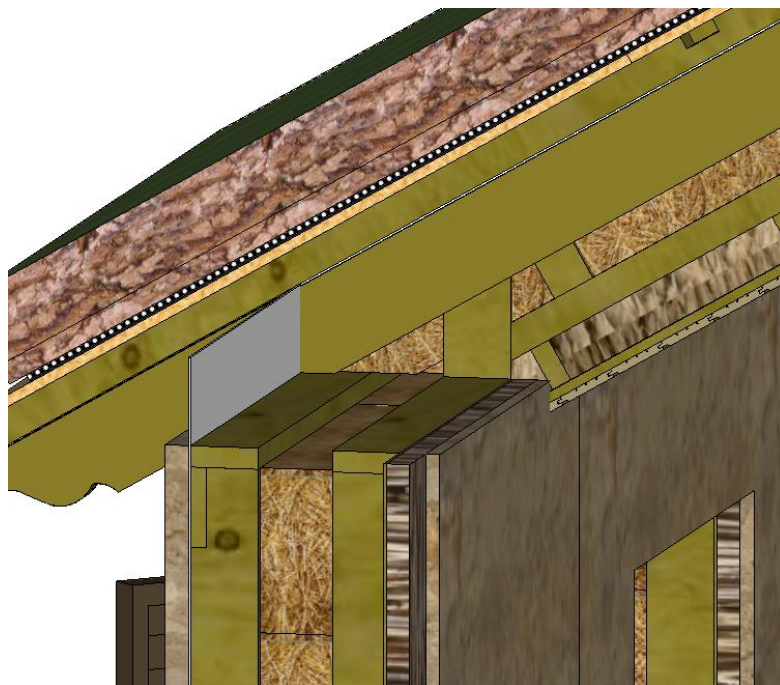
Joonis 9. Välissein-välissein pealtvaade

3.3. Välissein-katus

Katusekonstruktsiooni toetus välisseinale on jaotatud välisseina mõlema karkassi sillusega vööle, et ühtlustada koormuse kandumist ning omavahel ühendada.



Joonis 10. Välissein-katus läbilõige



Joonis 11. Välissein-katus ühendus

4. STANDARDSE PUITKARKASSI JA PÕHKKONSTRUKTSIOONI VÕRDLUS

Autor on võrrelnud traditsioonilist puitkarkasshoonet ning põhkkonstruktsiooni. Võrdluste aluseks on standardse puitkarkasshoone piirdetarindite poolt puitmajatootjate enimkasutatavad konstruktsioonitüübid ning võrdlusena väljaarendatud eelnevalt käsitletud standardiseeritud põhkkonstruktsioonid. Võrdlus baseerub seitsme erineva ehitusfüüsikalise ja majandusliku näitaja poolt: piirdetarindi soojusläbivus, aurutakistus, piirdetarindi kaal, soojaerimahtuvus, ehituse aeg (arvestades tehaseehituse tööajanorme), piirdetarindi maksumus ning süsinikdioksiidi CO₂ jalajälg (tarindi hinnanguline loodussõbralikkuse näitaja). Kõik näitajad on arvutatud piirdetarindi 1 m² kohta.

4.1. Võrdluse põhimõtted ja arvutuse metoodika

4.1.1. Piirdetarindi soojusjuhtivus

Piirdetarindi soojusjuhtivus U (W/m²K) on leitav valemiga (1) [8]:

$$U = 1 / R_T, \quad (1)$$

kus:

R_T on piirde kogusoojustakistus (m²K/W). Kogu soojustakistus on kõikide piirdekihtide soojustakistuste summa. Homogeensete piirdekihtide soojatakiistus arvutatakse valemiga (2) [8]:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots R_n + R_{se} \quad (2)$$

kus:

R_{si} – piirde sisepinna soojustakistus (m²K/W);

R_{se} – piirde välispinna soojustakistus (m²K/W);

R_1, R_2, \dots – iga piirdekihisoostakistus ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)

Piirdetarindi iga soojuslikult homogeenise materjalikihi arvutuslik soojustakistus R ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) on arvutatav valemiga (3) [8]:

$$R = d / \lambda, \quad (3)$$

kus:

d – materjali paksus meetrites;

λ – materjali soojuserijuhtivus $\text{W}/(\text{mK})$, mis arvestab soojustuse paigalduskeskkonna mõjusid ja arvutustes võib kasutada tootja poolt antud väärtust. Selle puudumisel arvutama standardi EVS-EN ISO 10456 järgi. [8]

Mittehomogeenise piirdekihi puhul (nagu puitkarkass koos soojustusega) tuleb leida soojustakistuse R ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) kaalutud keskmine valemiga (4) [8]:

$$R = (d_1 + d_2) / ((d_1 / \lambda_1) + (d_2 / \lambda_2)) \quad (4)$$

kus:

d_1 – karkassiposti laius;

d_2 – soojustuskihi laius;

λ_1 – karkassiposti soojuserijuhtivus;

λ_2 – soojustusekihi soojuserijuhtivus.

4.1.2. Piirdetarindi aurutakistus

Piirdetarindi aurutakistus μ ($\text{m}^2 \text{ s Pa} / \text{kg}$) on leitav valemiga (5) [8]:

$$\mu = 1 / R_a, \quad (5)$$

kus:

R_a – piirde koguaurutakistus ($\text{m}^2 \text{ s Pa} / \text{kg}$).

Kogu aurutakistus on kõikide piirdekihtide aurutakistuste summa. Homogeensete piirdekihtide aurutakistus R ($\text{m}^2 \text{ s Pa} / \text{kg}$) arvutatakse valemiga (6) [8]:

$$R_a = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots R_n + R_{se} \quad (6)$$

kus:

R_{si} – piirde sisepinna aurutakistus ($\text{m}^2 \text{ s Pa} / \text{kg}$);

R_{se} – piirde välispinna aurutakistus ($\text{m}^2 \text{ s Pa} / \text{kg}$);

R_1, R_2, \dots – iga piirdekihiaurutakistus ($\text{m}^2 \text{ s Pa} / \text{kg}$).

Piirdetarindi iga kihi aurutakistus R ($\text{kg} / \text{m s Pa}$) on arvutatav valemiga (7) [8]:

$$R = d / \mu \quad (7)$$

kus:

d – materjali paksus meetrites;

μ – materjali auruerijuhtivus ($\text{kg} / \text{m s Pa}$).

Mittehomogeense piirdekihi puhul (nagu puitkarkass koos soojustusega) tuleb leida aurutakistuse R ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) kaalutud keskmine valemiga (8) [8]:

$$R = (d_1 + d_2) / ((d_1 / \mu_1) + (d_2 / \mu_2)), \quad (8)$$

kus:

d_1 – karkassiposti laius;

d_2 – soojustuskihi laius;

μ_1 – karkassiposti auruerijuhtivus;

μ_2 – soojustusekihi auruerijuhtivus.

4.1.3. Piirdetarindi kaal

Piirdetarindi kaal g (kg) on arvutatud tulenevalt iga materjali tihedusest, mis on tootja ette määranud ning korrutatud vastava kihi mõõtmetega 1 m^2 piirdekihi kohta.

4.1.4. Soojusmahtuvus

Materjalide soojusmahtuvus on arvutatud vastavalt materjalile esitatud tootjapoolsete soojaerimahtuvuse väärtustega. Leitud on 1 m^2 piirdetarindi kaal ja korrutatud vastavate materjalide soojaerimahtuvusega. Soojusmahtuvus C_{pt} ($\text{kJ} / \text{m}^2\text{K}$) on leitud valemiga (9):

$$C_{pt} = g * C_p, \quad (9)$$

kus:

C_{pt} – kogu soojaerimahtuvus piirdetarindis;

g – 1 m² piirdetarindi kaal;

C_p – materjali tootjapoolt antud soojaerimahtuvus (kJ / kgK).

4.1.5. Ehituse aeg

Ehituse aeg on arvutatud standardsete tööprotsesside ja materjalide puhul puitmajatehase tehasetöö tööajanormide baasil ning ebastandardsete materjalide töö puhul viidud läbi isiklik uuring [28].

4.1.6. Piirdetarindi maksumus

Piirdetarindi maksumus on arvutatud tulenevalt tööajanormidest ning võetud aluseks töötaja töötunni rahaline kulu tööandjale 12 €/tunnis. Materjalide hinnad on arvestatud enimlevinud kohalike tarnijate materjalide müügihindad ettevõtjale (ilma KM) seisuga aprill 2016.

4.1.7. Süsinikdioksiidi jalajälg

Piirdetarindi süsinikdioksiidi (edaspidi CO₂) jalajälg on arvutatud toormaterjali tootmise CO₂ emissiooniteguri järgi. (kg CO₂/kg) ehk mitu kg CO₂ on eraldunud 1 kg toote tootmise käigus. Piirdetarindi emissioon on tarindi kaal korrutatud emissiooniteguriga.

4.1.8. Niiskusrežiimide lähteandmed

Niiskusrežiimide lähteandmed on valitud: välisõhk: temperatuur -21°C, suhteline õhuniiskus 85%, siseõhu temperatuur +21°C, suhteline õhuniiskus 45%.

4.2. Süsihappegaasi emissioon ja selle mõju

Emissioonitegurite leidmine erinevatele materjalidele on keeruline ja aeganõudev, kuna materjalitootjad ei ole kohustatud arvutama ega välja andma CO₂ emissioonide infot. Põhiprobleemiks emissioonitegurite leidmisel on erinev materjalide tootmistehnika ja tehnoloogia. Kuna arvesse tuleb võtta ka toormaterjalide transporti ja tehnoloogiast tulenevaid erisusi (näiteks põhupakkide tootmise tehnoloogia erisused ning tööde hulk), siis on lõpptulemas moonutatud.

Kuna piiride seadmine on hägune, mida arvestatakse emissiooniteguri hulka, on kokkuvõttes tulemus ebatäpne. Üldise põhimõtte järgi tuleb arvestada emissioonitegurisse alates toormaterjali hankimisest kuni valmistoote saamiseni. Kogu järgnevates arvutustes kasutatud emissioonitegurite sisse pole arvestatud ka jääkprodukte, kuna teemakäsitluses kasutatakse valdavalt looduslike materjale ning jäätmekäitlusesse minevad pakendamise jms osakaalud on sedavõrd väikesed, et need üldpilti ei muuda.

Arvutustes ei kajastu asjaolu, et puidul ning taastuvatel looduslikel materjalidel on omadused õhust siduda süsinikku ning koondarvestuses vähendab see ehituse käigus tekitatud CO₂ emissioone veelgi.

4.3. Seinakonstruktsioonide võrdlus

4.3.1. Standardse puitkonstruktsiooniga välisseina tehnilised andmed

Et võrrelda sarnaste soojusjuhtivusomadustega standardset puitkarkass- ja pöhhkonstruktsiooni, on lisarootuste ja täiendavate mineraalvilla kihtidega alandatud enimlevinud 245+45 mm puitkarkass-standardkonstruktsiooni soojapidavust 0,098 W/m²K-ni. Piirdekonstruktsiooni niiskusrežiim on arvutatud vastavalt lähteandmetele ning toimiv, kastepunkti ei teki (Joonis 12). Standardkonstruktsiooni puhul kasutatakse soojustusmaterjaliks mineraalvilla, millel on kõrge asjastunud energia (*ingl k embodied energy*), ehk materjal, mille tootmisprotsess on kõrge süsiniku jalajäljega ning see on standardkonstruktsiooni suureks puuduseks. Standardse puitkarkassi tehnilised andmed on esitatud alljärgnevalt (Tabel 1) ning piirdetarindi omaduste kokkuvõtte arvatuna 1m² kohta (Tabel 2).

Tabel 1

Standardse puitkarkass konstruktsiooni tehnilised andmed

Nimetus	Kihi paksus	Materjali laius	Karkassi samm	Kaalutud soojuserijuhtivus λ (W / mK)	Soojustakistus R (m ² K / W)	Auruerijuhtivus (kg / m s Pa)	Aurutakistus (m ² s Pa / kg)	Tihedus (kg / m ³)	Kaal piirdetarindi (kg)	Sooja-erimahtuvus cp (kJ / m ² K)	Materjali kulu € / m ²	Ajanorm in.h / m ²	Tööjõu kulu € / m ²	Kulu kokku: € / m ²	Emissioonitegur: kg CO ₂ / kg	CO ₂ jalajalg: kg CO ₂ / m ²
Sisepind					0,130		5,40E+06									
STV sisevooder 19x146 mm (mänd)	19 mm	146 mm		0,130	0,146	2,00E-12	9,50E+09	550	10,5	16,7	9,15 €	0,60 in.h / m ²	7,20 €	16,35 € / m ²	0,04	0,46
Lisakarkass 45x45 mm roovitus + 50 mm mineraalvilla	45 mm	45 mm	cc 600 mm	0,041	1,093	9,73E-11	4,63E+08	91,25	4,1	6,6	2,87 €	0,35 in.h / m ²	4,20 €	7,07 € / m ²	1,05	4,31
Aurutõkkele 0,2 mm	0,2 mm					5,00E-16	4,00E+11	1000	0,2	0,2	0,60 €	0,04 in.h / m ²	0,48 €	1,08 € / m ²	28,10	5,62
Lisakarkass 45x95 mm roovitus + 100 mm mineraalvilla	95 mm	45 mm	cc 600 mm	0,041	2,308	9,73E-11	9,77E+08	91,25	8,7	13,9	5,13 €	0,50 in.h / m ²	6,00 €	11,13 € / m ²	1,05	9,10
Kandev puitkarkass 45x245 mm + mineraalvill 250 mm	245 mm	45 mm	cc 600 mm	0,041	5,952	9,73E-11	2,52E+09	91,25	22,4	35,8	12,17 €	0,86 in.h / m ²	10,32 €	22,49 € / m ²	1,05	23,47
Klaasvilltuuletõkkeplaat 13 mm	13 mm	1200 mm		0,034	0,382	1,05E-10	1,24E+08	30	0,4	0,6	0,90 €	0,20 in.h / m ²	2,40 €	3,30 € / m ²	3,20	1,25
Välispind					0,040		2,70E+06									
Vertikaalne tuulutusroovitus 21x45 mm	21 mm	45 mm	cc 600 mm		0,180	2,67E-11	7,88E+08	550	0,9	1,4	0,55 €	0,20 in.h / m ²	2,40 €	2,95 € / m ²	0,04	0,04
Horisontaalne dist roovitus 28x45mm	28 mm	45 mm	cc 600 mm			2,67E-11	1,05E+09	550	1,2	1,8	0,60 €	0,20 in.h / m ²	2,40 €	3,00 € / m ²	0,04	0,05

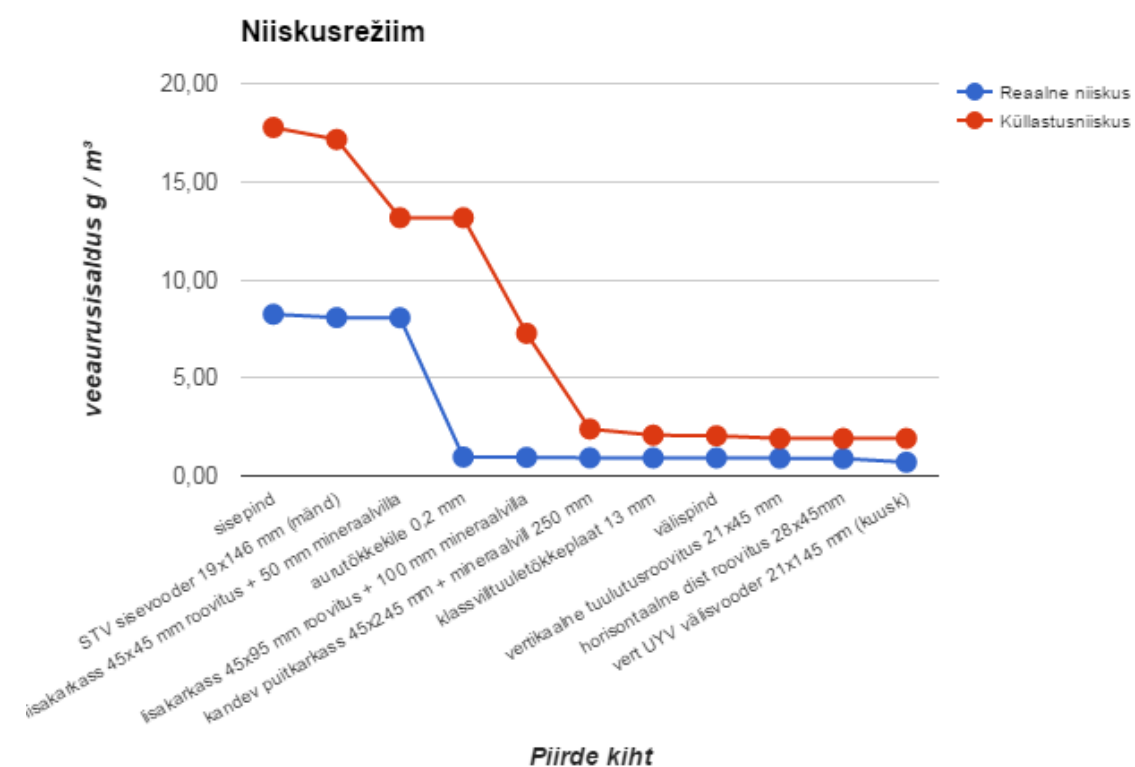
Vert UYV välisvooder 21x145 mm (kuusk)	21 mm	145 mm		0,130		2,00E-12	1,05E+10	550	11,6	18,5	11,00 €	0,60 in.h / m ²	7,20 €	18,20 €/ m ²	0,04	0,51
Kokku:	487 mm				10,232 m ² K / W		4,26E+11 m ² s Pa / kg		59,74 kg	95,45 kJ / m ² K	42,96 €	3,55 in.h / m ²	42,60 €	85,6 € / m ²		44,81 kg CO ₂ / m ²

Tabel 2

Piirdetarindi omaduste kokkuvõte

Soojusjuhtivus U =	0,098 W / m ² K
Aurutakistus Ra =	4,26E+11 m ² s Pa / kg
Soojusmahtuvus Cp =	95,45 kJ / m ² K
Piirdetarindi kaal g =	59,74 kg
Piirdetarindi ehituse aeg:	3,55 inim h
Piirdetarindi maksumus:	85,60 €
Piirdetarindi CO ₂ jalajalg:	44,81 kg CO ₂

Niiskusrežiim on esitatud alljärgneval joonisel (Joonis 12).



Joonis 12. Niiskusrežiim standardsel puitkarkass-seinal

4.3.2. Põhkkonstruksiooniga (voodritega) välisseina tehnilised andmed (ver 1)

Teiseks võrreldavaks konstruktsiooniks on puitkarkassil põhkkonstruksioon koos ökoloogilise tuuletõkkekanga ja aurutõkkepaberiga ja koos sise- ning välisvoodritega. Konstruktsioonil on tagatud niiskustehniline toimivus (Joonis 13). Alljärgnevatest tabelitest (Tabel 3 ja Tabel 4) selgub, et põhkkonstruksiooni eeliseks standardse puitkarkass-mineraalvilla ees on CO₂ jalajälje vähenemine ja soojaerimahtuvus, kuid suurenenud on kaal. Topelt puitkarkassi konstruktsiooni jäigastuse ning põhupakkide kokkusurumise arvelt on suurenenud piirdetarindi ehitusaeg, kuid tulenevalt põhupakkide hinnast ning puidu osakaalu vähesusest on tarindi ehitusmaksumus kokkuvõttes ligilähedane standardkonstruktsiooniga. Põhkkonstruksiooni eeliseks võrdluses on väike CO₂ jalajalg, mis on saavutatud kasutades soojustusena mineraalvilla asemel põhupakke. Soojaerimahtuvus on tänu kokkupressitud põhule põhkkonstruksioonil suurem.

Tabel 3

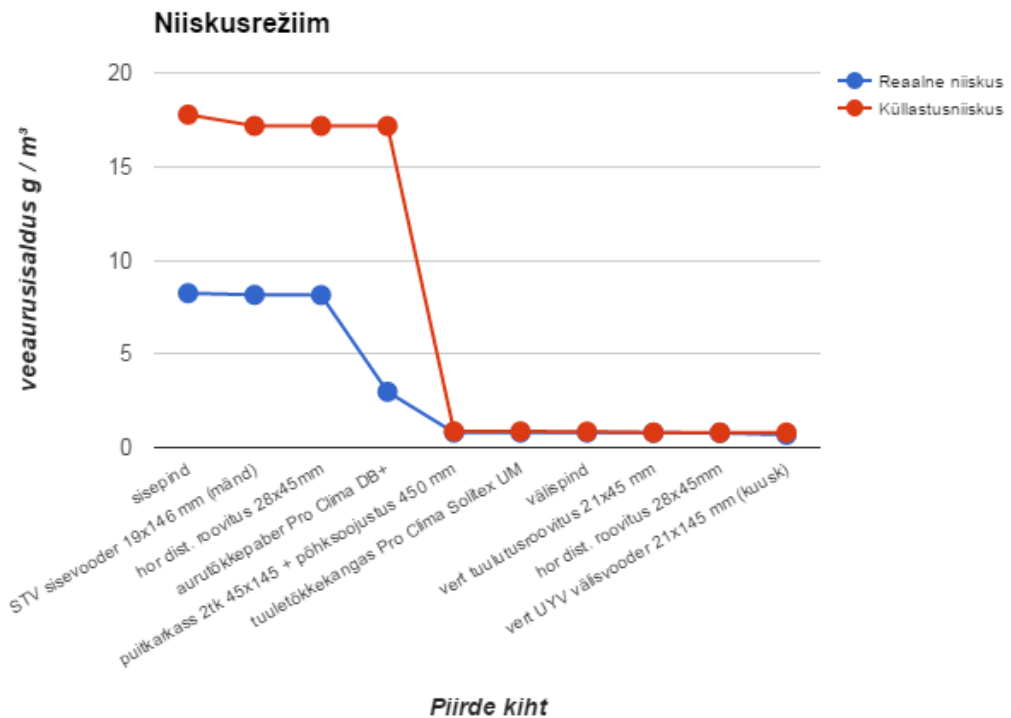
Standardiseeritud (välis- ja sisevoodritega) põhkkonstruksiooniga välisseina tehnilised andmed

Nimetus	Kihi paksus	Materjali laius	Karkassi samm	Kaalutud soojuserijuhtivus λ (W / mK)	Soojustakistus R (m ² K / W)	Auruerijuhtivus (kg / m s Pa)	Aurutakistus (m ² s Pa / kg)	Tihedus (kg / m ³)	Kaal piirdetarindi (kg)	Soojaerimahtuvus cp (kJ / m ² K)	Materjali kulu € / m ²	Ajanorm in.h / m ²	Tööjõu kulu € / m ²	Kulu kokku:	Emissioonitegur: kg CO ₂ / kg	CO ₂ jalajalg: kg CO ₂ / m ²
Sisepind					0,130		5,40E+06									
STV sisevooder 19x146 mm (mänd)	19 mm	146 mm		0,130	0,146	2,00E-12	9,50E+09	550	10,5	16,7	9,15 €	0,60 in.h / m ²	7,20 €	16,35 € / m ²	0,04 [17]	0,46
Hor dist. roovitus 28x45mm	28 mm	45 mm	cc 600 mm			2,67E-11	1,05E+09	550,00	1,2	1,8	0,60 €	0,20 in.h / m ²	2,40 €	3,00 € / m ²	0,04 [17]	0,05
Aurutõkkepaber Pro Clima DB+	0,2 mm			0,130	0,002	3,75E-16 [10]	5,33E+11	962	0,2		2,30 €	0,15 in.h / m ²	1,80 €	4,10 € / m ²	0,10 [17]	0,02
Puitkarkass 2tk 45x145 + põhksoojustus 450 mm	450 mm		cc 900 mm	0,046	9,868	2,00E-12	2,25E+11	110,00	49,5	99,0	9,76 €	2,15 in.h / m ²	25,80 €	35,56 € / m ²	0,005 [17]	0,25
Tuuletõkkekangas Pro Clima Solitex UM	0,2 mm				0,040		2,70E+06	500	0,1		2,00 €	0,20 in.h / m ²	2,40 €	4,40 € / m ²	0,10 [17]	0,01
Välispind					0,040		2,70E+06									
Vert tuulutusroovitus 21x45 mm	21 mm	45 mm	cc 600 mm		0,180	2,67E-11	7,88E+08	550	0,9	1,4	0,55 €	0,20 in.h / m ²	2,40 €	2,95 € / m ²	0,04 [17]	0,04
Hor dist. roovitus 28x45mm	28 mm	45 mm	cc 600 mm			2,67E-11	1,05E+09	550	1,2	1,8	0,60 €	0,20 in.h / m ²	2,40 €	3,00 € / m ²	0,04 [17]	0,05
Vert UYV välisvooder 21x145 mm (kuusk)	21 mm	145 mm		0,130		2,00E-12	1,05E+10	550	11,6	18,5	11,00 €	0,60 in.h / m ²	7,20 €	18,20 € / m ²	0,04 [17]	0,51
Kokku:	567 mm				10,406 m ² K / W		7,81E+11 m ² s Pa / kg		74,97 kg	139,28 kJ / m ² K	35,96 €	4,30 in.h / m ²	51,60 €	87,6 € / m ²		1,38 kg CO ₂ / m ²

Tabel 4

Piirdetarindi kokkuvõte ja võrdlus standardkonstruktsioon seinaga

Piirdetarindi kokkuvõte 1m ² kohta:		Erinevus standardkonstruktsiooniga
Soojaläbivus U =	0,096 W / m ² K	-2%
Aurutakistus Ra =	7,81E+11 m ² s Pa / kg	+83%
Soojusmahtuvus Cp =	139,28 kJ / m ² K	+46%
Piirdetarindi kaal g =	74,97 kg	+25%
Piirdetarindi ehituse aeg:	4,30 inim h	+21%
Piirdetarindi maksumus:	87,60 €	+2%
Piirdetarindi CO ₂ jalajälg:	1,38 kg CO ₂	-97%



Joonis 13. Niiskusrežiimi graafik põhkonstruktsioonil

4.3.3. Põhkkonstruktsiooniga (savikrohviga) välisseina tehnilised andmed (ver 2)

Savikrohviga viimistletud põhkkonstruktsiooni niiskusrežiim (Joonis 14) näitab, et on kondensaadi tekke oht põhksoojustuse väliskülge ja savikrohvi sisekülge, mis tähendab, et talvisel ajal on võimalik kondensaadi külmumisohu ning see võib lõhkuda krohvikihiti. Savikrohv toimib väliskihis niiskuse balanseerijana, mis laseb suvisel perioodil niiskuse välja kuivada. Savikrohvi eeliseks puitvoodri ees on hea sisekliima tagamine ning suur soojusmahtuvus, mis on puitsõrestik hoonetel raskesti saavutatav. Erinevalt aurutõkkepaberi või –kile kasutamisest on savikrohviga põhksein „hingav”, ehk niiskus saab vabalt liikuda läbi piirdekihtide. Savikrohvi puudusteks on piirdetarindi kaal ning töömahukuse ja mehhaniseerimatuse tõttu ajaliselt ja rahaliselt kulukam. Krohvikihite raskuse tõttu vajavad põhupakid konstruktsioonis täiendavat toetust, ehk puitkarkassi vahepõõnasid, mis toetavad täiendavalt igat põhupaki kihti. Savikrohvitud põhkkonstruktsiooni tehnilised andmed on esitatud alljärgnevalt (Tabel 5 ja Tabel 6).

Tabel 5

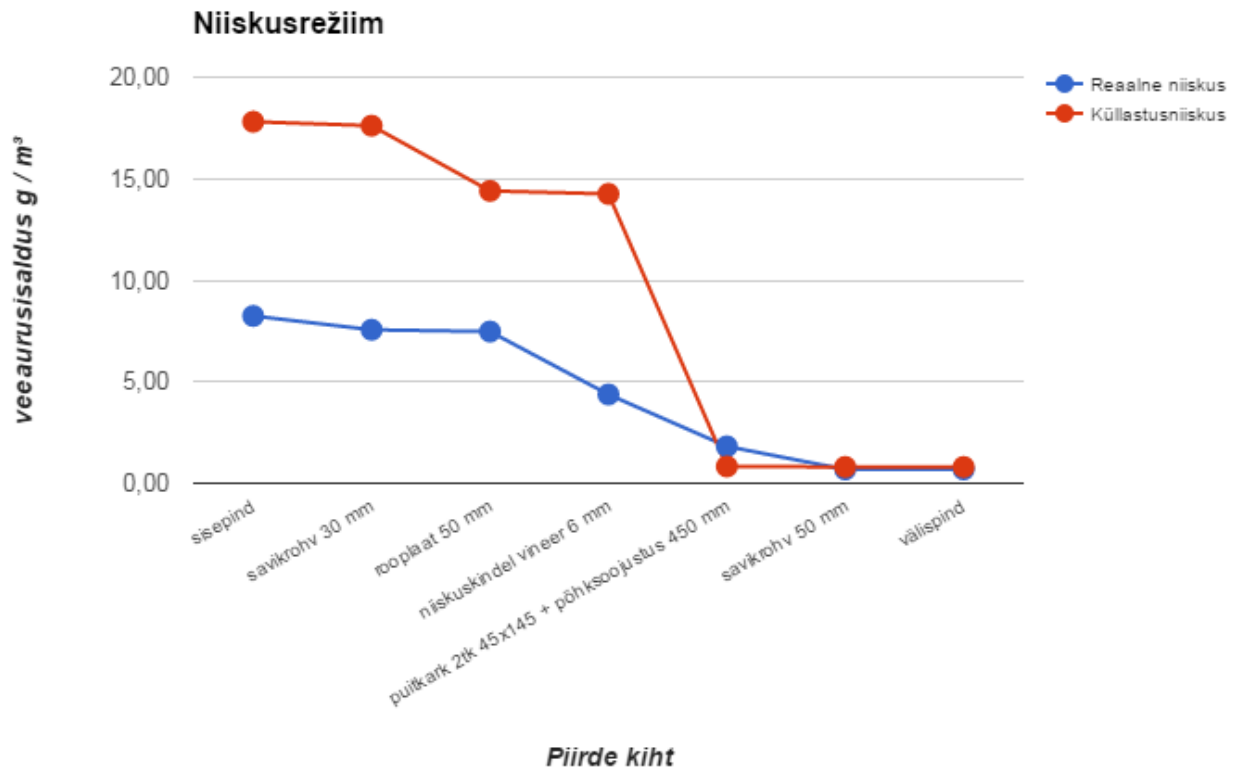
Standardiseeritud (savikrohvidega) põhkkonstruktsiooniga välisseina tehnilised andmed

Nimetus	Kihi paksus	Karkassi samm	Kaalutud soojuserijuhtivus λ (W / mK)	Soojustakistus R (m ² K / W)	Auruerijuhtivus (kg / m s Pa)	Aurutakistus (m ² s Pa / kg)	Tihedus (kg / m ³)	Kaal piirdetarindi (kg)	Sooja-erimahtuvus cp (kJ / m ² K)	Materjali kulu € / m ²	Ajanorm in.h / m ²	Tööjõu kulu € / m ²	Kulu kokku:	Emissioonitegur: kg CO ₂ / kg	CO ₂ jalajalg: kg CO ₂ / m ²
Sisepind				0,130		5,40E+06									
Savikrohv 30 mm	30 mm		0,600 [11]	0,050	5,00E-13	6,00E+10	1800,0	54,0	118,8 [9]	6,48	1,50	18,00 €	24,48 € / m ²	0,005 [15]	0,26
Rooplaad 50 mm	50 mm		0,055 [12]	0,909	6,50E-12	7,69E+09	150,0	7,5	9,0	7,50	0,20	2,40 €	9,90 € / m ²	0,01 [16]	0,04
Niiskuskindel vineer 6 mm	6 mm		0,130	0,046	2,20E-14	2,73E+11	1000,0	6,0	9,6 [9]	3,50	0,20	2,40 €	5,90 € / m ²	0,72	4,31
Puitkark 2tk 45x145 + põhksoojustus 450 mm	450 mm	cc 900 mm	0,046[13]	9,868	2,00E-12	2,25E+11	120,0	54,0	108,0 [14]	9,76	2,15	25,80 €	35,56 € / m ²	0,005 [17]	0,27
Savikrohv 50 mm	50 mm		0,600 [11]	0,083	5,00E-13	1,00E+11	1800,0	90,0	198,0	10,80	2,00	24,00 €	34,80 € / m ²	0,005	0,43
Välispind				0,040		2,70E+06									
Kokku:	586 mm			11,127 m ² K / W		6,65E+11 m ² s Pa / kg		211,50 kg	443,40 kJ / m ² K	38,04 €	6,05 in.h / m ²	72,60 €	110,7 € / m ²		5,30 kg CO ₂ / m ²

Tabel 6

Piirdetarindi kokkuvõte ja võrdlus standardkonstruktsioon seinaga

Piirdetarindi kokkuvõte 1m ² kohta:	Erinevus standardkonstruktsiooniga
Soojusjuhtivus U = 0,090 W / m ² K	-8%
Aurutakistus Ra = 6,65E+11 m ² s Pa / kg	+56%
Soojusmahtuvus Cp = 443,40 kJ / m ² K	+365%
Piirdetarindi kaal g = 211,50 kg	+254%
Piirdetarindi ehituse aeg: 6,05 inim h	+70%
Piirdetarindi maksumus: 110,70 €	+29%
Piirdetarindi CO ₂ jalajalg: 5,30 kg CO ₂	-88%



Joonis 14. Niiskusrežiim pöõhkstruktsioonil (ver 2, saviga)

4.4. Katusekonstruktsioonide võrdlus

4.4.1. Standardmaterjalidega mätaskatuse tehnilised andmed

Standardse mätaskatuse konstruktsiooni on arvutuskäiguks täiendatud lisasoojustusega saavutamaks võrreldavat soojusjuhtivuse tulemust võrreldes põhkonstruktsiooniga. Mätaskatusele on omane teistest katusetüüpidest suurem kaal ning suurem soojusmahtuvus. Katusetüüp on massiivne kihtide arvukuse ja konstruktsiooni eripära tõttu. Vaatamata piirdetarindi kõrgele hinnale võrreldes teiste katusetüüpidega, pole ehitusaeg palju pikem. Niiskusrežiim (Joonis 15) näitab, et kondensaadi ohtu pole, kuid oluline on mätaskatuste puhul tagada suur tuulutusvahe, et mätkihi alt saaks piisavalt tuulduda, kuna erinevalt teistest katusetüüpidest pole võimalik luua katuse harja tuulutuspiilu, mis tähendab, et õhk saab liikuda vaid üle harja. Lisaks tuleb tagada risti sarikaid õhu liikumine. Alljärgnevates tabelites (Tabel 7 ja Tabel 8) on esitatud piirdekihi tehnilised andmed.

Tabel 7

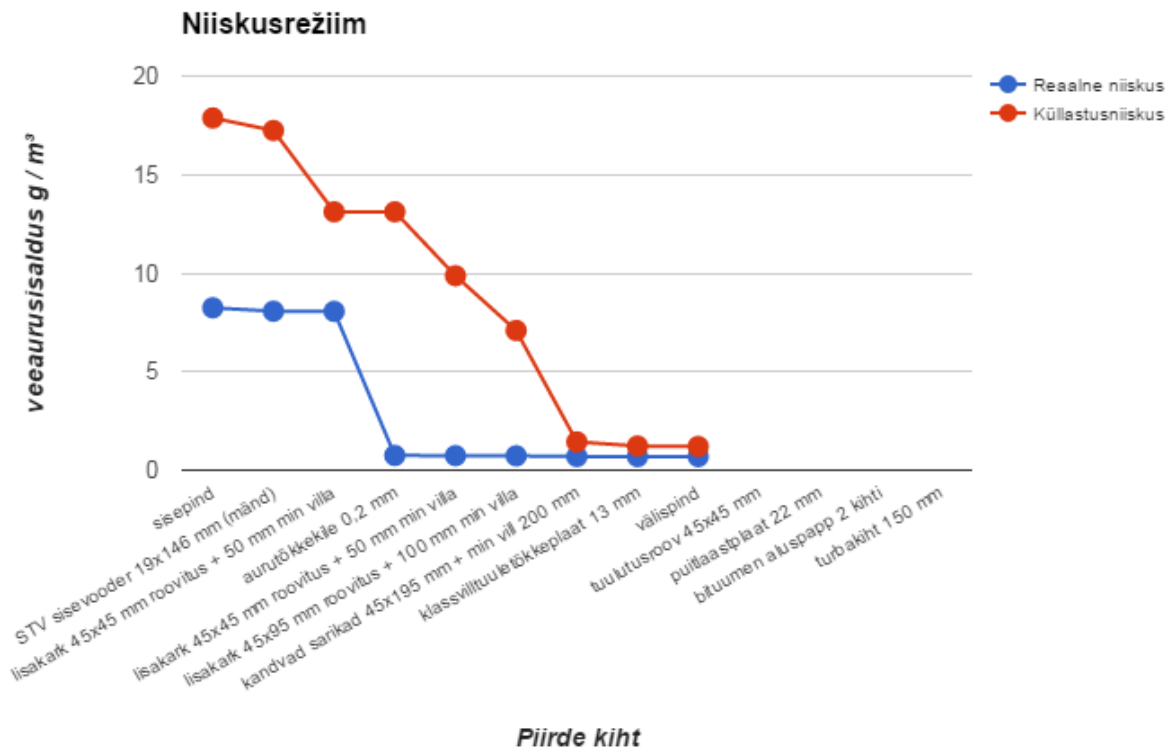
Standardmaterjalidega mätaskatuse tehnilised andmed

Nimetus	Kihi paksus	Materjali laius	Karkassi samm	Kaalitud soojuserijuhtivus λ (W / mK)	Soojustakistus R (m ² K / W)	Auruerijuhtivus (kg / m s Pa)	Aurutakistus (m ² s Pa / kg)	Tihedus (kg / m ³)	Kaal piirdetarindi (kg)	Sooja-erimahtuvus cp (kJ / m ² K)	Materjali kulu € / m ²	Ajanorm in.h / m ²	Tööjõu kulu € / m ²	Kulu kokku: € / m ²	Emissioonitegur: kg CO ₂ / kg	CO ₂ jalajalg: kg CO ₂ / m ²
Sisepind					0,100		5,40E+06									
STV sisevooder 19x146 mm (mänd)	19 mm	146 mm		0,130	0,146	2,00E-12	9,50E+09	550,0	10,5	16,7	9,15	0,60	7,20 €	16,35 € / m ²	0,04	0,46
Lisakark 45x45 mm roovitus + 50 mm min villa	45 mm	45 mm	cc 600 mm	0,041	1,093	9,73E-11	4,63E+08	91,3	4,1	6,6	2,87	0,35	4,20 €	7,07 € / m ²	1,05	4,31
Aurutökketile 0,2 mm	0,2 mm					5,00E-16	4,00E+11	1000,0	0,2	0,2	0,60	0,04	0,48 €	1,08 € / m ²	28,10	5,62
Lisakark 45x45 mm roovitus + 50 mm min villa	45 mm	45 mm	cc 600 mm	0,041	1,093	9,73E-11	4,63E+08	91,3	4,1	6,6	2,87 €	0,35	4,20 €	7,07 € / m ²	1,05	4,31
Lisakark 45x95 mm roovitus + 100 mm min villa	95 mm	45 mm	cc 600 mm	0,041	2,308	9,73E-11	9,77E+08	91,3	8,7	13,9	5,13 €	0,50	6,00 €	11,13 € / m ²	1,05	9,10
Kandvad sarikad 45x195 mm + min vill 200 mm	195 mm	45 mm	cc 600 mm	0,041	4,738	9,73E-11	2,00E+09	91,3	17,8	28,5	9,67	0,86	10,32 €	19,99 € / m ²	1,05	18,68
Klaasvilltuuletökkeplaat 13 mm	13 mm	1200 mm		0,034	0,382	1,05E-10	1,24E+08	30,0	0,4	0,6	0,90	0,20	2,40 €	3,30 € / m ²	3,20	1,25
Välispind					0,040		2,70E+06									
Tuulutusroov 45x45 mm	45 mm	45 mm	cc 600 mm					550,0	1,9	3,0	1,40	0,20	2,40 €	3,80 € / m ²	0,04	0,08
Puitlaastplaat 22 mm	22 mm							800,0	17,6	28,2	6,00	0,20	2,40 €	8,40 € / m ²	0,40	7,04
Bituumen aluspapp 2 kihti	4 mm							1250,0	5,0		5,00	0,10	1,20 €	6,20 € / m ²	0,50	2,50
Turbakiht 150 mm	150 mm							1500,0	225,0	423,0	12,06	0,70	8,40 €	20,46 € / m ²	0,01	1,58
Kokku:	633 mm				9,901 m ² K / W		4,14E+11 m ² s Pa / kg		295,17 kg	527,13 kJ / m ² K	55,64 €	4,10 in.h / m ²	49,20 €	104,9 € / m ²		54,93 kg CO ₂ / m ²

Tabel 8

Piirdetarindi kokkuvõte

Piirdetarindi kokkuvõte 1m ² kohta:	
Soojaläbivus U =	0,101 W / m ² K
Aurutakistus Ra =	4,14E+11 m ² s Pa / kg
Soojaerimahtuvus Cp =	527,13 kJ / m ² K
Piirdetarindi kaal g =	295,17 kg
Piirdetarindi ehituse aeg:	4,10 inim h
Piirdetarindi maksumus:	104,90 €
Piirdetarindi CO ₂ jalajälg:	54,93 kg CO ₂



Joonis 15. Niiskusrežiim standardsel mätaskatusel

4.4.2. Põhkkonstruksiooniga mätaskatuse tehnilised andmed

Võrreldes standardkonstruktsiooniga on põhksoojustusega katuse kaal suurem, mis lisaks mätaskatuse raskusele võib vajada suuremate ristlõigetega sarikaid. Põhkkonstruksiooni puhul on arvestatud täiendava kergema lisasoojustusega sisse, mis on lambavilla näol tõstnud märkimisväärselt hinda. Piirdetarindi CO₂ jalajälg on tänu ökoloogilistele soojustustele vähenenud, kuid väikse CO₂ jalajäljega hüdroisolatsiooni matejale on keeruline leida. Alljärgnevalt on esitatud tehnilised andmed ja kokkuvõte põhkkonstruksiooniga mätaskatusest (Tabel 9 ja Tabel 10) ning niiskusrežiim (Joonis 16).

Tabel 9

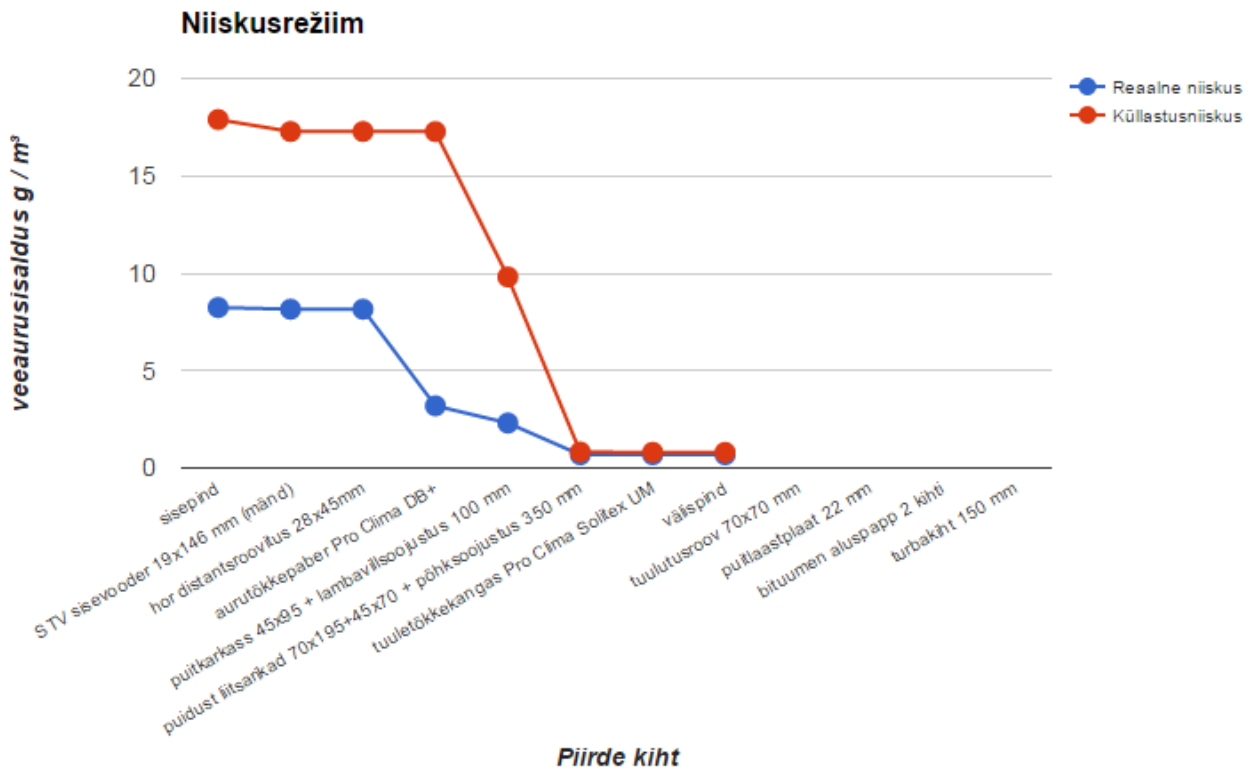
Põhkkonstruksiooniga mätaskatuse tehnilised andmed

Nimetus	Kihi paksus	Materjali laius	Karkassi samm	Kaalutud soojuseri juhtivus λ (W / mK)	Soojustakistus R (m ² K / W)	Aurueri juhtivus (kg / m s Pa)	Aurutakistus (m ² s Pa / kg)	Tihedus (kg / m ³)	Kaal piirdetarindi (kg)	Sooja-erimahtuvus cp (kJ / m ² K)	Materjali kulu € / m ²	Ajanorm in.h / m ²	Tööjõu kulu € / m ²	Kulu kokku: € / m ²	Emissioonitegur: kg CO ₂ / kg	CO ₂ jalajälg: kg CO ₂ / m ²
Sisepind					0,100		5,40E+06									
STV sisevooder 19x146 mm (määnd)	19 mm	146 mm		0,130	0,146	2,00E-12	9,50E+09	550,0	10,5	16,7	9,15	0,60	7,20 €	16,35 € / m ²	0,04	0,46
Hor distantsroovitus 28x45mm	28 mm	45 mm	cc 600 mm					550,0	1,2	1,8	0,40	0,10	1,20 €	1,60 € / m ²	0,04	0,05
Aurutökkepaber Pro Clima DB+	0,2 mm			0,130	0,002	3,75E-16	5,33E+11	962,0	0,2		2,30	0,15	1,80 €	4,10 € / m ²	0,10	0,02
Puitkarkass 45x95 + lambavillsoojustus 100 mm	95 mm		cc 600 mm	0,041 [18]	2,308	1,00E-12 [19]	9,50E+10	23,7	2,3	3,9	18,50	0,50	6,00 €	24,50 € / m ²	0,01	0,02
Puidust liitsarikad 70x195+45x70 + põhksoojustus 350 mm	350 mm		cc 450 mm	0,046	7,675	2,00E-12	1,75E+11	133,9	46,9	93,7	18,56	2,25	27,00 €	45,56 € / m ²	0,005	0,23
Tuuletökkekangas Pro Clima Solitex UM	0,2 mm				0,040		2,70E+06	500,0	0,1		2,00	0,15	1,80 €	3,80 € / m ²	0,10	0,01
Välispind					0,040		2,70E+06									
Tuulutusroov 70x70 mm	45 mm	70 mm	cc 450 mm					550,0	3,9	6,2	1,40	0,20	2,40 €	3,80 € / m ²	0,04	0,17
Puitlaastplaat 22 mm	22 mm							800,0	17,6	28,2	6,00	0,20	2,40 €	8,40 € / m ²	0,40	7,04
Bituumen aluspapp 2 kihti	4 mm							1250,0	5,0		5,00	0,10	1,20 €	6,20 € / m ²	0,50	2,50
Turbakiht 150 mm	150 mm							1500,0	225,0	423,0 [20]	12,06	0,50	6,00 €	18,06 € / m ²	0,01	1,58
Kokku:	713 mm				10,311 m ² K / W		8,13E+11 m ² s Pa / kg		312,46 kg	573,48 kJ / m ² K	75,37 €	4,75 in.h / m ²	57,00 €	132,4 € / m ²		12,07 kg CO ₂ / m ²

Tabel 10

Piirdetarindi kokkuvõte ja võrdlus standard materjalidega katusega

Piirdetarindi kokkuvõte 1m ² kohta:	Erinevus standardkonstruktsiooniga
Soojaläbivus U = 0,097 W / m ² K	-4%
Aurutakistus Ra = 8,13E+11 m ² s Pa / kg	+97%
Soojaerimahtuvus Cp = 573,48 kJ / m ² K	+9%
Piirdetarindi kaal g = 312,46 kg	+6%
Piirdetarindi ehituse aeg: 4,75 inim h	+16%
Piirdetarindi maksumus: 132,40 €	+26%
Piirdetarindi CO ₂ jalajälg: 12,07 kg CO ₂	-78%



Joonis 16. Niiskusrežiim põhkkonstruktsiooniga mätaskatusel

4.5. Põrandakonstruktsioonide võrdlus

4.5.1. Standardkonstruktsiooniga põranda tehnilised andmed

Standardkonstruktsiooniga põranda puhul on kasutatud kandva puitkarkassina 45x195 puitmaterjali 600 mm sammuga, mis täidetud mineraalvillaga. Et saavutada ligilähedast soojusjuhtivuse väärtust võrreldes põhkkonstruktsiooniga, on täiendavalt soojustatud lisakarkassi ja mineraalvillaga seestpoolt 45 + 95 mm. Aurutõkkele ja põrandakatte alusmaterjali, puitlaastplaadi, vahele on paigaldatud täiendav 45 mm lisaroovitus koos soojustusega. Standardse põrandakonstruktsiooni ehitusmaksumuseks on 60,7 € / m², kuid peamiselt mineraalvillsoojustuse tõttu on CO₂ emissioon 53,95 kg CO₂ / m². Alljärgnevalt on toodud detailsed tehnilised andmed (Tabel 11 ja Tabel 12) ning niiskusrežiim (Joonis 17).

Tabel 11

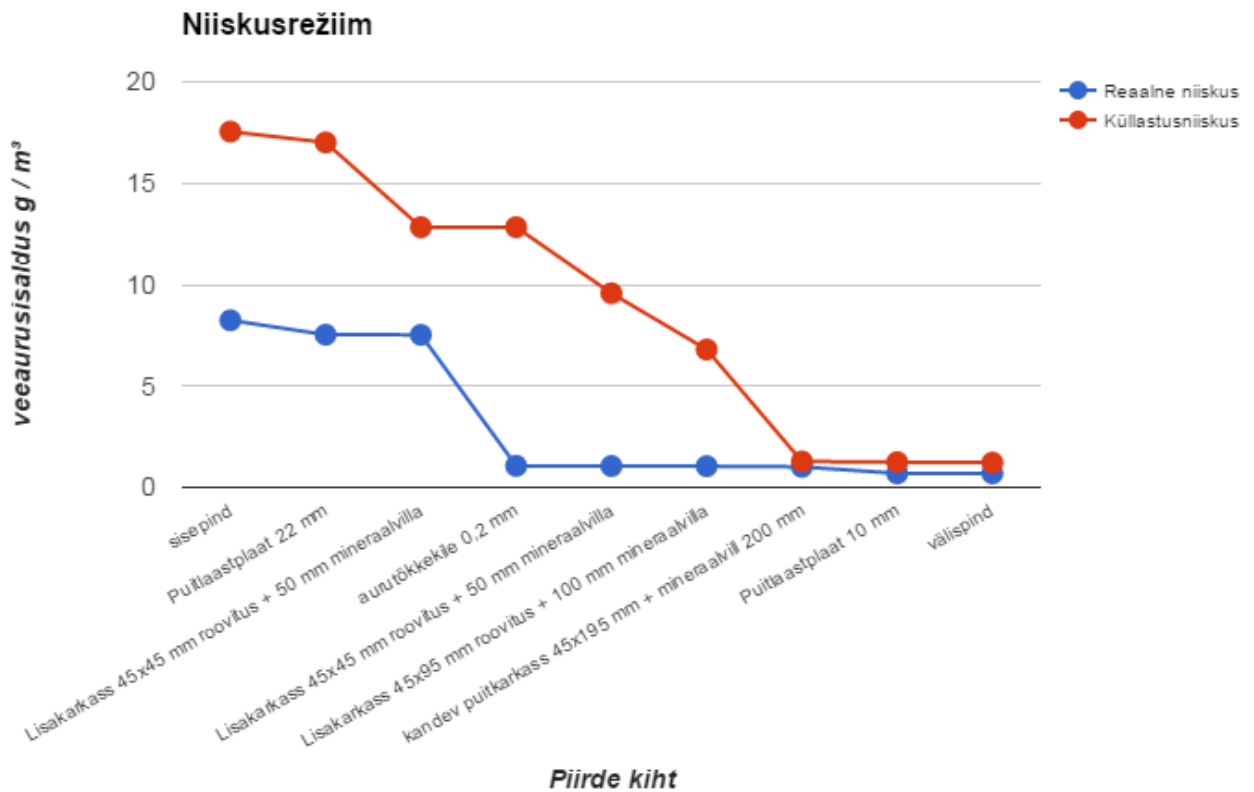
Standardse põrandakonstruktsiooni tehnilised andmed

Nimetus	Kihi paksus	Materjali laius	Karkassi samm	Kaalutud soojuseri juhtivus λ (W / mK)	Soojustakistus R (m ² K / W)	Aurueri juhtivus (kg / m s Pa)	Aurutakistus (m ² s Pa / kg)	Tihedus (kg / m ³)	Kaal piirdetarindi (kg)	Sooja-erimahtuvus cp (kJ / m ² K)	Materjali kulu € / m ²	Ajanorm in.h / m ²	Tööjõu kulu € / m ²	Kulu kokku:	Emissioonitegur: kg CO ₂ / kg	CO ₂ jalajalg: kg CO ₂ / m ²
Sisepind					0,170		5,40E+06									
Puitlaastplaat 22 mm	22 mm			0,180	0,122	5,00E-13	4,40E+10	900,0	19,8	33,7	6,00	0,20	2,40 €	8,40 € / m ²	0,40	7,92
Lisakarkass 45x45 mm roovitus + 50 mm mineraalvilla	45 mm	45 mm	cc 600 mm	0,041	1,093	9,73E-11	4,63E+08	91,3	4,1	6,6	2,87	0,35	4,20 €	7,07 € / m ²	1,05	4,31
Aurutõkkele 0,2 mm	0,2 mm					5,00E-16	4,00E+11	1000,0	0,2	0,2	0,60	0,04	0,48 €	1,08 € / m ²	28,10	5,62
Lisakarkass 45x45 mm roovitus + 50 mm mineraalvilla	45 mm	45 mm	cc 600 mm	0,041	1,093	9,73E-11	4,63E+08	91,3	4,1	6,6	2,87	0,35	4,20 €	7,07 € / m ²	1,05	4,31
Lisakarkass 45x95 mm roovitus + 100 mm mineraalvilla	95 mm	45 mm	cc 600 mm	0,041	2,308	9,73E-11	9,77E+08	91,3	8,7	13,9	5,13 €	0,50	6,00 €	11,13 € / m ²	1,05	9,10
Kandev puitkarkass 45x195 mm + mineraalvill 200 mm	195 mm	45 mm	cc 600 mm	0,041	4,738	9,73E-11	2,00E+09	91,3	17,8	28,5	9,67	0,86	10,32 €	19,99 € / m ²	1,05	18,68
Puitlaastplaat 10 mm	10 mm			0,130	0,077	5,00E-13	2,00E+10	1000,0	10,0	16,0	3,50	0,20	2,40 €	5,90 € / m ²	0,40	4,00
Välispind					0,040		2,70E+06									
Kokku:	412 mm				9,641 m ² K / W		4,68E+11 m ² s Pa / kg		64,68 kg	105,32 kJ / m ² K	30,63 €	2,50 in.h / m ²	30,00 €	60,7 € / m ²		53,95 kg CO ₂ / m ²

Tabel 12

Piirdetarindi kokkuvõte

Piirdetarindi kokkuvõte 1m ² kohta:	
Soojaläbivus U =	0,104 W / m ² K
Aurutakistus Ra =	4,68E+11 m ² s Pa / kg
Soojaerimahtuvus Cp =	105,32 kJ / m ² K
Piirdetarindi kaal g =	64,68 kg
Piirdetarindi ehituse aeg:	2,50 inim h
Piirdetarindi maksumus:	60,70 €
Piirdetarindi CO ₂ jalajälg:	53,95 kg CO ₂



Joonis 17. Niiskusrežiim standardkonstruktsiooniga põrandal

4.5.2. Põhkonstruktsiooniga põranda tehnilised andmed

Võrreldes standardkonstruktsiooniga on põhu soojustusena kasutamisel langenud süsinikdioksiidi emissioon 53,95 kg CO₂ / m²-lt 12,18 kg CO₂ / m²-ni, mis on saavutatud peamiselt lambavill- ja põhksoojustusega. Piirdekonstruktsiooni kaal on põhku kasutades tõusnud 20% võrra, mis arvestades põrandale mõjuvaid väliseid koormusi, pole suur kasv. Tarindi maksumus vaatamata ökoloogilistele soojustusmaterjalidele ja tihedamale talastiku sammule põhkonstruktsiooni tõttu on kasvanud 23%. Põhu suur soojaerimahtuvus (2 kJ / m²K) [14] annab piirdekonstruktsioonidele suure soojusmahtuvuse, mis põrandal aitab salvestada akendest sisenevat päikeseenergiat. Põhksuojustusega põrandakonstruktsiooni tehnilised andmed on esitatud alljärgnevalt (Tabel 13 ja Tabel 14) ning niiskusrežiim (Joonis 18).

Tabel 13

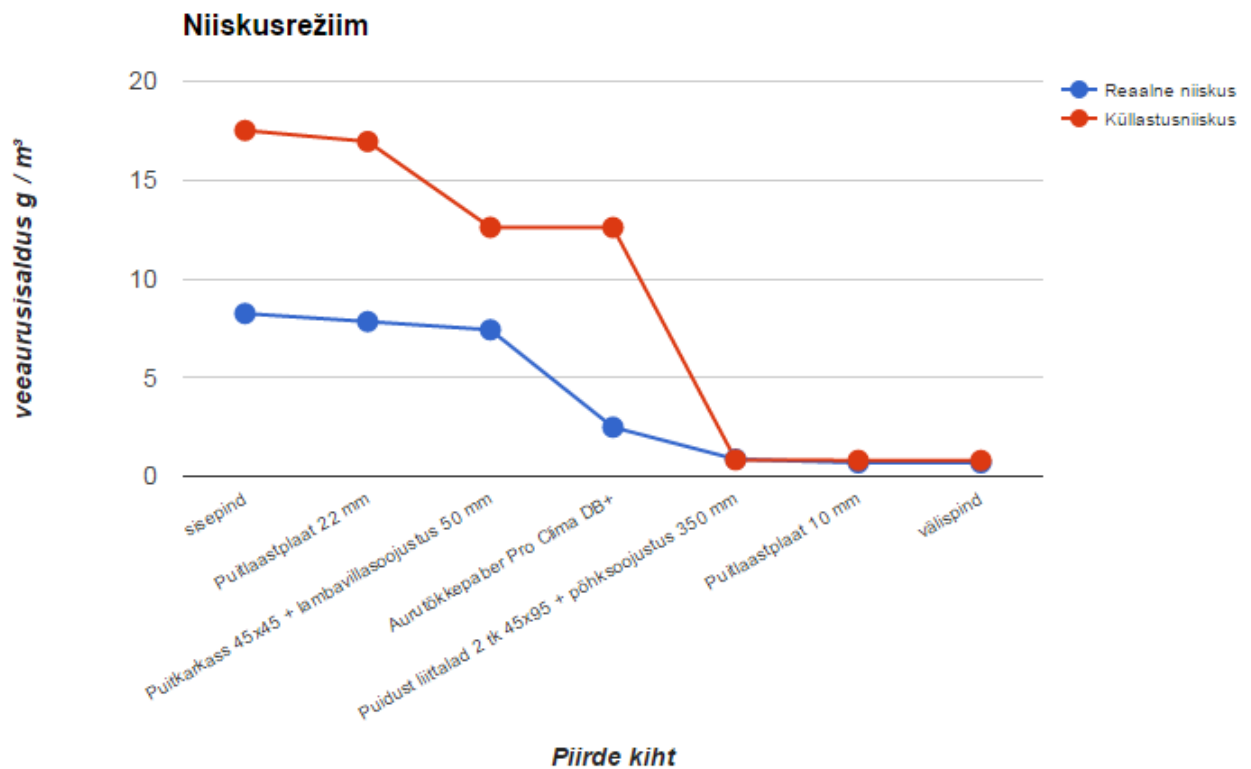
Põhkonstruktsiooniga põranda tehnilised andmed

Nimetus	Kihi paksus	Materjali laius	Karkassi samm	Kaalutud soojuserijuhtivus λ (W / mK)	Soojustakistus R (m ² K / W)	Auruerijuhtivus (kg / m s Pa)	Aurutakistus (m ² s Pa / kg)	Tihedus (kg / m ³)	Kaal piirdetarindi (kg)	Soojaerimahtuvus cp (kJ / m ² K)	Materjali kulu € / m ²	Ajanorm in.h / m ²	Tööjõu kulu € / m ²	Kulu kokku:	Emissioonitegur: kg CO ₂ / kg	CO ₂ jalajalg: kg CO ₂ / m ²
Sisepind					0,170		5,40E+06									
Puitlaastplaat 22 mm	22 mm			0,180	0,122	5,00E-13	4,40E+10	900,0	19,8	33,7	6,00	0,20	2,40 €	8,40 € / m ²	0,40	7,92
Puitkarkass 45x45 + lambavillsoojustus 50 mm	45 mm		cc 600 mm	0,041	1,093	1,00E-12	4,50E+10	23,7	1,1	1,8	10,83	0,50	6,00 €	16,83 € / m ²	0,01	0,01
Aurutõkkepaber Pro Clima DB+	0,2 mm			0,130	0,002	3,75E-16	5,33E+11	962,0	0,2		2,30	0,15	1,80 €	4,10 € / m ²	0,10	0,02
Puidust liittalad 2 tk 45x95 + põhksoojustus 350 mm	350 mm		cc 450 mm	0,046	7,675	2,00E-12	1,75E+11	133,9	46,9	93,7	12,12	2,25	27,00 €	39,12 € / m ²	0,005	0,23
Puitlaastplaat 10 mm	10 mm			0,130	0,077	5,00E-13	2,00E+10	1000,0	10,0	16,0	3,50	0,20	2,40 €	5,90 € / m ²	0,40	4,00
Välispind					0,040		2,70E+06									
Kokku:	427 mm				9,179 m ² K / W		8,17E+11 m ² s Pa / kg		77,92 kg	145,22 kJ / m ² K	34,75 €	3,30 in.h / m ²	39,60 €	74,4 € / m ²		12,18 kg CO ₂ / m ²

Tabel 14

Piirdetarindi kokkuvõte ja võrdlus standard põrandaga

Piirdetarindi kokkuvõte 1m ² kohta:	Erinevus standardkonstruktsiooniga
Soojaläbivus U = 0,109 W / m ² K	+5%
Aurutakistus Ra = 8,17E+11 m ² s Pa / kg	+75%
Soojaerimahtuvus Cp = 145,22 kJ / m ² K	+38%
Piirdetarindi kaal g = 77,92 kg	+20%
Piirdetarindi ehituse aeg: 3,30 inim h	+32%
Piirdetarindi maksumus: 74,40 €	+23%
Piirdetarindi CO ₂ jalajälg: 12,18 kg CO ₂	-77%



Joonis 18. Niiskusrežiim põhkonstruktsiooniga põrandal

5. ENERGIATÕHUSUSE TULEMUSTE VÕRDLUS

5.1. Üldised põhimõtted

Järjest karminevad energiatõhususe normid seavad sihiks jõuda 2021. aastaks liginullenergia hooneteni (väikeelamute puhul energiatõhususarv max 50 kWh/m²a). Määrus on sätestanud tänaseks normpiirid soojuslähivusele piiretel: seintel 0,12–0,22 W/(m²·K), katusel ja põrandal 0,1–0,15 W/(m²·K) ning avatäidetel 0,6–1,1 W/(m²·K). [26].

Järgnevalt on võrreldud käsitletud konstruktsioone energiatõhususearvu osas, mille baasiks on puitkarkass standardkonstruktsioonid. Energiatõhusest ja põhkkonstruktsioonide suuremast alginvesteeringust lähtuvalt teostatakse tasuvusarvutused.

Energiatõhususe leidmiseks lihtustatud meetodiga on esiteks määratletud piirete soojustehnilised omadused: soojusjuhtivuse väärtus vastavalt hoone piirdekihtide mahtudele, külmasildade väärtused, mis korrutatud külmasildade pikkustega ning õhulekkearv (Joonis 19). Leitud väärtustest leidub uuritava hoone soojuskadude summa, mis kompenseeritakse vabasoojuse tasaarvestusega ning puuduolev kütteenergia vajadus on leitud kraadpäevade meetodil.

Soojuskaod läbi piirdetarindite				Soojuskaod läbi külmasildade				Soojuskaod läbi õhulekkekohtade		
Piirdetarind	g	U_i W/(m ² ·K)	A_i m ²	$H_{juhtivus}$ W/K	Külmasild	Y_j W/(m·K)	l_j m	$H_{kylmasild}$ W/K	Õhulekke-omadus	Suurus
Välissein 1. korrus	-	0,098	93,69	9,2	Välissein-välissein 1	0,10	23,8	2,378	Õhulekke-arv q50,	1,0
Välissein 2. korrus		0,098	49,64	4,9	Välissein-välissein 2	-0,10	2,5	-0,254	m ³ /(h·m ²)	
Katuslagi		0,101	128,67	13,0	Katuslagi-välissein	0,10	61,7	6,169	Avp (välispiirded), m ²	388,50
Pörand välisõhu kohal		0,104	90,71	9,4	Pööningu vahelagi-välissein	0,00	0,0	0,000	Korruste arv (täisarv)	1,0
Välisuks		0,800	1,97	1,6	Pörand pinnasel-välissein	0,00	0,0	0,000	\dot{V}_{inf} , m ³ /s	0,0031
BOD uks		0,800	1,57	1,3	Pörand välisõhu kohal-välissein	0,10	33,2	3,318		
Aken (NE)	0,50	0,680	1,83	1,2	Akna seinakinnitus	0,06	57,8	3,469		
Aken (SE)	0,50	0,680	11,71	8,0	Ukse seinakinnitus	0,06	11,5	0,691		
Aken (SW)	0,50	0,680	5,14	3,5	Sisesein-välissein	0,00	0,0	0,000		
Aken (NW)	0,50	0,680	3,56	2,4	...	0,00	0,0	0,000		
					...	0,00	0,0	0,000		
					...	0,00	0,0	0,000		
					...	0,00	0,0	0,000		
					...	0,00	0,0	0,000		
Kokku:			$H_{juhtivus}$, W/K	54,4	$\sum H / A_{kylmasild}$		$H_{kylmasild}$, W/K	15,8	$H_{ohuleke}$, W/K	3,7
Välispiirete summaarne soojuserikadu					$\dot{a}H$, W/K			73,9		
Välispiirete keskmine soojusläbivus					$\sum H / A_{koetav}$			0,2		
Hoone koetav pind					A_{koetav} , m ²			151,8		
Välispiirete summaarne soojuserikadu koetava pinna kohta					W/(m ² ·K)			0,49		

Joonis 19. Energiatõhususe lähteandmed standardkonstruktsioonide puhul

Energiatõhususe arvutusmeetodi aluseks on eramaja arhitektuurne projekt (Lisa 1) ning arvutus baseerub järgmistel algandmetel:

- kasutatud on Vallox 90 SE soojustagastusega ventilatsiooniagregaati [21];
- pelletkatel radiaatorküttega Atmos D14P Pellet boiler [22] (30% ajast);
- maasoojuspump radiaatorküttega (mark ja mudel määramata), COP 3,5 (70% ajast);
- päikesekollektorid sooja vee soojendamiseks aktiivpindalaga 8,46 m²;
- päikesepaneelid koguvõimsusega 3,71 kW [23];
- sissetarnitava elektri hind Eesti Energia “Kindel” paketi järgi 1 kWh = 0,055 € [24];
- pelleti puhul arvestades pelletahju kasutegurit ning keskmist ostuhinda 1 kWh = 0,043 € [25].

Vastavalt energiavajadusele on alljärgneval joonisel (Joonis 20) esitatud energiakasutuse kalkulatsioon võttes arvesse vabasoojusest tekkivat energiat, saadud soojusenergiat päikesest ning arvestatud päikesest saadud elektrienergiaga. Kütteenergia vajadus on jaotatud 70% maasoojuspumbale ja 30% pelletkatlale, mis on ühendatud radiaatoritega keskkütte süsteemiga.

Maasoojuspumba ning majapidamisseadmete elektritarbe vajadust kompenseerivad elektrienergiat tootvad päikesepaneelid. Tarbevee soojendamiseks kasutatakse pelletkatelt ja sooja vee kollektoreid.

Andmed hoone kohta		
Hoone kasutusotstarve	Eluhoone	§Uusehitus Oluline rekonstrueerimine Rekonstrueerimine Olemasolev hoone
Address	Kõnnukotka talu, Väandra vald, Pärnumaa	
Ehitusaasta	2016	
Kõetav pind	151,8 m ²	
Netopind	151,8 m ²	
Energiatõhususarv	48 kWh / m²a	

Energiakasutuse kokkuvõte	Tarnitud energia		Eksporditud energia		Kaalumis- tegur	Kaalutud energiakasutus	Tarnitud elektri hind (€ / kuu)
Elekter	3718 kWh/a	24,5 kWh/a m ²			2	49,0 kWh/a m ²	17,04 €
<i>Ruumide küte pelletkatel 30% ajast</i>	2376 kWh/a	15,7 kWh/a m ²			0,75	11,7 kWh/a m ²	8,41 €
<i>Soojavee tootmine pelletkatel</i>	1955 kWh/a	12,9 kWh/a m ²			0,75	9,7 kWh/a m ²	6,92 €
<i>Maasoojuspumba elekter 70% ajast</i>	1430 kWh/a	9,4 kWh/a m ²			2	18,9 kWh/a m ²	6,56 €
<i>Toodetud elekter päikesest</i>			3205 kWh/a	21,1 kWh/a m ²	2	-42,2 kWh/a m ²	-14,69 €
Summa	9479 kWh/a	62,5 kWh/a m²	3205 kWh/a	21,1 kWh/a m²		47,0 kWh/a m²	24,24 €

Summaarne energiakasutus	Elekter		Soojus	
Küttesüsteem				
Ruumide küte			7152 kWh/a	47,1 kWh/a m ²
Ventilatsiooniõhu soojendamine				
Tarbevee soojendamine			1662 kWh/a	11,0 kWh/a m ²
Ventilatsioonisüsteem1	728 kWh/a	4,8 kWh/a m ²		
Jahutussüsteem				
Valgustus	911 kWh/a	6,0 kWh/a m ²		
Seadmed	2079 kWh/a	13,7 kWh/a m ²		
Summa (tehnosüsteemide summaarne energiakasutus)	3718 kWh/a	24,5 kWh/a m²	8814 kWh/a	58,1 kWh/a m²

1 ventilatsiooniõhu soojendamine loetakse küttesüsteemi osaks

elekter	1 kWh = 0,055 €
pellet	1 kWh = 0,043 €

Lokaalne taastuv- ja eksporditud energia	Lokaalne taastuv		Eksporditud
Soojusenergia päikesest	2132 kWh/a	14,0 kWh/a m ²	
Elekter päikesest	3205 kWh/a	21,1 kWh/a m ²	

Netoenergiavajadus	
Ruumide küte2	6937 kWh/a 45,7 kWh/a m ²
Ventilatsiooniõhu soojendamine3	
Tarbevee soojendamine	3794 kWh/a 25,0 kWh/a m ²
Jahutus	

2 sisaldab infiltratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojendamise ruumis
3 arvutatud koos soojustagastusega

Energia vabasoojustest	
Päikesekiirgus	3613 kWh/a 23,8 kWh/a m ²
Inimesed	2659 kWh/a 17,5 kWh/a m ²
Valgustus	931 kWh/a 6,1 kWh/a m ²
Seadmed	2735 kWh/a 18,0 kWh/a m ²

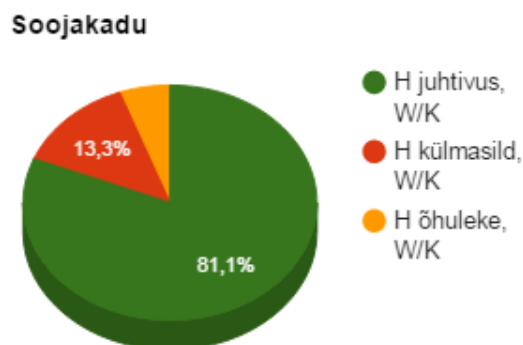
Joonis 20. Energiatõhususe arvutus standardkonstruktsiooni puhul

Nagu joonistest (Joonis 19, Joonis 20) näha, on standardkonstruktsiooniga andmete puhul energiatõhususarvuks 48 kWh/m²a. Järgnevalt on välja toodud energiatõhususarvutus põhkkonstruktsiooni kasutades (Joonis 21). Selgub, et energiatõhusus on konstruktsiooni muutusele 4 kWh/m²a võrra alanenud 44 kWh/m²ni. Mõlemal juhul on antud algandmete puhul saavutatud tänaste energiatõhususe kriteeriumite järgi energiaklass A.

Andmed hoone kohta					
Hoone kasutusotstarve	Eluhoone	§Uusehitus Oluline rekonstrueerimine Rekonstrueerimine Olemasolev hoone			
Aadress	Kõnnukotka talu, Vändra vald, Pärnumaa				
Ehitusaasta	2016				
Kõetav pind	151,8 m ²				
Netopind	151,8 m ²				
Energiatõhususarv	44 kWh / m²a				
Energiakasutuse kokkuvõte	Tarnitud energia		Eksporditud energia		Tamitud energia hind (€ / kuu)
Elekter	3718 kWh/a	24,5 kWh/a m ²			17,04 €
Ruumide küte pelletkatel 30% ajast	2111 kWh/a	13,9 kWh/a m ²			7,48 €
Soojavee tootmine pelletkatel	1955 kWh/a	12,9 kWh/a m ²			6,92 €
Maasoojuspumba elekter 70% ajast	1271 kWh/a	8,4 kWh/a m ²			5,82 €
Toodetud elekter päikesest			3205 kWh/a	21,1 kWh/a m ²	-14,69 €
Summa	9054 kWh/a	59,7 kWh/a m²	3205 kWh/a	21,1 kWh/a m²	22,57 €
Summaarne energiakasutus	Elekter		Soojus		
Küttesüsteem					elekter
Ruumide küte			6353 kWh/a	41,9 kWh/a m ²	1 kWh = 0,055 €
Ventilatsiooniõhu soojendamine					pellet
Tarbevee soojendamine			1662 kWh/a	11,0 kWh/a m ²	1 kWh = 0,043 €
Ventilatsioonisüsteem1	728 kWh/a	4,8 kWh/a m ²			
Jahutusüsteem					
Valgustus	911 kWh/a	6,0 kWh/a m ²			
Seadmed	2079 kWh/a	13,7 kWh/a m ²			
Summa (tehnosüsteemide summaarne energiakasutus)	3718 kWh/a	24,5 kWh/a m²	8015 kWh/a	52,8 kWh/a m²	
<small>1 ventilatsiooniõhu soojendamine loetakse küttesüsteemi osaks</small>					
Lokaalne taastuv- ja eksporditud energia	Lokaalne taastuv		Eksporditud		
Soojusenergia päikesest	2132 kWh/a	14,0 kWh/a m ²			
Elekter päikesest	3205 kWh/a	21,1 kWh/a m ²			
Netoenergiavajadus					
Ruumide küte2	6163 kWh/a	40,6 kWh/a m ²			
Ventilatsiooniõhu soojendamine3					
Tarbevee soojendamine	3794 kWh/a	25,0 kWh/a m ²			
Jahutus					
<small>2 sisaldab infiltratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojendamise ruumis</small>					
<small>3 arvatud koos soojustagastusega</small>					
Energia vabasoojustest					
Päikesekiirgus	3613 kWh/a	23,8 kWh/a m ²			
Inimesed	2659 kWh/a	17,5 kWh/a m ²			
Valgustus	931 kWh/a	6,1 kWh/a m ²			
Seadmed	2735 kWh/a	18,0 kWh/a m ²			

Joonis 21. Energiatõhususe arvutus põhkonstruktsiooni puhul.

Kuna üle 80% soojuskadudest on läbi piirdekihtide soojuslähivuse teel (Joonis 22), on konstruktsioonide võrdluses soojusjuhtivuse ühtlustamisel energiatõhususe arvule väike mõju.



Joonis 22. Soojakadude proportsionaalsus

6. TASUVUSE HINDAMINE

6.1. Elueakulude analüüs seinakonstruktsioonide põhjal

Konstruktsioonitüüpide tasuvuse hindamiseks tuleb lisaks ehitushinnale leida eluea kulud, mis on arvestatud 50 aasta lõikes peale konstruktsiooni ehitamist. Tööajanormid pärinevad Eke Nora andmebaasidest [28], materjali kulud vastavalt tootja andmetele.

Kõik elueakulud on leitud nüüdisväärtuse meetodil, ehk diskonteeritud. Diskonteerimine arvestab raha väärtuse muutust ajas, mille võib olla põhjustanud näiteks inflatsioon või hinnatõus. Arvutustes on kasutatud raha väärtuse ajalise muutujana intressi, milleks on valitud 1% aastas. [30]

Väärtuste diskonteerimiseks on kasutatud valemit (10):

$$D = ((1 + i)^n - 1) / (i * (1 + i)^n) \quad (10)$$

kus:

D – diskonteerimistegur

i – intressimäär

n – ajaperioodid

Ositava aasta diskonteerimisteguri leidmiseks tuleb saadud D tulemus korrutada aastate arvuga.

Standardse puitkarkass-seina elueakulud on kajastatud allolevas tabelis (Tabel 15) ja põhksoojustusega seinakonstruktsiooni elueakulud (Tabel 16).

Tabel 15

Standardse seinakonstruktsiooni elueakulud

Aasta	Tegevus	Materjali kulu € / m ²	Ajanorm in.h / m ²	Tööjõu kulu € / m ²	Kulu kokku €:	Diskont. tegur (D):	Diskontitud kulu kokku (€):
5	Fassaadilaudise täiendav immutamine (nt puiduõli)	4,00	0,40	4,80	8,80	0,951	8,37
10	Fassaadilaudise täiendav immutamine (nt puiduõli)	4,00	0,40	4,80	8,80	0,905	7,97
15	Osaline fassaadilaudise vahetus (20%)	2,20	0,70	8,40	10,60	0,861	9,13
15	Fassaadilaudise täiendav immutamine (nt puiduõli)	4,00	0,40	4,80	8,80	0,861	7,58
20	Fassaadilaudise täiendav immutamine (nt puiduõli)	4,00	0,40	4,80	8,80	0,820	7,21
25	Osaline fassaadilaudise vahetus (40%)	4,40	1,40	16,80	21,20	0,780	16,53
25	Täiendav soojustus, vajunud soojustuse asendus	2,00	2,10	25,20	27,20	0,780	21,21
30	Fassaadilaudise täiendav immutamine (nt puiduõli)	4,00	0,40	4,80	8,80	0,742	6,53
35	Fassaadilaudise täiendav immutamine (nt puiduõli)	4,00	0,40	4,80	8,80	0,706	6,21
40	Fassaadilaudise täiendav immutamine (nt puiduõli)	4,00	0,40	4,80	8,80	0,672	5,91
40	Osaline fassaadilaudise vahetus (20%)	2,20	0,90	10,80	13,00	0,672	8,73
45	Fassaadilaudise täiendav immutamine (nt puiduõli)	4,00	0,40	4,80	8,80	0,639	5,62
50	Fassaadilaudise vahetus	11,00	2,00	24,00	35,00	0,608	21,28
50	Täiendav soojustus, vajunud soojustuse asendus	2,00	2,10	25,20	27,20	0,608	16,54
Kokku:		53,80		123,60	177,40		132,29

Tabel 16

Põhkkonstruktsiooniseina elueakulud

Fassaad jaguneb standardkonstruktsiooni järgi:		Laudis	30%	Savikrohv	70%		
Aasta	Tegevus	Materjali kulu (€/m ²)	Ajanor m (in.h / m ²)	Tööjõu kulu (€/m ²)	Kulu kokku (€):	Diskont. tegur (D):	Diskontitud kulu kokku (€):
5	Fassaadilaudise täiendav immutamine (nt puiduõli)	1,20	0,40	1,44	2,64	0,951	2,51
5	Täiendav savikrohvimine	2,45	1,40	11,76	14,21	0,951	13,52
10	Fassaadilaudise täiendav immutamine (nt puiduõli)	1,20	0,40	1,44	2,64	0,905	2,39
10	Täiendav savikrohvimine	2,45	1,40	11,76	14,21	0,905	12,86
15	Osaline fassaadilaudise vahetus (20%)	0,66	0,70	2,52	3,18	0,861	2,74
15	Fassaadilaudise täiendav immutamine (nt puiduõli)	1,20	0,40	1,44	2,64	0,861	2,27
15	Täiendav savikrohvimine	2,45	1,40	11,76	14,21	0,861	12,24
20	Fassaadilaudise täiendav immutamine (nt puiduõli)	1,20	0,40	1,44	2,64	0,820	2,16
20	Täiendav savikrohvimine	2,45	1,40	11,76	14,21	0,820	11,65
25	Osaline fassaadilaudise vahetus (40%)	1,32	0,70	2,52	3,84	0,780	2,99
25	Täiendav savikrohvimine	2,45	1,40	11,76	14,21	0,780	11,08
25	Põhksoojustuse kontroll, täiendav soojustus	6,35	2,10	25,20	31,55	0,780	24,60
30	Fassaadilaudise täiendav immutamine (nt puiduõli)	1,20	0,40	1,44	2,64	0,742	1,96
30	Täiendav savikrohvimine	2,45	1,40	11,76	14,21	0,742	10,54
35	Fassaadilaudise täiendav immutamine (nt puiduõli)	1,20	0,40	1,44	2,64	0,706	1,86
35	Täiendav savikrohvimine	2,45	1,40	11,76	14,21	0,706	10,03
40	Fassaadilaudise täiendav immutamine (nt puiduõli)	1,20	0,40	1,44	2,64	0,672	1,77

40	Osaline fassaadilaudise vahetus (20%)	0,66	0,70	2,52	3,18	0,672	2,14
40	Täiendav savikrohvimine	2,45	1,40	11,76	14,21	0,672	9,54
45	Fassaadilaudise täiendav immutamine (nt puiduõli)	1,20	0,40	1,44	2,64	0,639	1,69
45	Täiendav savikrohvimine	2,45	1,40	11,76	14,21	0,639	9,08
50	Fassaadilaudise vahetus	3,30	2,00	24,00	27,30	0,608	16,60
50	Täiendav savikrohvimine	2,45	1,40	11,76	14,21	0,608	8,64
Kokku:		46,39		185,88	232,27		174,88

Elueakulude analüüs seinakonstruktsioonide vahel näitab, et savikrohvi kasutamisest tulenevad hoolduskulud on suuremad ning kahe fassaaditüübi kombinatsiooni kulud on suuremad, kui standardisel puitkarkasskonstruktsiooni kasutatavatel puitlaudistel. Ent fassaaditüüpide kombinatsiooni kasutus on vältimatu, savikrohvi niiskustundlikkuse tõttu, mispärast on keerukas kasutada savikrohvi sokli osades, kus on sademete ning maapinnalt tagasipritsmete oht suurem. Fassaadilaudise osaline vahetus on arvestatud sokliosa parandusteks ning laudise kogu elueaks arvestatud 50 aastat.

6.2. Küttekulude kokkuvõid

Tulenevalt (Joonis 20, Joonis 21) tulemustest on energiatõhususarv põhkonstruktsiooni puhul paranenud 4 kWh/m²a võrreldes standardsete puitkonstruktsioonidega ning igakuised energiatarbe kulud vähenenud 1,7 €/kuus. Küttekulude kokkuvõid pole käsitletud taastuvenergia ning küttesüsteemide soetus- ning eksploatatsioonikulud, mistõttu on võrreldud vaid konstruktsioonist tuleneva küttekulu alanemine.

6.3. Piirdetarindite mahud ning kulude kokkuvõte

Piirdekonstruktsioonide maksumuse arvutamisel on kasutatud pindalameetodit, mis tähendab tarindi mahu leidmist ruutmeetri põhjal ning mahud on korrutatud eelnevalt leitud piirdetarindite ruutmeetri põhise hinnaga. Lisaks on konstruktsioonide võrdluses võetud arvesse elueakulude (Tabel 15, Tabel 16) tulemusi.

Tabelis (Tabel 17) on esitatud arvutuste aluseks olnud arhitektuursest projektist tulenevad välispiirdekihtide pindalad ning leitud välispiirete soetusmaksumused.

Tabel 17

Standardkonstruktsiooni ja põhkkonstruktsiooni maksumuse erinevus

Standardne puitkarkass			
Kihi nimetus	Pindala (välismõõdud) (m ²)	Piirdekihi ehituskulu (€/m ²)	Maksumus kokku (€)
1. korruse välisseinad	113,50	85,60	9 715,61
2. korruse välisseinad	55,62	85,60	4 760,85
Katuslagi	128,67	104,90	13 497,06
Põrand	90,71	60,70	5 506,28
Seinakonstruktsiooni diskonteeritud elueakulud (50a)	169,12	206,92	34 993,80
Kokku:			68 473,60
Põhkkonstruktsioon			
Kihi nimetus	Pindala (välismõõdud) (m ²)	Piirdekihi ehituskulu (€/m ²)	Maksumus kokku (€)
1. korruse välisseinad	113,50	87,60	9 942,61
2. korruse välisseinad	55,62	87,60	4 872,09
Katuslagi	128,67	132,40	17 035,37
Põrand	90,71	74,40	6 749,05
Seinakonstruktsiooni diskonteeritud elueakulud (50a)	169,12	269,80	45 627,91
Kokku:			84 227,02

Tabelist (Tabel 17) on näha, et investering põhkkonstruktsioonidesse on kulukam nii elueakulude kui ehitusmaksumuse poolest. Võrreldes kulutüüpe, on jooksvad eksploatatsioonikulud mõlemate konstruktsioonitüüpide puhul üle kahe korra kulukamad, kui ehitusmaksumus. Kuna tegemist on hüpoteetiliste hoolduskuludega, siis olenevad reaalsed kulud hoone asukohast ning paiknemisest ilmakaarte suhtes, ilmastikust, hooldus-, ehitus- ja materjalikvaliteedist.

KOKKUVÕTE

Ökoloogiliste ehitusmaterjalide kasutamine on tänapäeval vähe levinud just ajakulukuse ning maksumuse tõttu. Töötades välja konstruktsioonitüübid, mida on võimalik tehases toota, on võimalik ajakulukust ning maksumust vähendada. Läbi tehasetöö on võimalik ka populariseerida ökoloogiliste ehitusmaterjalide kasutamist.

Lõputöö esimeses osas anti väljatöötatud erinevate viimistluskihtidega põhkkonstruktsioonid ning nende omavahelised sõlmlahendused. Konstruktsioonide väljatöötamisel oli silmas peetud nii energiatõhuslikku lähenemist - külmasildade vältimist ja soojusjuhtivuse vähendamist, kui ka tehasetootlikkuse võimalikkust ning lihtsust.

Võrreldes standardset puitkarkass- ning põhkkonstruktsiooni, on analüüsist selgunud, et põhkkonstruktsioonide maksumus ei ole palju kõrgem täna laialdaselt kasutuses olevatest standardsetest puitkarkasskonstruktsioonidest, kuid asendades peamist CO₂ jalajälge suurendavat materjali mineraalvilla põhupakkide ja lambavillaga, on võimalik saavutada oluliselt ökoloogilisem hoone. Elueakulude võrdluses olenevad kulud viimistlusest, savikrohvi hooldus on kulukam.

Põhkkonstruktsioonidel on potentsiaali saada alternatiiviks puitkarkass standardkonstruktsioonide kõrval, kuna kombineerides puitkarkassi ja looduslike soojustusmaterjale, on võimalik saavutada soodsaimate kuludega ökoloogilise jalajäljega hoone. Tihtipeale pole hoone planeerimisel kaalukeeleks enam maksumus, vaid hea sisekliima, ökoloogilisus, säästlikku ning seda annab suurepäraselt teostada põhkkonstruktsioonidega. Parimaks ökoloogilisuse/maksumuse suhteks võiks lugeda kõrgete asjastunud energiaga materjalide asendamisega looduslike vastu nagu näiteks mineraalvill põhksoojustuse vastu.

Ökoloogiliste materjalide kasutamine on seda enam populariseeruv, kui levib standardsete ökotoodete tööstus, mis võimaldaks kasvatada efektiivsust ehituses. Konstruktsioonide ja nende toimivuse väljatöötamine on esimene etapp ja tehtu töö kogemus viitab selle võimalikkusele.

SUMMARY

Standardisation of Straw-bale Structures and the Cost-efficiency Analysis in Comparison with Timber Framed Structures.

Construction traditions have changed significantly throughout the history by being directed by needs and expectations. The last few decades have shown germinal interest in sustainable construction design. Values and viewpoints are not only based on capitalistic side anymore, but also affected by values such as sustainability, being environmentally friendly, saving, optimization. One possible way to evaluate these viewpoints, is from ecological construction perspective. This now popular perspective has become an alternative way of thinking in construction field. It promotes the idea of saving the nature and changing the world, but, yet, is pushed down by higher price because of no standardization.

The subject of the current graduation thesis is restoring old natural building traditions and connecting these with contemporary technology on higher perspective, finding solutions for standardizing natural building materials and products. The present thesis aims at finding solutions how to improve the efficiency of using natural building materials within standard structural types and finding the comparison of profitability against the traditional timber structure buildings.

The graduation thesis is divided into two main parts: the first part concentrates on developing standard types of structures with sustainable materials that would ensure the physical performance of structures with cost-effective solutions. The subject is approached from the viewpoint of energy-efficiency.

The second part of the thesis concentrates on the comparison between natural building design and traditional timber structure design. Furthermore, this part investigates the cost-efficiency between these structural types. Energy-efficiency is calculated based on one specific architectural project of a 2-storey dwelling.

The decision of choosing natural materials and a design suitable for these, is a radical step. Improving cost-effectiveness of straw-bale structures up to the level where traditional timber structures have reached in factories, is a difficult long-term process, but as the trends in society change towards sustainability, the goal of building in factories with natural raw material is not out of reach in the future. The goal of standardization is to move main part of the construction phases into the factories, where efficiency and optimization of time and materials is at its highest and weather threat-factor is eliminated. The aim of standardization ideology is that main insulation and load-bearing parts are standardized, but finishing materials are easily changeable according to special requests of the clients.

According to carbon footprint calculations, it appears that straw-bale standardisable structure types can give the best result when using different standardized materials combined with natural (straw-bale, sheep wool, clay) materials. Replacing mineral wool insulation with natural materials, is overall the most cost-effective way to reduce the carbon footprint of a structure.

The usage of natural building materials could be even more popular, if natural raw materials were processed into standard products, therefore, it could significantly lessen the time and cost of building process. The basis for developing standard straw-bale structural types have shown the possibility of producing straw-bale buildings in the factories.

VIIDATUD ALLIKAD

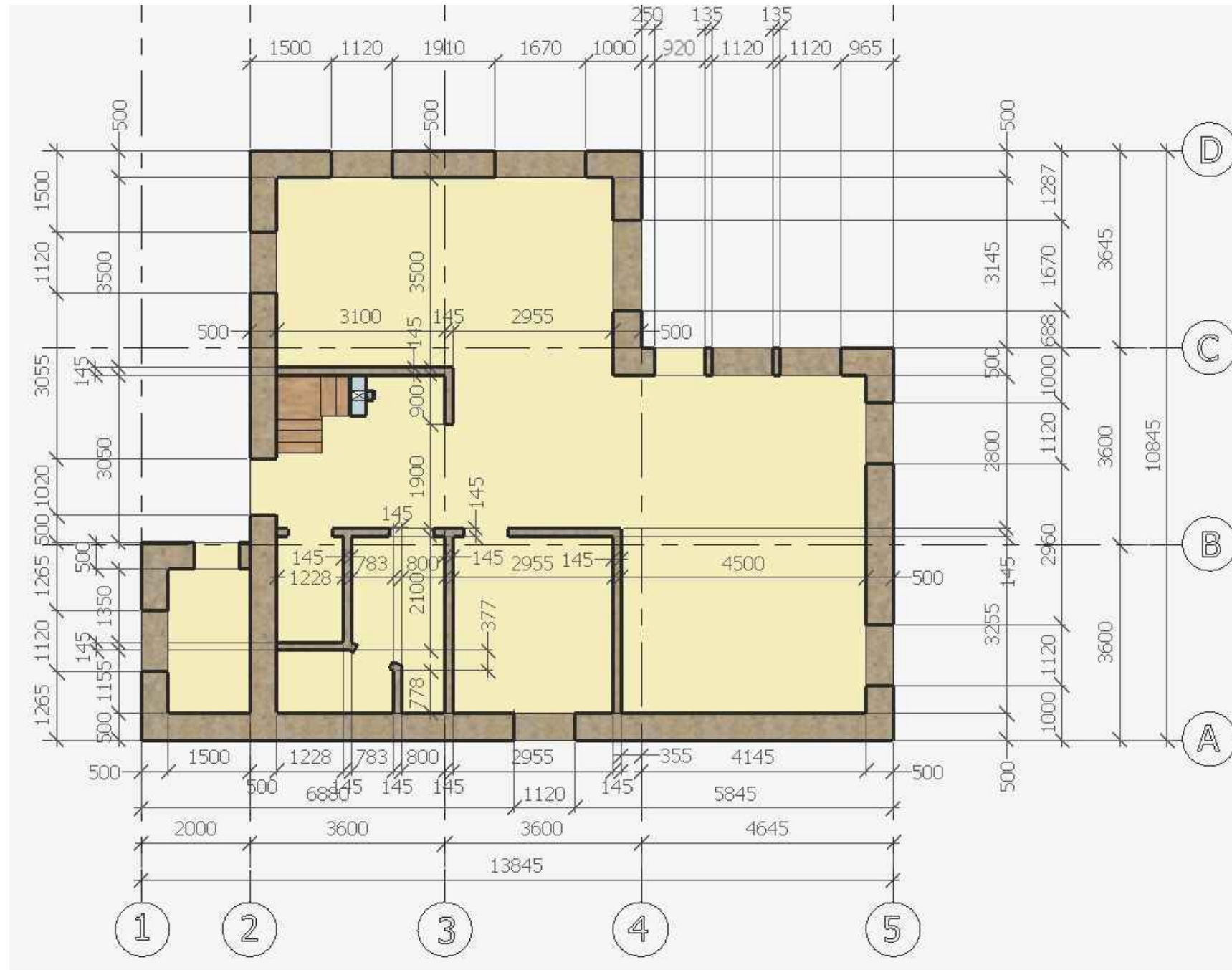
- [1] Välisseina standardkonstruktsioon puitmajatehase näitel, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://drive.google.com/a/houses.ee/file/d/0B-bukv2N-9zxR1JRdklPTUk1VXc/view>. [Kasutatud 8. aprill, 2016]
- [2] Heat Insulation Performance of Straw Bales and Straw Bale Walls, [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://naturalbuildingcoalition.ca/resources/documents/technical/heat_insulation_performance_straw-bales.pdf. [Kasutatud 18. aprill, 2016]
- [3] Kandva seinakonstruktsiooniga põhksein, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.greenbuildingadvisor.com/sites/default/files/images/h131wid.gif>. [Kasutatud 21. aprill, 2016]
- [4] Savikrohvimine, Safran OÜ juhend krohvimiseks, [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://static1.squarespace.com/static/5044730ee4b0991b726b4df3/t/570e421dc2ea51b9b79f791d/1460552229244/Kiulisandiga+savikrohv+_2015_.pdf. [Kasutatud 23. aprill, 2016]
- [5] “Intelligentne” aurutõkkepaber Pro Clima DB PLUS, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.greenspec.co.uk/green-products/air-tightness-membranes/details/pro-clima-DB%20plus/>. [Kasutatud 13. aprill, 2016]
- [6] Lambavillsoojustus “Sheep wool insulation”, [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://uk.sheepwoolinsulation.com/products/premium_insulation_technical.asp [Kasutatud 16. aprill, 2016]
- [7] Ökoloogiline tuuletõkkemembraan Pro Clima Solitex UM, [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.tervemaja.ee/client/common-docs/pro_clima/pro_clima_Solitex_System_1_.pdf [Kasutatud 16. aprill, 2016]
- [8] Kredex uuringud madalenergia ja liginullenergihoone kavandamine [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.kredex.ee/public/Uuringud/Madalenergia-_ja_liginullenergihoone_kavandamine_Vaikeelamu.pdf [Kasutatud 4. mai, 2016]
- [9] T. Masso, Ehituskonstruktoriga käsiraamat, EHITAME kirjastus, Tallinn, 2010.


- [10] Pro Clima DB+ loodussõbralik “intelligentne” aurutõkkepaber [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.ecomerchant.co.uk/pro-clima-db-1-35m-x-50m.html> [Kasutatud 16. aprill, 2016]
- [11] Savikrohv Isolargilus tehnilised andmed, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.argilus.co.uk/product/insulation-plaster-isolargilus/> [Kasutatud 22. veebruar, 2016]
- [12] Rooplaadi tehnilised andmed, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://savimees.eu/teenused/soojustamine/> [Kasutatud 22. veebruar, 2016]
- [13] Põhupakkide tehnilised andmed, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.hausderzukunft.at/results.html/id1777> [Kasutatud 22. veebruar, 2016]
- [14] Põhupakkide tehnilised andmed, soojaerimahtuvus, [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://gse.cat.org.uk/downloads/Goodhew,_2005.pdf [Kasutatud 22. veebruar, 2016]
- [15] CO₂ emissioonid, savikrohv, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.ebuk.uk.com/wp-content/uploads/2013/08/EBUK-2014-presentation-Sally-Marieke.pdf> [Kasutatud 22. veebruar, 2016]
- [16] CO₂ emissioonid, rooplaat, [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.vivapolis-climat.com/en/realisations/maroc_filtreplanteroseaux [Kasutatud 22. veebruar, 2016]
- [17] CO₂ emissioonid, põhupakid, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.greenspec.co.uk/building-design/embodied-energy/> [Kasutatud 22. veebruar, 2016]
- [18] Lambavilla soojustus, tehnilised andmed, [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://uk.sheepwoolinsulation.com/products/premium_insulation_technical.asp [Kasutatud 16. aprill, 2016]
- [19] Lambavilla soojustus, tehnilised andmed, [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:pfCPJ00MucoJ:repository.tudelft.nl/assets/uuid:6f32b195-f2b7-41e4-b70e-adae72c078e9/Hygro-thermal_properties_of_sheep_wool_insulation.pdf+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=eeasp [Kasutatud 16. aprill, 2016]
- [20] Turbakihi tehnilised andmed, [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-solids-d_154.html [Kasutatud 16. aprill, 2016]
- [21] Vallox ventilatsiooniagregaat, tehnilised andmed, [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.vallox.com/files/416/KHT90se_D_170214.pdf [Kasutatud 17. aprill, 2016]

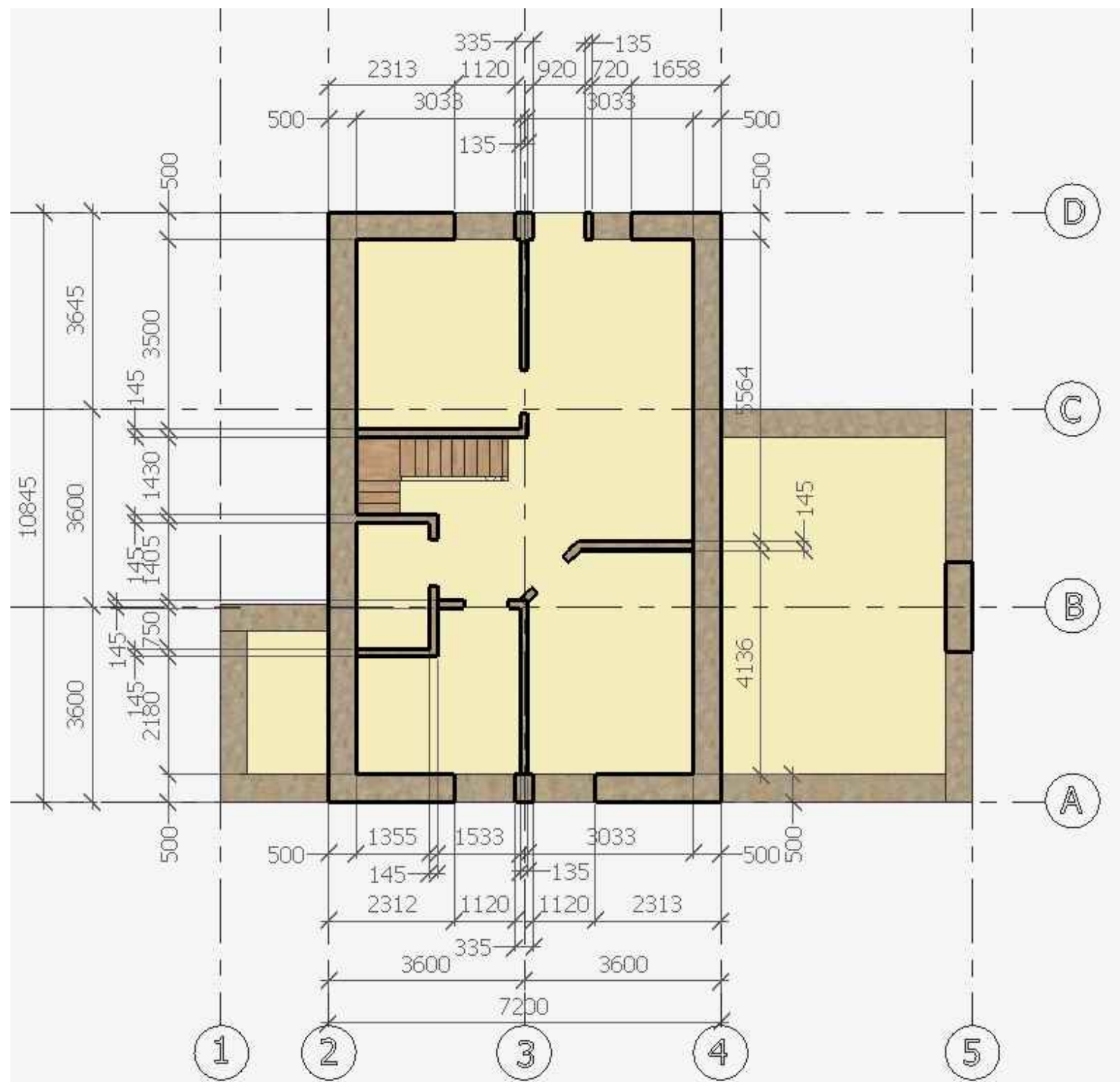
- [22] Atmos pelletkatel, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.cerbos.ee/en/pellet-boilers/675-atmos-pellet-boiler-d14p.html> [Kasutatud 18. aprill, 2016]
- [23] Standard On-grid 4 000W päikeseelektrijaam, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.xn--pikeseelekter-bfb.ee/Hinnad.xhtml> [Kasutatud 17. aprill, 2016]
- [24] Eesti Energia elektri hind, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://elektrihind.ee/> [Kasutatud 17. aprill, 2016]
- [25] Pelleti ostuhind, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.pellet.ee/est/telli-pelleteid/hinnakiri> [Kasutatud 17. aprill, 2016]
- [26] Hoone energiatõhususe miinimumnõuded, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.riigiteataja.ee/akt/105062015015> [Kasutatud 6. mai, 2016]
- [27] G Minke, F. Mahlke, Building with Straw. Design and Tehnology of a Sustainable Architecture, USA, 2005.
- [28] EKE NORA tööajanormide, tööaja ja materjali hindade andmebaas. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://drive.google.com/open?id=0B3XCKqrIGpGGamZuaU9kanlJNDA> [Kasutatud 6. mai, 2016]
- [29] Woodex puiduõli materjali kulu andmed. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://puumarket.ee/?op=body&id=2&prod=385&sid=4610> [Kasutatud 6. mai, 2016]
- [30] Nüüdisväärtuse leidmise metoodika, Moodle keskkond, [Võrgumaterjal]. http://ekool.ttkk.ee/pluginfile.php/79261/mod_resource/content/5/EHITUS%C3%96KONOOMIKA_konspekt_kinnisvara%C3%B6konoomika.pdf [Kasutatud 9. mai, 2016]

LISAD

Lisa 1. Lõputöö aluseks olev arhitektuurne projekt



	ENERGIATÕHUHUSE ALUSHOONE		
	Joonise nimetus ESIMESE KORRUSE PLAAN		
Koostas: INDREK SOOTS	Joonise nr 1	Töö nr 1	Õpperühm: HE-82
Juhendas: PILLE HAMBURG	Skaala 1:100	Lehti: 1	Lehti: 3
TALLINN 28.04.2016			



TALLINNA
TEHNIKAKÕRGGKOO

ENERGIATÕHUKUSE ALUSHOONE

Koostas: INDREK SOOTS

Joonise nimetus TEISE KORRUSE PLAAN

Juhendas: PILLE HAMBURG

Joonise nr 2

Töö nr 1

Õpperühm: HE-82

TALLINN 28.04.2016

Skaala 1:100

Lehti: 2

Lehti: 3



TALLINNA
TEHNIKAKÕRGGKOO

ENERGIATÕHUKUSE ALUSHOONE

Koostas: INDREK SOOTS

Joonise nimetus LÕIGE

Juhendas: PILLE HAMBURG

Joonise nr 3

Töö nr 1

Õpperühm: HE-82

TALLINN 28.04.2016

Skaala 1:75

Lehti: 3

Lehti: 3