



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

EHITUSTEADUSKOND

Ehitiste projekteerimise instituut

KESKKONNAMÕJU PUITMATERJALIDE
TOOTMISEST NING RAUDBETOON - JA
PUITKONSTRUKTSIOONIDE RESSURSIÕHUSUSE
ANALÜÜS

ENVIRONMENTAL IMPACT OF WOODEN CONSTRUCTION MATERIAL
MANUFACTURING AND RESOURCE EFFICIENCY ANALYSIS OF CONCRETE
AND WOODEN CONSTRUCTION

EEA60LT

Üliõpilane:

Sigrit Link

(allkiri)

Juhendaja:

Prof. Jarek Kurnitski

(allkiri)

Tallinn, 2015.a.

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.
Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite
tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt
pärinevad andmed on viidatud.

..... (töö autori allkiri ja kuupäev)

Üliõpilase kood:

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

..... (juhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitmisele lubatud (kuupäev)

Kaitsemiskomisjoni esimees (allkiri)

Sisukord

1. Sissejuhatus	4
2. Ressursitõhusus	6
3. CO ₂ emissioonid ehitusmaterjalide tootmisest.....	8
3.1. Lähtepositsiooni analüüs Eestis enamkasutatud ehitusmaterjalide kohta.....	9
4. Arvutusmetoodika	10
4.1. Andmete kogumine ja dokumentatsioon	11
5. Eestis toodetud ehitusmaterjalide CO ₂ emissioonid	12
5.1. Energiaallikad	12
5.2. Puitmaterjalid.....	12
5.3. Tsemendibaasilised materjalid.....	19
5.4. Emissioonitegurid EPD-st ja andmebaasidest	20
6. Raudbetoon- ja ristkihtliimpuitkonstruktsiooniga hoone analüüsi ülevaade	24
6.1. Funktsionaalsed ühikud	25
7. Raudbetoonelementidest olemasolev kortermaja.....	26
7.1. Üldkirjeldus	26
7.2. Raudbetoonlahenduse tuleohutus	26
8. Ristkihtliimpuihoone lahendus.....	29
8.1. Müra.....	29
8.2. Tuleohutus	29
8.3. Analüüsis kasutatavad tarindilahendused	30
9. CO ₂ emissioonid raudbetoonhoonel.....	35
9.1. Elementide ja lisamaterjali analüüs	35
9.2. Emissioonid	45
10. Ristkihtliimpuit hoone konstruktsioon	48
10.1. Seinatarindid.....	49
10.2. Vahelaelemendid	59
10.3. Katuseelemendid	60
11. CO ₂ emissioonid puitelementidest	61
12. Raudbetoonhoone ehitusmaksumus	70

13.	Ristkihtliimpuit konstruktsiooniga hoone ehitusmaksumus.....	71
13.1.	Materjalide spetsifikatsioon	74
14.	Võrdlus	77
14.1.	Tarindilahenduste emissioonid tarindi m ² kohta.....	77
14.2.	Tulemused suletud netopinna kohta	80
15.	Kokkuvõtte	82
16.	Summary.....	84
17.	Kasutatud materjalid.....	86
LISA 1.	Raudbetoelementide laotused	88
LISA 2.	1. korruse vahelaepaan	94
LISA 3.	2-6 korruse vahelaepaan	95
LISA 4.	Raudbetoonkonstruktsioonid	96
LISA 5.	Lõige 2-2.....	106

1. Sissejuhatus

Viimaste aastakümnete jooksul on maailmas hakatud järjest rohkem tähelepanu pöörama kliimamuutustele - eelkõige kliima soojenemisele, aga ka selle tagajärgedeks peetavatele sagenenud looduskatastroofidele, ekstreemsetele ilmastikuoludele, polaarjää sulamisele ning selle tulemusel tõusvale maailmameretasemele. Levinuima seisukoha järgi on selle põhjustaja inimtegevus, või pigem selle tegevusel järjest intensiivsemalt emiteeritav süsihappegaas (süsinikdioksiid - CO₂).

CO₂ on peamine kasvuhoonegaas, mis emiteerub inimtegevuse tulemusel, olles kõige tavalisem põlemisprotsessi kaasprodukt. Lisaks inimtegevusele (peamiselt energia tootmine) sõltub CO₂ hulk õhus ka näiteks organismide kõdunemisest, vulkaanilise tegevuse intensiivsusest, kivimite murenemisest, taimestiku arengustaadiumist, liigilisest koosseisust ja metsatulekahjustest. Eestis moodustas CO₂ 2012. aastal 89% kõigist Eesti kasvuhoonegaaside heitkogustest. (Võrno)

Tulenevalt süsinikdioksiidi universaalsusest kasutatakse just seda ühendit peamiseks indikaatoriks, mille asusel analüüsida inimtegevuse mõju keskkonnale ja võrrelda erinevaid materjale ning nende tootmise keskkonnamõjusid. Keskkonnavalased küsimused on tänapäeva ühiskonnas tihedalt seotud majanduslike kaalutlustega, mistõttu on käesolevas töös analüüsitud lisaks keskkonnamõjudele ka majanduslike aspekte.

Töö eesmärk on leida Eestis toodetud puitmaterjalist tekkivad emissioonid funktsionaalse ühiku kohta ning selle baasil leida ressursitõhus ehituslahendus, mis arvestaks nii keskkonnamõjusid, kui ka ehitusmaksumust.

Töö on jaotatud kahte suuremasse ossa: Esimeses osas arvutatakse ehituseks kasutatavate kohalike puitmaterjalide tootmisest tekkivad emissioonid. Selleks leitakse sobiv meetodika, hangitakse vajalikud algandmed tootjatelt ning andmebaasidest ja arvutatakse nende põhjal tekkivad emissioonid.

Teises osas keskendutakse riskihtiimpuidust ja raudbetoonist hoonete ressursikasutuse analüüsimisele. Analüüsitud hoone on olemasolev kaasaegne korterelamu Tartus, mis on rajatud raudbetoonist. Võrdluseks arvutatava riskihtiimpuidust hoone jaoks on vaja välja selgitada sobivad lahendused ja teha eelarve. Mõlema hoone puhul on vajalik leida emiteeruv CO₂ hulk.

Analüüsiks valis autor raudbetoon- ja puitkonstruktsioonid, ning juba nõukogude ajast meile teada tuntud elementehituse. Raudbetoonkonstruktsioonid on valitud seetõttu, et see on Eestis täna valdav suurte kortermajade rajamise viis. Puitkonstruktsioonid võiksid autori nägemuses olla tulevikumaterjal, mis oleks alternatiiviks raudbetoonkonstruktsioonidele. Elementehitus on valitud, kui kõige ratsionaalsem viis ehitamiseks, mis võrreldes nõukogude perioodi magalarajoonidega on saavutanud tänaseks hoopis teise kvaliteeditaseme. Tänapäeval pööratakse lisaks kiirusele ka tähelepanu materjalide optimaalsele kasutusele tehasetingimustes ning tootmise kõrgele kvaliteedile, mida on võimalik saavutada aasta läbi kontrollitud ja läbimõeldud siseruumides tööd tehes.

2. Ressursitõhusus

Euroopa ja terve maailma majandus sõltub väga suures osas loodusvaradest ning vajadus nende ressursside järgi aina kasvab. Demograafiline prognoos näitab, et 2050. aastaks on elanikkond kasvanud 9 miljardi inimeseni. Rahvaarvu kasv tuleb eelkõige Aasia ning Aafrika piirkondade arvelt, mis pürgivad oma elatustasemelt lääne maailmale järgi, mistõttu nende ressursikasutus kasvab tulevikus märkimisväärselt.

Ressursse kasutatakse sageli vähetõhusalt, sest ühiskond pole teadlik ressursside kasutamise reaalsest maksumusest. Erasisiku ning -ettevõtja seisukohast on keeruline hoomata keskkonnasäästu ning ressursikasutust niivõrd suures pildis, mistõttu on tarvis laiemat institutsionaalset sekkumist.

Seepärast on Euroopa Liit (EL) loonud uusi meetmed, mille eesmärk on ressursside säästvam kasutamine ehk ressursitõhususe arendamine. Sellised uuenduslikud ja jätkusuutlikule majandusele suunavad strateegiad on näiteks Euroopa 2020, mille alustalaks on ressursitõhusa Euroopa tegevuskava.

Eesmärk on kaotada tavapärane majanduse ja keskkonna lahusus, et tagada rohelisemat majanduskasvu ja töökohtasid ning parandada ressurssidest sõltuvat tootlikkust. 2014. aasta oktoobris võeti vastu otsus, et EL-i liikmesriigid vähendavad omamaiseid kasvuhuone heitgaase 2030. aastaks 40%. (EL võtab kliimameetmete alal juhirolli, 2015)

Oluliseimaks õigusaktiks ehitusmaterjalide ja -toodete seisukohalt oli ennist 1989. aastast kehtiv Ehitustoodete direktiiv (CPD). Direktiivi eesmärk on tagada ehitustoodete vaba liikumine Euroopas. Alates 1. juulist 2013. kehtib Ehitustoodete määrus (CPR). Olulisemad muudatused on seotud toodete vastavuse tõendamisega. (EU nõukogu ja parlament, 9.03.2011)

Lisaks kasutatakse Euroopa Liidus EU Ecolable märgistust, mis antakse toodetele ja teenustele, millest tingitud keskkonnamõjusid on vähendatud terve elutsükli jooksul. Analüüsitakse toormaterjalide hankimist, tootmist, kasutusfaasi ja lõpetatakse utiliseerimisega. Tegemist on vabatahtliku märgistusega, mida kasutatakse kogu Euroopas. (European Commission The EU Ecolable)

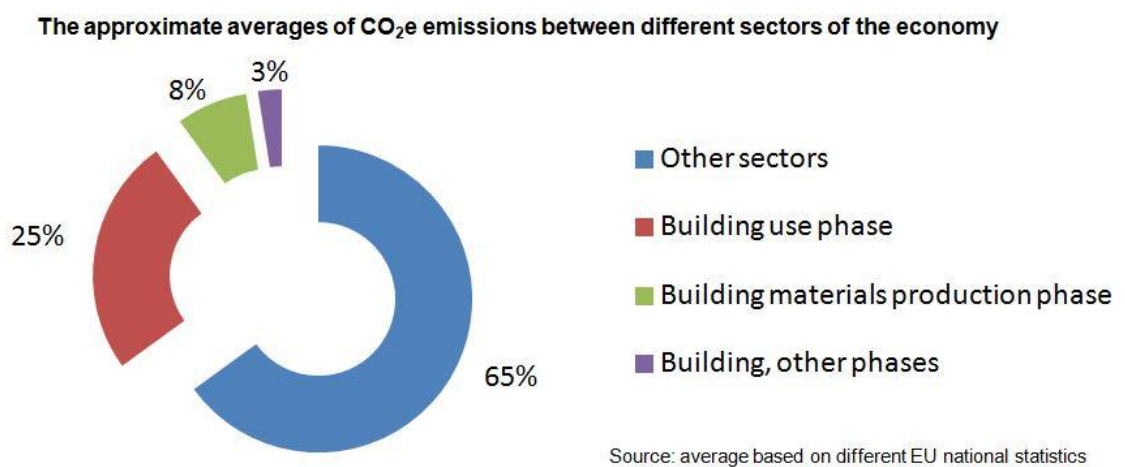
Oluline on, et toodete ja teenuste hinnas kajastuks objektiivselt kõik kulud, sealhulgas kulud keskkonna saastamise ning energia kasutamise eest. Samuti on vajalik, et lõpptarbijal oleks võimalik saada täpset teavet materjali tootmiseks kulunud ressursside kohta. Sobilikule hinnatasemele tuleb tähelepanu pöörata ja muuta see läbipaistvaks. Hinnad võiksid kajastada ka keskkonna- ja tervisekulusid. Teadus- ja arendustegevus ning innovatsioon on märkismiväärse tähtsusega, et parandada vajaliku tehnoloogia kättesaadavust ja efektiivsust. (Ressursitõhusa Euroopa - Euroopa 2020. aasta strateegia kohane juhtalgatus, 2011)

Ressursitõhusal lähenemisel on kasu keskkonnale toote erinevates eluetappides ning läbimõeldud ja analüüsitud tegevuskava jälgides on võimalik näha ka majanduslikku kasutegurit. Korralikult läbimõeldud tõhusa lähenemise korral säästetakse nii materjali ennast, selle hankimisega seotud kuludelt (kaevandamise, ammutamine, raie jne. ning nendega seotud tegevused), tootmisega seotud kuludelt (energiakasutus toorme vormimiseks tooteks), kui ka utiliseerimisest (toote eluiga, taaskasutus, keskkonnaohutus ladustamisel).

3. CO₂ emissioonid ehitusmaterjalide tootmisest

Ehitussektori kasvuhoonegaasid moodustavad Euroopas kesmiselt 36% kogu kasvuhoonegaasidest. (vt Joonis 3.1) Seetõttu võib öelda, et ehitussektoris tekib märkimisväärne osa kasvuhoonegaasidest. Kasvuhoonegaase mõõdetakse ekvivalent süsihappegaasihulgas, see tähendab, et ka ülejäänud kasvuhoonegaasid on ümber arvutatud CO₂ emissioonideks.

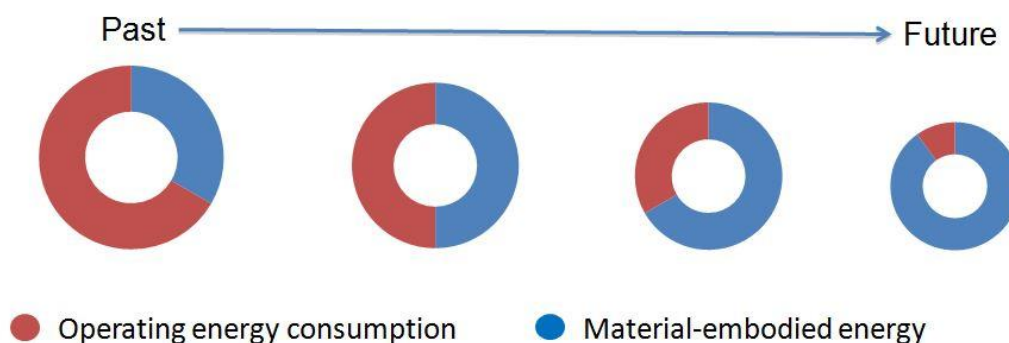
GHG Emissions



Joonis 3.1. Kasvuhoonegaasid Euroopas (Zizzo, 2015)Error! Reference source not found.

Ehitusmaterjalide tootmise osakaal on 8% kõigist kasvuhoonegaasidest, mis võib tunduda väikse osana, kuid hoonete üldise energiatõhususe paranedes suureneb materjalide tootmise keskkonnamõjude osatähtsus pidevalt. Energia hulk, mida kasutame hoone ülalpidamiseks muutub aina väiksemaks, mistõttu materjalide tootmiseks ning paigaldamiseks kuluva energia osatähtsus suureneb. Koos sellega muutuvad olulisemaks ka tootmisprotsessi käigus tekkivad kasvuhoonegaasid. (vt Joonis 3.2. Tuleviku tendentsid)

Future Tendencies (Energy and GHGs)



Joonis 3.2. Tuleviku tendentsid (Zizzo, 2015)

3.1. Lähtepositsiooni analüüs Eestis enamkasutatud ehitusmaterjalide kohta

Tänu Kyōto protokollis nõuetele ja CO₂ kvoodikaubandusele peab olulist keskkonnamõju omav tööstussektor analüüsima tootmisel tekkivaid CO₂ heitmeid ning nende kogust. Üheks selliseks sektoriks on tsemenditööstus. Eesti ainus tsemenditootja Kunda Nordic on põhjalikult analüüsinud CO₂ heitkoguseid ning annab välja infolehte Tsemendiwabrik, kus tulemused on kajastatud. CO₂ emissioonid on selle järgi 844 CO₂, kg/t tsemendile. (Tsemendiwabrik, 2013)

Teise näitena võib tuua puitehituse sektorit, kus on huvi keskkonnamõjude ning kitsamalt CO₂ emissioonide analüüsimise vastu ja selle valdkonna uurimisega tegeletakse alaliidu põhiselt. Puitmajaklaster on võtnud eesmärgiks luua CO₂ emissioonide kalkulaator, et oleks võimalik erinevaid ehitisi võrrelda. Lisaks tegeletakse üldiselt puitehituse propageerimisega.

Kahjuks peab siiski tõdema, et suur osa ehitusmaterjalide tootjaid ei ole huvitatud CO₂ emissioonide heitkoguste arvutamisest ja andmeid analüüsiks on keeruline saada. Lisaks puudub materjalitootjatel kohustus ja surve EPD (*ingl Environmental Product Declaration*) väljatöötamiseks. EPD on deklaratsioon tootele, milles hinnatakse toote keskkonnamõju. Oluline on seejuures meeles pidada, et EPD olemasolu ei tähenda, et toode on keskkonnasõbralik, kuid see on vajalik keskkonnamõju hindamisel.

4. Arvutusmetoodika

Arvutusmetoodiga põhiprobleemiks on materjalide erinev tootmistehnika. Seepärast on keeruline täpselt paika panna kindlat metoodikat. Iga materjal vajab vastavalt toorainele või tootmistehnoloogiale mingil määral erinevat lähenemist ja erinevaid kitsendusi metoodika kasutamisel. Siiski on võetud suund sertifitseerimisele ja üha enam leidub metoodikaid, mis aina täpsemalt kirjeldavad, kuidas võiks läheneda emissioonide analüüsimisele.

Autor lähtus töös "Keskkonnakorraldus. Olelusringi hindamine. Põhimõtted ja raamistik." EVS-EN ISO 14040:2006 standardist, mis andis juhtnöörid eesmärgi, piiride ja protsessi kohta.

Lisaks lähtuti PAS 2050:2011 soovitustest olelusringi hindamisel ja kitsenduste tegemisel. (PAS 2050:2011)

Emissioonide põhimõtteline arvutusmeetod:

Emissioon = Emissioonitegur x Tegevus

Emissioonitegurid on võimalik leida erinevatest andmebaasidest või muudest infoallikatest. Emissioonitegureid on käsitletud peatükis 5.4.

Tegevuse all mõeldakse näiteks energiakulu ja transporti.

Toorainest tekkivate emissioonide jaoks kehtib põhimõtteliselt sama valem, kuid tegevus asendub materjali kogusega:

Emissioon = Emissioonitegur x Materjalikogus

Metoodika muudab keeruliseks piiride seadmine, mida arvesse võtta ja mida mitte. Esimeseks kitsendavaks asjaoluks on "cradle-to-gate" põhimõte. See tähendab, et minnakse võimalikult tooraine saamise alguseni ja analüüsi lõpuks on toote valmimine. Edasisi protsesse ei analüüsitud.

Oluline on üles märkida, millist tegurit on kasutatud ja kust see on leitud. Selline lähenemine loob selgust emissioonide heitkoguse arvutamisse ja loob rohkem võimalusi hilisemaks analüüsiks.

Teise kitsendusena on käesolevas töös välja jäetud veekasutus, kuna Eestis pole tarbevee ammutamine problemaatiline ning puhast joogivett on saadaval piisavates kogustes.

Kolmanda kitsendusena on käesolevas töös välja jäetud jäätmekäitlus, sest puidusektoris on jääkprodukte vähe. Peamiselt ainult plastik ja olmeprügi, mis samuti mõjutab tulemust antud sektoris väga väiksel määral. Puitjätmeid kasutatakse enamasti tehases kütusena ning kuna tegemist on biokütusega, siis sellest tekkivaid emissioone ei arvestata.

Kütusest tekkiva CO₂ emissiooni arvutamisel on autor lähtunud keskkonnaministri määrusest nr 94 "Välisõhku eralduva süsinikdioksiidi heitkoguse määramismeetod." Selle määrusega on sätestatud energeetika- ja tööstusallikatest välisõhku eralduva CO₂ heitkoguse määramismeetod. (Keskkonnaminister, 2004) Määruses on selgelt kirjas arvutusmetoodika koos valemitega, millest autor lähtus kütustest tekkiva CO₂ emissioonide arvutamisel.

4.1. Andmete kogumine ja dokumentatsioon

Analüüsi perioodiks on 12 kuud, ning arvesse võeti viimase täisaasta, 2014. aasta, andmeid.

Andmed jaotati kolme põhikategooriasse:

- 1) tehase energiatarve - sealhulgas elekter, kütus, gaas, põlevkivi või mõni muu energiaallikas
- 2) tooraine - liik, maht ja transpordikaugus (k.a gaasilised)
- 3) valmistoodang - kogu tehase toodang maht, kogus, kaal

Funktsionaalse ühikuna, mille kohta CO₂ emissioonid arvutati on kilogramm (kg). Funktsionaalsetest ühikutest pikemalt peatükis 6.1.

5. Eestis toodetud ehitusmaterjalide CO₂ emissioonid

5.1. Energiaallikad

Eestis on peamiseks energiaallikaks põlevkivi, mis tingituna oma madalast kütteväärtusest mõjutab oluliselt ehitusmaterjalide tootmisest tingitud CO₂ emissioone. Euroopa Liidu LIFE - Environment programmist kaasrahastatud pikaajalise projekti tulemusel, mille raames tegid koostööd Eesti Energia ja Soome Keskkonnainstituut (*SYKE - sm Suomen ympäristökeskus*), valmis toote keskkonnateatis (EPD) põlevkivielektrile. (CDP arenduskeskus) Seejuures otsustas Eesti Energia EPD-d teadmata põhjustel mitte registreerida. Ainult registreeritud EPD-sid on võimalik leida andmebaasidest ja nendes olevaid andmeid kasutada. Elektrienergia on põhjuseks, miks Eesti puidutööstuses emiteerub rohkem heitgaase kui keskmiselt Euroopas.

5.2. Puitmaterjalid

Puit on olemuselt süsiniku salvestaja. Süsinik moodustab puidu kaalust umbes poole sõltuvalt puidu kasvukohast, liigist ja muudest mõjuteguritest. On võimalik arvestada, et antud süsiniku hulk on õhust seotud ning see tekitab CO₂ emissiooni bilansis negatiivse olukorra. See tähendab, et seotakse rohkem süsinikku, kui tekitatakse. Üks kilogramm puitmaterjali seob keskmiselt 1,835kg CO₂/kg. Käesolevas töös on puidus seotud süsiniku arvestatud eraldi ja kõrvalseisva teemana. (Oliver, 2010)

Seejuures ei saa märkimata jätta, et ka puidu tööstuses alates metsatööstusest kuni lõpuks toote valmimiseni tekib CO₂ emissioone, mida peab arvesse võtma.

5.2.1. Viimistlemata puitmaterjal AS Toftan näitel

Viimistlemata puitmaterjali all peetakse silmas mõõtu lõigatud ja kuivatatud saematerjali, mis on värvimata ja töötlemata. Analüüsis on kasutatud AS Toftan 2014. aasta andmeid. Toftan on Eestis eesrindlik jätkusuutlikus metsamajandamises omades nii FSC (*ingl Forest Stewardship Council*), PEFC (*ingl Programme for the Endorsement of Forest Certification*), kui ka HT (toote vastavusmärgi) sertifitseeringuid.

Lisaks osatakse efektiivselt ära kasutada toodangu kõrvalprodukte, mis kajastub selgelt ka energiatarbes. Eestis on elektrienergia emissioonitegur keskmisest Euroopas oluliselt

kõrgem, kuid selle mõju on võimalik elimineerida nagu antud näites. (vt Tabel 5.2.1.1) Puitmaterjali kuivatamiseks ehk soojusenergia tootmiseks, mis on energiamahukas tegevus, ei kasutata mitte elektrit vaid hoopis puukoort, mis niikuinii tekib suures koguses kõrvaproduktina.

Tabel 5.2.1.1 Emissioonid elektritarbest AS Toftan näitel

Energiatarve	Kogus (kWh)	Emissioonitegur (kgCO ₂ /kWh)	Emissioonihulk (kg CO ₂)
Elekter	13000	1,906907035	24790

Toorainete nomenklatuur piirdub saepalgi ja pakendikilega. Pakendikile emissioonihulka arvutades on kasutatud keskmise plastikmaterjali emissioonitegurit (vt Tabel 5.2.1.2).

Tabel 5.2.1.2 Emissioonid toorainest AS Toftan näitel

Toorained	Kogus	Emissioonitegur	Emissioonihulk (kg CO ₂)
Saepalk	362000 m ³	0,08 kgCO ₂ /m ³	28960
Pakendikile	80000 kg	3,31 kg CO ₂ /kg	264800

Puitmaterjali puhul on lisaks elektrienergia tarbimisele oluline mõjutegur ka saematerjali transpordikaugus. Toftan kasutab kohalikku materjali, mille tarnete arv on küll suur, kuid arvestades transpordikaugust, siis emissioonide tekib transpordist materjali mahu kohta vähe. (vt Tabel 5.2.1.3)

Tabel 5.2.1.3 Emissioonid tooraine transpordist AS Toftan näitel

Toorained	Kaugus (km)	Aastas tarne kordi	Kaugus kokku (km)	Emissioonitegur (kg CO ₂ /kg)	Emissioonihulk (kg CO ₂)
Saepalk	45	11000	495000	0,89258	441829
Pakendikile	200	4	800	0,89258	714

Kütusena kasutatakse diislit ning seda nii erinevate tööstus-, kui ka transpordiprotsesside jaoks. (vt Tabel 5.2.1.4) Esialgu suure kütusekuluna tunduv diislikogus tegelikult seda ei ole, sest see on jaotud kogu toodangu peale ära.

Tabel 5.2.1.4 Emissioonid kütusest AS Toftan näitel

Kütus	Maht (l)	Kaal (kg)	Kütteväärtus (MJ/kg)	Kütusekulu aastas (TJ)	Süsiniku eriheide (tC/TJ)	Süsiniku sisaldus (GgC)	CO ₂ heitkogus (kgCO ₂)
Diiseli	345000	288075	43	12,3872	20,2	250	908306

Lisaks saematerjalile toodetakse ettevõttes ka saepuru ja haket. Saepuru toodetakse 150000 puiste kuupmeetrit ning haket 250000 puiste kuupmeetrit. Antud lõputöös neid kõrvalprodukte arvestatud ei ole. Sellest hoolimata on emissioonihulk kilogrammi kohta keskmisest oluliselt väiksem, mille põhjuseks on väga vähene elektrienergiakasutamine ühiku kohta, mis tuleneb lisaks kohalikule soojusenergia tootmisele ka optimeeritud tehasetööst.

Soomes on keskmiseks puitmaterjali emissiooniteguriks 44 g CO₂e/kg, mis on üle kahe korra rohkem, kui AS Toftani toodangul (18g CO₂e/kg).(vt Tabel 5.2.1.5)

Tabel 5.2.1.5 Emissioonid AS Toftan näitel

Kõik toodetud tooted	Kogus	Elekter	Diiseli	Tooraine	Transport	Kokku (g CO ₂ /kg)
Saematerjal	210000 m ³	0,000262	0,009612	0,003109	0,004683	18

5.2.2. Viimistlemata puitmaterjal OÜ Puidukoda näitel

OÜ Puidukoja toodangu näitel on tegemist võrreldava saematerjaliga, mille kalkulatsioon on eelnevas peatükis.

Analüüsis on kasutatud OÜ Puidukoda 2014. aasta andmeid. Puidukojal on FSC sertifikaat.

Elektrienergiat kasutatakse tootmisprotsessis oluliselt suuremal määral, kui AS Toftani näites. Sellest tulenevalt on ka elektrienergia emissioonihulk suurem. Lisaks kasutatakse ka gaasi, kuid emissioonihulka mõjutab see väga vähesel määral. (vt Tabel 5.2.2.1)

Tabel 5. 2.2.1 Emissioonid elektritarvest OÜ Puidukoda näitel

Energiatarve	Kogus	Emissioonitegur (kgCO ₂ /kWh)	Emissioonihulk (kgCO ₂)
Elekter	187594 kWh	1,906907035	357724
Gaas	1545 l	0,476774265	737

Tooainete nomenklatuur piirdub samuti saepalgi ja pakendikilega. Pakendikile emissioonihulka arvutades on kasutatud keskmise plastimaterjali emissioonitegurit nagu ka Toftani näites, et tulemused oleksid paremini võrreldavad (vt Tabel 5.2.2.2).

Tabel 5.2.2.2 Emissioonid toorianest OÜ Puidukoda näitel

Toorained	Kogus	Emissioonitegur	Emissioonihulk (kgCO ₂)
Saepalk	75402 m ³	0,08 kgCO ₂ /m ³	6032,16
Pakendikile	63000 kg	3,31 kg CO ₂ /kg	208530

Toorainena tarnib Puidukoda saepalki erinevatest riikidest ja sellest ka suuremad emissioonid transpordist, kui AS Toftani näitel. (vt Tabel 5.2.2.3)

Tabel 5.2.2.3 Emissioonid toorainete transpordist OÜ Puidukoda

Toorained	Kaugus (km)	Aastas tarne kordi	Kaugus kokku (km)	Emissioonitegur (kg CO ₂ /kg)	Emissioonihulk (kg CO ₂)
Saepalk (kokku)			1264559	0,89258	1128726
Venemaa	1180	883	1041940	0,89258	930019
Läti	251	304	76304	0,89258	68108
Eesti	105	261	27405	0,89258	24461
Valgevene	518	130	67340	0,89258	60107
Soome	521	98	51058	0,89258	45574
Pakendikile	200	3	600	0,89258	536

Kütusena kasutatakse diislit. (vt Tabel 5.2.2.4)

Tabel 5.2.2.4 Emissioonid kütusest OÜ Puidukoda näitel

Kütus	Maht (l)	Kaal (kg)	Kütteväärtus (MJ/kg)	Kütusekulu aastas (TJ)	Süsiniku eriheide (tC/TJ)	Süsiniku sisaldus (GgC)	CO ₂ heitkogus (kg CO ₂)
Diiseli	67900	56697	43	2,4379	20,2	49	178765

OÜ Puidukoja näitel tekib emissioone 54g CO₂/kg saematerjali kohta. Võrreldes AS Toftani näitega (18g CO₂e/kg) on see oluliselt rohkem, kuid võrreldes Soome keskmise 44g CO₂/kg kohta on see siiski võrreldav ja samas suurusjärgus. (vt Tabel 5.2.2.5)

Tabel 5.2.2.5 Emissioonide arvutuse lõpptulemus OÜ Puidukoda näitel

Kõik toodetud tooted	Kogus	Energia	Diisel	Tooraine	Transport	Kokku (g CO ₂ /kg)
Saematerjal	210000 m ³	0,010213	0,005093	0,006113	0,032173	54

5.2.3. Ristkihtliimpuit (CLT) ja liimpuit / Sõrmjätkatud konstruktsioonpuit Arcwoodi näitel

Konstruktsioonpuit on tehniliselt kuivatatud naturaalpuit, mille niiskusesisaldus on kuni 18%. Toode on valmistatud detailide pikijärkamise teel, et saada tavapuidust pikemaid ehituslikke konstruktsioonelemente. Liimimiseks kasutatakse polüuretaanliimi. (Arcwood, 2015)

Liimpuit (liimpuitkonstruktsioonid) valmistatakse tehniliselt kuivatatud, enamasti 12% niiskusesisaldusega puidust. Omavahelise kihilise liimimise teel on võimalik toota liimpuitkonstruktsioone täpselt sellise kõrgusega, nagu seda ehitusel vajatakse. (Arcwood, 2015)

Ristkihtliimpuit (Cross Laminated Timber - CLT) on mitmekülgne ehitusmaterjal, mida on võimalik kasutada seina-, vahelae- ja katusepaneelidena. CLT kihid on sõrmjätkatud materjalist omavahel risti kokku liimitud. Kihte on alati paaritu arv, 3, 5 või 7. Plaatide omavahelised kinnitused teostatakse objektil kruvide, poltide ja naaglite abil. (Arcwood, 2015)

Analüüsis on kasutatud Arcwoodi (Peetripuit OÜ) 2014 aasta andmeid.

Elektri kasutamisest tekkivad emissioonid leiti Eesti keskmist elektrienergia emissioonitegurit (vt Tabel 5.2.3.1) arvestades, mis on oluliselt kõrgem võrreldes enamuse Euroopa riikidega. Elektri kasutamisest tulenevad emissioonid on jaotatud vastavalt toodangu mahule.

Tabel 5.2.3.1 Emissioonid elektritarvest Arcwoodi näitel

Energiatarve	Kogus (kWh)	Emissioonitegur (kgCO ₂ /kWh)	Emissioonihulk (kgCO ₂)
Elekter	1162433	1,906907035	2216652

Mõjutav tegur liimpuidu puhul on liimi kulu mahu kohta, transpordikaugus ja keemiline koostis. Sõrmjätkatud konstruktsioonpuidus on liimi osakaal väga väike, kuid täpsuse huvides on seda analüüsis siiski arvestatud.

Erinevate liimpuittoodete tootmisprotsess on väga sarnane, kuid kasutatakse keemiliselt erineva koostisega liime, mille kulu pinnatühiku kohta ja tarnekaugus on samuti erinevad. Muude toorainete nagu saematerjal, kile, teraslint ja plastiklint emissioonid arvutati korrutades emissiooniteguriga (vt Tabel 5.2.3.2) ja jaotati vastavalt mahule.

Tabel 5.2.3.2 Emissioonid toorainest Arcwoodi näitel

Toorained	Algandmed		Kaal (kg)/ Liimi tüüp	Emissioonitegur* (kg CO ₂ /kg)	Emissioonihulk (kg CO ₂)	Liimi kulu (g/m ²)
Saematerjal	21200	m ³	9858000	0,108	1064664	
Liim (Melamiin)	63780	kg		4,19	267238	450
Liim (Polüuretaan)				3,79	241726	180
Kile	11720	kg		3,31	38793	
Teraslint	880	kg		1,91	1681	
Plastiklint	56	kg		3,31	185	

Emissioonide arvutamisel transpordist arvestati nii maismaa-, kui ka meretransporti. Meretranspordi mõju toodangu CO₂ emissioonihulgale oli väga väike võrreldes maismaatranspordiga. Erinevate liimide tootmisest ja transpordist tekkivaid emissioone arvestati eraldi. (vt Tabel 5.2.3.3)

Tabel 5.2.3.3 Emissioonid transpordist Arcwoodi näitel

Toorained	Lisainfo	Kaugus (km)	Aastas tarne kordi	Kaugus kokku (km)	Emissioonitegur (kg CO ₂ /kg)	Emissioonihulk (kgCO ₂)	Kokku (kgCO ₂)
Saematerjal		150	440	66000	0,89258	58911	58911
Melamiin	Rootsi/Kristinehamn	285	63	17955	0,01315	472	36011
	Maimaal	632	63	39816	0,89258	35539	
Polüuretaan	Šveitsi	2390	63	150570	0,89258	134396	134396
Kile	Rootsi	285	3	855	0,01315	22	13068
	Tallinn	232	63	14616	0,89258	13046	
Teraslint	Tallinn	232	4	928	0,89258	828	828
Plastiklint	Tallinn	232	8	1856	0,89258	1657	1657

Diiselmootorit kasutati laotõstukite ja veoauto, aga bensiini ettevõtte sõiduautode tarbeks. Kütusest tekkivate emissioonidega on lõpptulemuses arvestatud. Kütuse emissioonid arvutati keskkonnaministri määruse järgi (vt Tabel 5.2.3.4). Tegemist on kohmaka meetodiga, kus leidub mitmeid eksmisvõimalusi. Seepärast otsustas autor arvutada ka tekkivad emissioonid keemilise koostise järgi. Antud meetodika andis võrdluseks väga sarnase tulemuse, kuid arvutusmeetodika on oluliselt kiirem ja lihtsam. Kütusest tekkiv heitkogus jaotati toote mahu järgi.

Tabel 5.2.3.4 Emissioonid kütusest Arcwoodi näitel

Kütus	Maht (l)	Kaal (kg)	Kütteväärtus (MJ/kg)	Kütusekulu aastas (TJ)	Süsiniku eriheide (tC/TJ)	Süsiniku sisaldus (GgC)	CO ₂ heitkogus (kgCO ₂)	Võrdluseks (kgCO ₂)
Bensiin	9138	6854	46	0,3153	18,9	6	21629	21858
Diiselmootor	9542	7968	43	0,3426	20,2	7	25122	25191

Tehase kogutoodang on algandmetes antud mahu järgi, kuid emissioonide arvutamisel on võetud funktsionaalseks ühikuks kilogramm (vt Tabel 5.2.3.5). Pole teada palju täpselt toodeti melamiinliimiga ja palju polüuretaanliimiga liimpuitu, seepärast analüüsiti liimide mõju eraldi.

Tabel 5.2.3.5 Kogutoodang Arcwoodi näitel

Kogutoodang	Maht (m3)	Kaal (kg)
KVH konstruktsioonpuuit	12200	5673000
Liimpuit	5500	2337500

Emissioone kokku arvutades on näha, et melamiinliimiga toodetud liimpuidu tootmisel emiteerub rohkem CO₂ (vt Tabel 5.2.3.6). Põhjuseks on juba melamiinliimi tootmise käigus emiteerub rohkem heitgaase ja suurem liimikulu. Melamiinliimiga liimpuidu tootmisel tekib 501kg CO₂ ja polüuretaanliimiga 481kg CO₂ kilogrammi liimpuidu kohta. Võrdluseks võib tuua Saksamaa näite, kus on leitud, et CLT tootmisel tekkib 362g CO₂/kg kohta ja Itaalias 408g CO₂/kg kohta. Võib teha järelduse, et Arcwoodis toodetud puitmaterjali tootmisel tekib keskmisest rohkem CO₂ võrreldes nende Euroopa keskmiste andmetega. Seejuures sõltub võrdlus alati taustsüsteemist ja mõne teise allika andmetega võrreldes on tulemus kindlasti muutuv. Peamiseks põhjuseks võib pidada elektriemissioonitegurit, mis on keskmisest kaks korda suurem. Sama elektriemissioonitegurimõju on näha ka KVH (*sks Konstruktionsvollholz*) konstruktsioonpuuidu emissioonides.

Tabel 5.2.3.6 Emissioonide arvutuse lõpptulemus Arcwoodi näitel

Materjal	Elekter	Liim	Tooraine	Kütus	Transport	Liimi transport	Kokku (gCO ₂ /kg)
KVH sõrmjätkatud konstruktsioonpuuit	0,26932	0,00190	0,13430	0,00568	0,00905	0,00010	420
Liimpuit (melamiinliim)	0,29467	0,03771	0,14694	0,00621	0,00990	0,00508	501
Liimpuit (polüuretaanliim)	0,29467	0,01516	0,14694	0,00621	0,00990	0,00843	481

5.3. Tsemendibaasilised materjalid

Tsemenditootmise tulemusel eraldub umbes 5% kogu maailma CO₂ emisioonidest. Enamasti me ei taju, ega mõtle sellele, kui palju meid ümbritsevast keskkonnast on tegelikult seotud tsemendiga. Betooni üheks peamiseks koostisosaks on tsement ning betoonitoodang on teisel kohal maailmas vee järel. Keskmiselt toodetakse üle kolme tonni betooni ühe inimese kohta aastas. Tsemenditootmine kasvab keskmiselt 2,5% aastas ning

arvatakse, et aastaks 2050 on tsemendi tootmine jõudnud 3,7-4,4 miljardi tonnini aastas. (Rubenstein, 5.9.2012)

Eestis ületab aastane portlandtsemendi ja -klinkritoodang miljoni tonni piiri. (Raado, 2012)

Tsemendi tootmisel eraldub CO₂ emissioone nii otse atmosfääri, kui ka kaudselt. See tähendab, et lubja põletamise protsessis eraldub CO₂ otse, kuid kütuste põletamine tekitab kaudselt CO₂ emissioone.

Tsemendi tootmisest tekkivad emissioonid Eestis on võimalik leida Kunda Nordicu kodulehelt.

Lõputöö võrdluse osas on raudbetoelementide emissioonide arvutamisel kasutatud emissioonitegureid, mis on leitud erinevatest infoallikatest, mille kohta leiab infot järgmisest peatükist.

5.4. Emissioonitegurid EPD-st ja andmebaasidest

Üks keeruline ülesanne on alati valida õiget emissioonitegurit. Tihti peale võivad ühe ja sama materjali emissioonid erinevatelt tootjalt tehnoloogiliste erinevuste või asukohast tulenevatest põhjustest olla väga erinevad. Selles probleemis oleks ideaalne lahendus, kui kõikidel materjalidel oleks EPD-d. Selline riiklik nõue muudaks materjalitööstuse oluliselt läbipaistvamaks. Õnneks liikub areng suunas, kus vaikselt tootjate huvi kasvab. Uurimise käigus selgus, et näiteks keemiatööstuses Akzonobel on huvi suur ja peatselt on oodata ka tulemusi värvide emissioonide osas.

Autor pidas oluliseks tuua selgelt välja kõikide emissioonitegurite infoallikad koondtabelis. (vt Tabel 5.4) Võrdluse mõttes on väga oluline aru saada, milliseid tegureid kasutati ja täpsed need olla võisid just antud olukorra jaoks.

Tabel 5.4 Emissioonitegurid

Materjal	Infoallikas	Emissiooni tegur	Ühik	Seob õhust	Ühik
CEM I Portlandtsement, 94% klinker	Bath Uni	0,95	kg CO ₂ -Eq/kg	-	
Armatuurteras	Ecoinvent EPD	0,43	kg CO ₂ Eq/kg	-	
Kipsplaat Gyproc Normal 12,5mm	Ecoinvent EPD	2,65	kg CO ₂ Eq/m ²	-	
Tuletõkkekipsplaat Gyproc 15mm	Ecoinvent EPD	4,84	kg CO ₂ Eq/m ²	-	
Tuuletõkkekipsplaat Gyproc 9,5mm	Ecoinvent EPD	2,6	kg CO ₂ Eq/m ²	-	
Tsementkiudplaat	Bath Uni	1,09	kg CO ₂ Eq/kg	-	
Betoon üldiselt	Bath Uni	0,107	kg CO ₂ Eq/kg	-	
Mineralvill	Bath Uni	1,28	kg CO ₂ Eq/kg	-	
Tselluvill	Bath Uni	0,63	kg CO ₂ Eq/kg	-	
Erikuiv puitmaterjal - Soome	Eco2wood	0,108	kg CO ₂ Eq/kg	1,639	kg CO ₂ Eq/kg
Puitlaastplaat - EU	Eco2wood	0,409	kg CO ₂ Eq/kg	1,564	kg CO ₂ Eq/kg
Puitlaastplaat - Melamiinliimiga	Eco2wood	0,467	kg CO ₂ Eq/kg	1,527	kg CO ₂ Eq/kg
Puitkiud soojustus	Eco2wood	0,243	kg CO ₂ Eq/kg	1,24	kg CO ₂ Eq/kg
CLT - Saksa	Eco2wood	0,362	kg CO ₂ Eq/kg	1,611	kg CO ₂ Eq/kg
CLT - Itaalia	Eco2wood	0,408	kg CO ₂ Eq/kg	1,61	kg CO ₂ Eq/kg
Melamiin vaik	Bath Uni	4,19	kg CO ₂ Eq/kg	-	
Plastik	Bath Uni	3,31	kg CO ₂ Eq/kg	-	
Teras keskmiselt - maailmas, 39% taaskasutatud	Bath Uni	1,95	kg CO ₂ Eq/kg	-	
Polüuretaan	Bath Uni	3,76	kg CO ₂ Eq/kg	-	
Meretransport - Üldine last	2012 Defra	0,01315	kg CO ₂ Eq/vkm	-	

Tabel 5.4 Emissioonitegurid jätkub

Materjal	Infoallikas	Emissiooni tegur	Ühik	Seob õhust	Ühik
Diesel raskeveok liigendiga > 3.5-33t, (UK keskmine koormus) 44% massist koormatud	2013 Defra	0,89258	kg CO ₂ Eq/tkm	-	
Kipsplaat - EU	Eco2wood	1,967	kg CO ₂ Eq/kg	-	
Vineer - Soome	Eco2wood	0,718	kg CO ₂ Eq/kg	1,188	
Laminaatpõrand - EU	Eco2wood	0,75	kg CO ₂ Eq/kg	1,476	
Erikuivpuit - Saksa	Eco2wood	0,167	kg CO ₂ Eq/kg	1,636	
Klaasvill - EU	Eco2wood	3,148	kg CO ₂ Eq/kg	-	
Vahtpolüstüreen - EU	Eco2wood	3,300	kg CO ₂ Eq/kg	-	
Betoon 20/25 - EU	Eco2wood	0,121	kg CO ₂ Eq/kg	-	
Armeeritud betoon - EU	Eco2wood	0,511	kg CO ₂ Eq/kg	-	
Puit - Soome	Eco2wood	0,044	kg CO ₂ Eq/kg	1,184	
Metsatööstus	Oliver, 2010	0,080	kg CO ₂ Eq/kg	-	
Kergkruus	Greenspec	0,30	kg CO ₂ Eq/kg		
PVC	Greenspec	28,10	kg CO ₂ Eq/kg		
Gaas, CNG	Defra 2012	0,477	kg CO ₂ Eq/l	-	
Eesti elektrienergia	Ecometrica	1,9069070 35	kg CO ₂ Eq/kWh	-	
Kivivill	Greenspec	1,050	kg CO ₂ Eq/kg		
Kipsplaat Gyproc Normal 12,5mm - Soome	EPD	2,490	kg CO ₂ Eq/m ²		
2 kihti värvi	Bath Uni	0,87	kg CO ₂ Eq/m ²	-	

Lisaks EPD-dele ja muudele andmebaasidele on Bath Ülikool viinud läbi palju sellealaseid uurimusi, kuid täpset infot nende kohta on raske leida. Seejuures tõstab ülikooli seotus uuringuga autori jaoks infoallika kvaliteeditaset, sest erafirmadel võib olla suurem kalduvus infot näidata endale kasulikumas võtmes. Loomulikult tuleb alati suhtuda infosse kriitiliselt ja võrrelda erinevate infoallikate tulemusi usaldusväärseima leidmiseks.

Kõige kindlam saab olla siiski andmetes, mis on endal läbi arvatud ja mille kohta on teada, milliseid kitsendusi on tehtud. Alati on kitsendavaid asjaolusid, mis sõltuvad analüüsi eesmärgist, kuid oluliseks jääb siiki protsessi selgus.

Põhjalikumalt on uuritud, ning infot võimalik leida, Euroopa turu jaoks toodetud materjalide kohta. Üle 450 EPD 150-st riigist on registreeritud International EPD®

System`is. Otsingumootorit kasutades on võimalik leida kõiki registreeritud EPD-sid. EPD-dest saab infot võrdluseks ja osade vajalike imporditud materjalide CO₂ ekvivalent emissioonid gradle-to-gate põhimõttel. (EPD® System)

Andmeid on võimalik leida ka erinevatest väiksematest ja suurematest andmebaasidest. Eco2wood kalkulaatori andmed on vabavarast leitavad. Transpordi emissioonitegurid on võimalik leida Defra andmebaasist. Ecoinvent andmebaas on tasuline ja Gabi tarkvara samuti. Gabi kasutab Ecoinventi andmebaasi.

Gabi Educational tarkvara on võimalik tasuta kasutada, kui esitada avaldus koos koolipoolse kinnitusega ning tudengistaatust tõendav dokument, millele ligipääsu autor sai. Tarkvara kasutamiseks elutsükli hindamisel on vaja väga põhjalikke andmeid tootmisprotsessi kohta.

6. Raudbetoon- ja ristkihtliimpuitkonstruktsiooniga hoone analüüsi ülevaade

Analüüsitava objekt on kortermaja aadressiga Siili 8, Tartu. Hoone on seitsmekorruseline, lamekatuse ja liftiga kortermaja. Hoonet analüüsitakse kahe erineva konstruktsioonilahenduse variandina: Raudbetoonkonstruktsioonina ning puitkonstruktsioonina rajades. Autor on keskendunud antud töös puithoonele, mis on projekteeritud olemasoleva raudbetoonlahenduse järgi.

Võrreldakse kahe samaväärse kortermaja keskkonnamõju ja ehitusmaksumust. Olemasolev hoone on raudbetoonelementidest ning võrdluses analüüsib autor puidust hoonet, mille kandev konstruktsioon on ristkihtliimpuidust ning võimalikult palju on kasutatud ka muid puidupõhiseid materjale, kus nende positiivsed omadused välja tulevad. Oluline on, et kõiki materjale kasutatakse seal, kus nende parimad küljed välja tulevad. Seepärast otsustas autor ka puithoonel kasutada osaliselt raudbetooni, kus selle kasutamiseks on selged põhjused vastavalt ehitustehnilisele lahendusele .

Autor otsustas tekitada reaalsusele võimalikult lähedase olukorra, kus peamise tähtsusega puitmaterjalid on tellitud konkreetsetest tehastest. Eestis toodetakse CLT-d ja liimpuitu Peetri Puit OÜ-s ning lisaks sellele ka sõrmjätkatud konstruktsioonmaterjali. Peetri Puit OÜ oli nõus oma tehase andmeid jagama ja on sellega töö valmimisele olulisel määral kaasa aidanud. Lisaks on võrdluses kasutatud ka AS Toftan puitmaterjalide töötlemise andmeid. Ülejäänud materjalide emissioonitegurid on leitud erinevatest andmebaasidest. (vt Tabel 5.4)

Töö teiseks osaks on võetud eesmärk hinnata erinevate lahendustega hoonete rajamiskulusid. Raudbetoonhoone puhul on olemas tegelik eelarve, kuid CLT hoone tarvis on vaja koostada rajamise eelarve. Autor toetub eelarve koostamisel praktilistele kogemustele puitmaja tootja eelarvestajana, ning kasutab eelarves tegelikke turuhindasid. Eelarve koostatakse tehases elementide valmistamise ja ka objektil püstituse kohta. Mõlema võrreldava hoone puhul kasutatakse sama valmidusastet siseviimistluses.

Puitkonstruktsioonist tarindilahenduste arvestamisel lähtus autor Johannes Lindvere poolt sama hoone kohta koostatava lõputöö "Ristkihtpuidust 6- kordse hoone projekteerimine" dimensioneeritud konstruktsioonidest.

Suureks abiks olnud informatiivne Austria internetilehekülg dataholz.com, kust leiab palju erinevaid tarindilahendusi puithoonete jaoks, mille puhul on mürapidavust ja tuleohutust analüüsitud. (Austria)

6.1. Funktsionaalsed ühikud

Autor on valinud analüüsiks kaks põhilist funktsionaalset ühikut, millega uuringu tulemusi esitatakse. Majanduslike aspektide hindamiseks on funktsionaalseks ühikuks Euroopa Liidus käibel olev valuuta Euro (€) ja keskkonnamõju hindamiseks kasvuhooonegaas süsinikdioksiid (CO_2). Süsinikdioksiid on rahvusvaheliselt kasutuses olev kliima soojenemise potentsiaali (*GWP ingl Global Warming Potential*). GWP-d mõõdetakse kilogrammides CO_2e funktsionaalse ühiku kohta. Funktsionaalne ühik erineb vastavalt materjalile ja kättesaadavale infole.

Enamkasutatavad funktsionaalsed ühikud, mida antud töös arvutamisel kasutatakse on kg ja m^2 . Tulenevalt erinevatest arvutusmetoodikatest võivad süsinikdioksiid ja süsinikdioksiidi ekvivalentväärtus mõne materjali puhul erinevad olla, mistõttu on oluline algandmete valimisel alati viidata arvutusmetoodikale või andmete päritolule. Seejuures vajadusel kasutatakse süsinikdioksiid ekvivalenti (CO_2e). Süsinikdioksiidi ekvivalentväärtust kasutatakse kui on teada, et protsessi käigus tekib ka märkimisväärseel määral muid kasvuhooonegaase ja nende emiteeruv kogus on teada. Selliste gaaside mõju kliimasoojenemisele võib olla erinev võrreldes CO_2 -ga ja seetõttu korrutatakse neid kaaluteguriga, mis muudab mõju võrdväärseks CO_2 -ga. Antud gaasikoguste liitmisel saadakse CO_2e . Seejuures tuleb meeles pidada, et CO_2 moodustab kõigist kasvuhooonegaasidest peaaegu 90%.

7. Raudbetonelementidest olemasolev kortermaja

7.1. Üldkirjeldus

Analüüsitava hoone on seitsme maapealse korrusega monteeritavatest raudbetoonpostidest, taladest, õõnespaneelidest ning raudbetoonpaneelidest seintega lamekatusega ehitis. Hoonel vundamendilahenduseks on vaivundament. Kandvad seinad on monteeritavad raudbetoon-paneelid, 1k ja 2k vaheline vahelagi monoliitne raudbetoon. Ülejäänud vahelaed ja katuslae kandekonstruktsiooniks on õõnespaneelid. Välisseinad on kolmekihilised raudbetoonist välisseinapaneelid.

Hoone välisfassaadikatteks on viimistlemata betoon ja siberi lehis puitvooderdusena. Siberi lehist on töödeldud raudsulfaadiga. Hoone valmidusaste on väljast valmis, kuid seest valmis siseviistluseks. Siseviimistlust ei ole analüüsitud. Lisaks pole analüüsitud avatäiteid, kuna on eeldatud, et nende lahendus ei muutu. Samuti pole antud töös käsitletud rõdukonstruktsioone, kuna nende osakaal hoone materjalikulust võrreldes põhikonstruktsiooniga on väike.

Raudbetoonvälisseinte soojustuse moodustab 200mm kivivilla. Tarindi soojusjuhtivus $U=0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Katuslae soojustuseks on 300mm vahtpolüstüreeni ning tarindi soojusjuhtivus $U=0,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Korteritevahelised seinad ja trepikoja ning lifti šahtiga piirnevad seinad on raudbetoon paneel- ja kiviseinad, õhumüra isolatsiooniindeksiga 55dB.

Analüüsitud on ainult kandvaid tarindeid. Selle hoone analüüsist on välja jäetud kergseinad, mis asuvad ühe tuletõkketsooni sees ja väikeplokkidest šahtid. Projektis on korterite siseseinad viimistlusplaadiga kergkarkass-seinad, õhumüra isolatsiooniindeksiga 43dB. Vahelagi on raudbetoonõõnepaneelidest. (vt LISA 2)

Hoone suletud netopind on $2969,8\text{m}^2$. Lõpuks leitakse tulemused suletud netopinna kohta.

7.2. Raudbetoonlahenduse tuleohutus

- Hoone kasutusviis: I (muu kolme või enama korteriga elamu)
- Tulepüsimusklass: TP 1

TP1-klassi ehitise välissein peab üldjuhul vastama vähemalt klassile B-s1,d0. Soojusisolatsioon, mille tuletundlikkus on vahemikus C-s1,d0 klass – E-s2,d2 klass, tuleb

paigaldada nii, et tule levik mööda soojusisolatsiooni ning ühest tuletõkkesektsioonist teise ja ehitiselt teisele ehitisele oleks takistatud. (Valitsus, 1.10.2007)

- Eripõlemiskoormus kuni 600 MJ/m²
- Kandekonstruksioonid tehakse vastavalt nõudele vähemalt tulepüsivusega R60

Raudbetoonhoone tarindid on R120. (Puithoone tarindid on R60- R90.)

- Hoone on 7-korruseline, kõrgus 21,2m.

Ehitise osad jaotatakse tuletundlikkusega seonduvalt järgmiselt (Valitsus, 1.10.2007):

- 1) A1 – ehitise osa, mis ei ole tuletundlik;
- 2) A2 – ehitise osa, mis on tuletundlik, kusjuures tuletundlikkus väljendub eriti vähesel määral suitsu eraldumises;
- 3) B – ehitise osa, mis on tuletundlik, kusjuures tuletundlikkus väljendub süttivuses ja eriti vähesel määral suitsu eraldumises ning põlevaid tilku ega tükke ei esine;
- 4) C – ehitise osa, mis on tuletundlik, kusjuures tuletundlikkus väljendub vähesel määral suitsu eraldumises ja kiiresti kustuvates põlevates tilkades või tükkides;
- 5) D – ehitise osa, mis on tuletundlik, kusjuures tuletundlikkus väljendub tulekahjus (põlemisprotsessis) osalemise lubatavuses;
- 6) E – ehitise osa, mille osavõtt tulekahjust on tavapärane (lubatav);
- 7) F – ehitise osa, millega toimuv ei ole tulekahjus määratud;
- 8) s1 – ehitise osa, milles suitsu moodustumine (eraldumine) on eriti vähene;
- 9) s2 – ehitise osa, milles suitsu moodustumine on vähene;
- 10) s3 – ehitise osa, milles toimub suitsu moodustumine, mis ei täida s1 ega s2 nõudeid;
- 11) d0 – ehitise osa, milles põlevaid tilku või tükke ei esine;
- 12) d1 – ehitise osa, milles põlevad tilgad või tükid kustuvad kiiresti;
- 13) d2 – ehitise osa, milles põlevate tilkade või tükkide esinemine ei täida d0 ega d1 nõudeid.

1. korruse lahtise garaaži (60% seintest avatud välisõhule) tuletundlikkus: seinad ja lagi on B1-s1,d0. Mõlema võrreldava hoone puhul on keldrikorrus, mis on osaliselt maa sees ehk soklikorrus, raubetoonist A2FL-s1. Katusekate on klassist BROOF ehk on piiratud osalemine põlemisprotsessis. Sobivad Broof SBS, EPDM ja PVC tüüpi katusekatted..

Välisseina välispinna ja õhutuspiilu tuletundlikkus B-s1,d01 kuni 20% välisseina välispinnast D-s,d0.

Tuletundlikkus: seinad, lagi – D-s2,d2, põrandad – nõudeid ei ole

Trepikoja tuletundlikkus: seinad, trepikäigud, mademed, lagi – A2-s1,d0; põrandad – DFL-s1

Tehnohoolderuumide tuletundlikkus: seinad, lagi – B-s1,d0; põrand – DFL-s1

Tuletõkkeseksioonid moodustatakse korterite kaupa, lisaks on eraldi tuletõkkeseksioonid evakuatsioonitrepikoda, kommunikatsioonide šahtid, tehniline ruum, elektrijaotla ruum ja panipaigad.

Raudbetoonhoone kandvad konstruktsioonid on tulepüsivusega EI120. Nõue on, et piirded oleksid vähemalt EI60. Avatäited EI30, ehk pool konstruktsiooni nõutud tulepüsivusest. Võrdluses avatäiteid analüüsitud ei ole, sest mõlema hoone puhul arvestatakse samade avatäidetega.

Evakuatsiooniks on ettenähtud trepikoda, mis on omaette tuletõkkeseksioon kahe väljapääsuga 2. korrusel hoovi ja tänavale. 1.korruse avatud garaazist pääseb otse tänavale (kolmest küljest avatud). Hädaväljapääsuks on iga korteri juurde kuuluv rõdu.

8. Ristkihtliimpuithoone lahendus

Antud peatükis on toodud analüüsis kasutatud puitkonstruktsiooni tarindilahendused. Analüüsiti erinevate soojustusmaterjalidega tarindeid. Tarindite puhul jälgiti ka vastavust tuleohutuse ning mürapidavuse nõudetele.

8.1. Müra

Nõuded piirdetarindite mürapidavusele on sätestatud Eesti projekteerimismidetes "EPN 16.1 Ehitiste heliisolatsiooninõuded; kaitse müra eest." Antud normi järgi on kehtestatud, et korterite vahelise tarindi õhumürapidavus (R_w) peab olema vähemalt 55dB. Õhumürapidavus R_w näitab, kui palju helitugevusest tarind tõkestab. Mida suurem on number, seda müratõkestavam on tarind. (Eesti projekteerimismid, 1999)

Löögimürajuhtivus (L_{nw}) näitab kui tugev on tarindit läbinud heli tase naaberruumis, sammumüra puhul all asuvas ruumis. Mida väiksem on number, seda mürapidavam on tarind. Löögimürajuhtivus korteri elutubadest teise korteri peab olema alla 53 dB. (Eesti projekteerimismid, 1999)

8.2. Tuleohutus

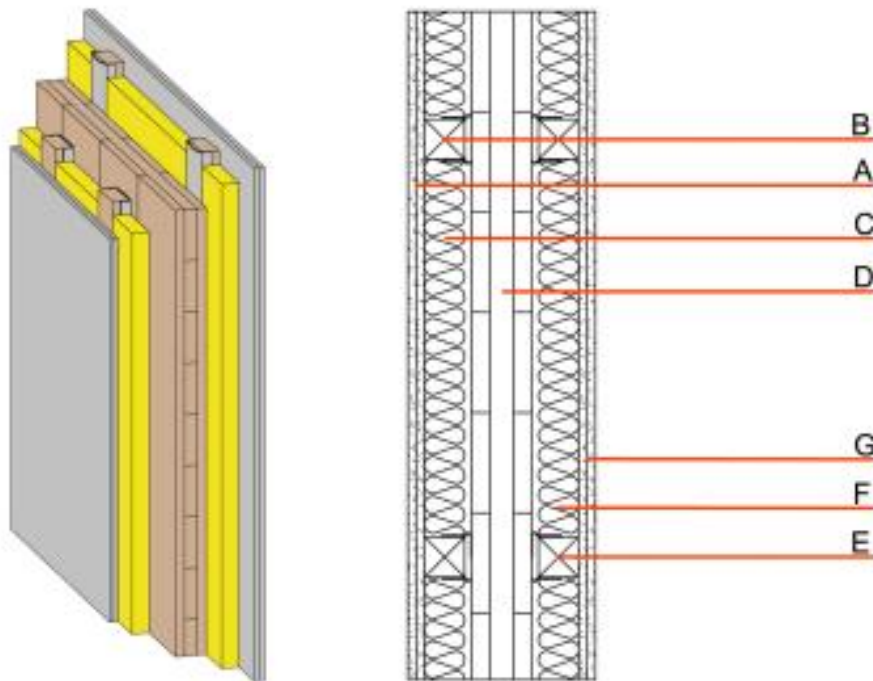
Hetkel Eestis kehtivad tuleohutusala seadusandlus ei võimalda autori poolt pakutud puitkonstruktsiooni lahendusega korterelamu ehitamist. Vastavad põhimõtted on alles väljatöötamisel. Seetõttu pidas autor tuleohutuse seisukohalt nõu päästeametiga, kust soovitati uuendusmeelselt lähtuda Skandinaavia praktikast. Lisaks suunati kasutama eestikeelset kirjandust, mis soovitusel auto ka arvesse võttis. Kirjanduse seisukohalt on võimalik ehitada ka kõrgemaid puithooneid. Autor lähtus "Tuleohutud puitmajad 3. versioonist", mis on Alar Just'i toimetatud eestikeelne Põhja- ja Baltimaade teadmisi koondav juhendmaterjal.

Tuletõkkekonstruktsioonide piirded analüüsis osaleval puithoonel tulepüsivusega REI60 ja REI90. Üldistes põhimõtetes lähtutakse peamiselt Norra praktikast, kus on võimalik ilma sprinklersüsteemita ehitada puidust kandva konstruktsiooniga enam, kui 5-kordseid hooneid. Lisaks on lubatud ka puitfassaad ning seda samuti ka enam, kui 5-kordsete hoonete puhul. (Alar Just, 2014)

8.3. Analüüsis kasutatavad tarindilahendused

Analüüsi osas kasutatakse lahendusi, mis on välja töötatud Austria puidu uurimise ühenduse (Österreichische Gesellschaft für Holzforschung - OEGH) poolt. Seejuures pakub autor alternatiivina välja ka puitkiudsoojustuse kasutamise tarindite sees, kus soojustus on kaitstud seest kipsiga ja väljast mineraalvilla plaadiga. Kuna tegemist on alternatiivlahendusega, siis puuduvad osaliselt tulepüsivuse ja mürapidavuse arvutused.

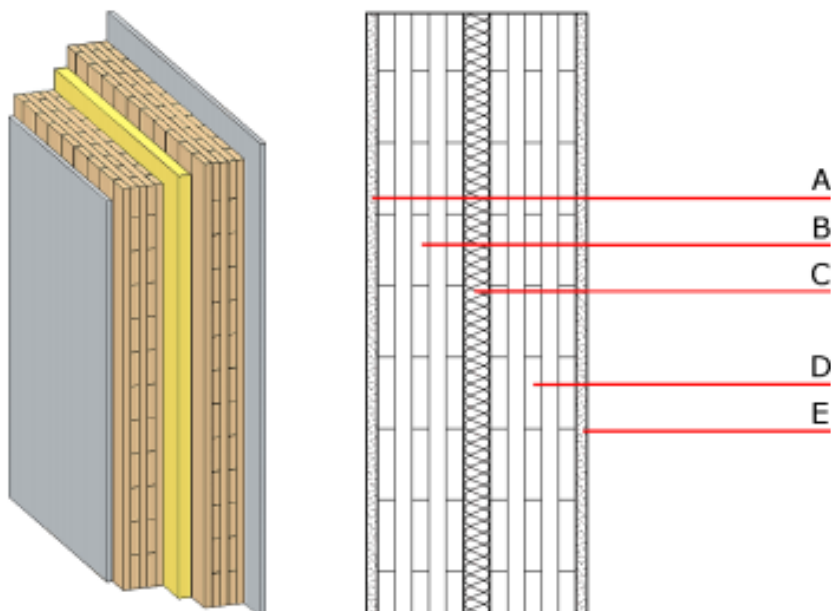
Koridoriseinad moodustavad omaette tuletõkkesektsiooni. Kuna koridor on üheks evakatsiooniteeks, lisaks rõdule, on pööratud erilist tähelepanu tulepüsivusele. (vt Joonis 8.3.1-2)



Joonis 8.3.1. Sisesein / Koridoriseinad

- A - Kipsplaat või kipskiudplaat 2x12,5mm
- B - Karkass 45x45mm / Akustiline profiil 25mm
- C - Mineraalvill 50mm (Puitkiud-isolatsioonimaterjal Steico flex 50mm)
- D - CLT 140mm
- E - Karkass 45x45mm / Akustiline profiil 25mm
- F - Mineraalvill 50mm (Puitkiud-isolatsioonimaterjal Steico flex 50mm)
- G - Kipsplaat või kipskiudplaat 2x12,5mm

Tulepüsivus: REI90 (võrreldaval hoonel EI120)
Õhumürapidavus: $R_w=68\text{dB}$ (võrreldaval hoonel $R_w=55\text{dB}$)

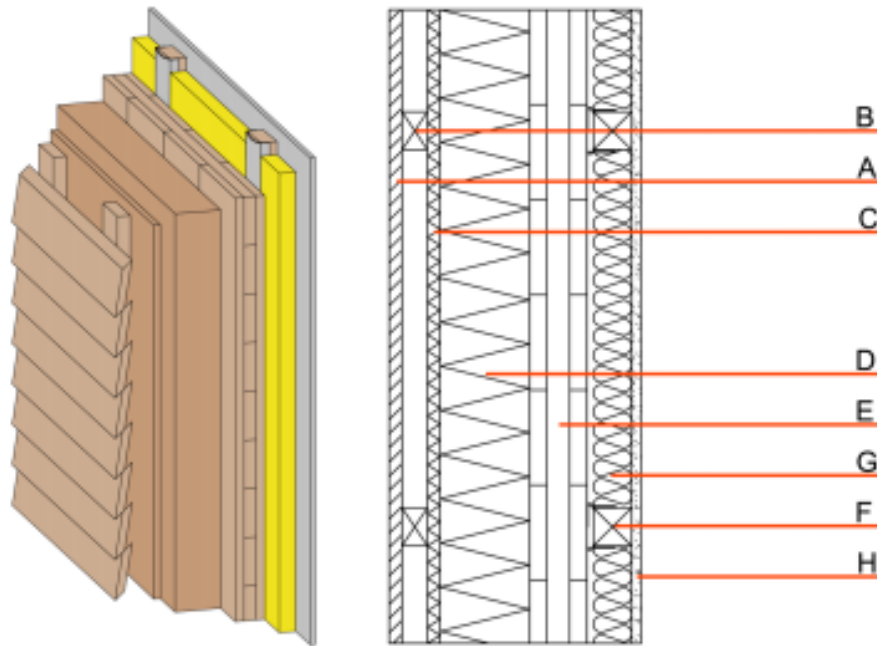


Joonis 8.3.2. Sisesein / Korterite vahelised

- A - Kipsplaat või kipskiudplaat 12,5mm
- B - CLT 78mm
- C - Jäik mineraalvillaplaat 30mm (Puitkiud-isolatsioonimaterjal Steico universal 30mm)
- D - CLT 78mm
- E - Kipsplaat või kipskiudplaat 12,5mm

Tulepüsivus: REI60 (võrreldaval hoonel EI120)
Õhumürapidavus: $R_w=56\text{dB}$ (võrreldaval hoonel $R_w=55\text{dB}$)

Välisseina puhul oli põhiliseks küsimuseks tuuletõkke kasutamine. Analüüsiti erinevaid lahendusi tulepüsivuse ja ehitusfüüsikaliste omaduste kohapealt. Ehitusfüüsikalise toimivuse jaoks kasutati U-wert.net internetileheküljel olevat kalkulaatorit. Lõpuks on prof. Targo Kalamehe soovitusel valitud tuuletõkkeks kivivillaplaat, mis täitis soovitud tingimusi. (vt Joonis 8.3.3)

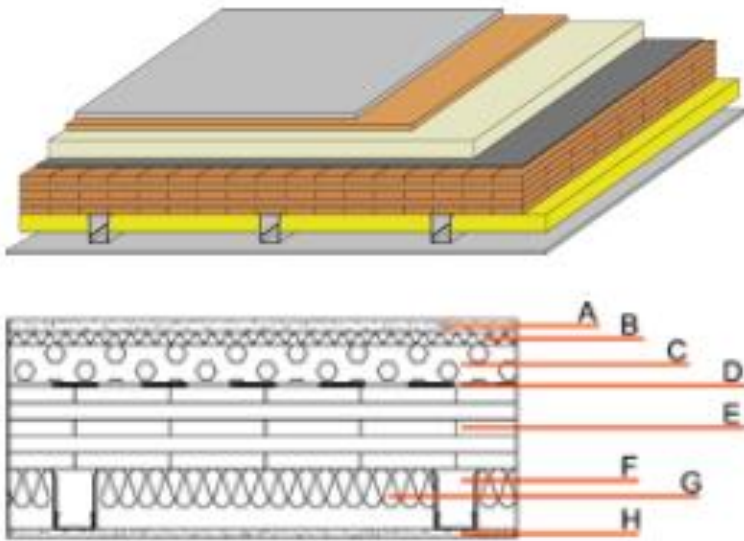


Joonis 8.3.3 Välissein

- A - Puitlaudis UYV 21x145mm (Tsementkiudplaat 8mm)
- B - Vertikaalne roov 21x45mm
- C - Tuuletõkke mineraalvillaplaat 30mm
- D - Mineraalvill 150mm / Karkass 45x145mm (Puitkiud-isolatsioonimaterjal $\lambda=0,038$ STEICO flex 140mm)
- E - CLT 100mm
- F - Karkass 45x45mm / Akustiline profiil 25mm
- G - Mineraalvill 50mm (Puitkiud-isolatsioonimaterjal $\lambda=0,038$ Steico flex 50mm)
- H - Kipsplaat RF või kipskiudplaat H 15mm

Tulepüsivus: REI60 (võrreldaval hoonel EI120)

Soojusjuhtivus: $U=0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ (võrreldaval hoonel $U=0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$)



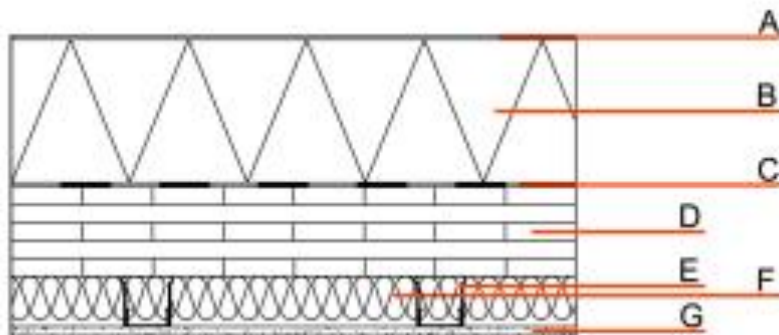
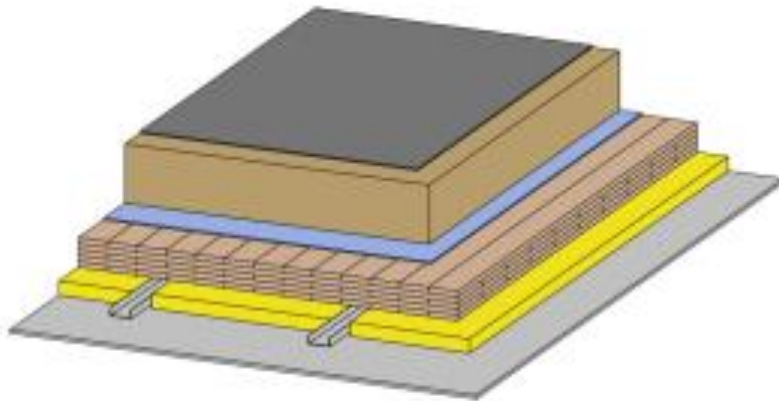
Joonis 8.3.4. Vahelagi

- A - Põranda kipsplaat 2x15mm
- B - Kõva mineraalvillaplaat 30mm (Puitkiudplaat $\lambda=0,047$ STEICO therm SD 30mm)
- C - Kergkruus 60mm
- D - Aurutõke
- E - CLT 240mm
- F - Helisummutuskarkass 95mm
- G - Mineraalvill 75mm (Puitkiud-isolatsioonimaterjal $\lambda=0,038$ Steico flex 80mm)
- H - Kipsplaat või kipskiudplaat 2x15mm

Tulepüsivus: REI90

Õhumürapidavus: $R_w=74\text{dB}$

Löögimürajuhtivus: $L_{nw}=47\text{dB}$



Joonis 8.3.5. Katus

A - SBS 2 kihti

B - Kõva mineraalvillaplaat 30mm ja

Puitkiud-isolatsioonimaterjal $\lambda=0,038$ Steico isorel plus 200mm

C - Aurutõke

D - CLT 240mm

E - Helisummutuskarkass 66mm

F - Mineraalvill 60mm (Puitkiud-isolatsioonimaterjal Steico flex 60mm)

G - Tuletõkke kipsplaat 15mm

Tulepüsivus: REI60

Soojusjuhtivus: $U=0,14$ W/(m² K)

Lisaks on puithoonel kasutatud osaliselt raudbetooni. Nende elementide ja betoonvalu emissioonid on arvatatud raudbetooni osas ja analüüsimisel kasutatud ka puitlahenduse jaoks.

9. CO₂ emissioonid raudbetoonhoonel

Emissioonide arvutamisel on kitsendava asjaoluna välja jäetud tehases elementide kokkupanemisel tekkivad emissioonid. Puitelementide jaoks on autoril info olemas, kuid raudbetoonelementide kohta vastavat infot saada ei õnnestunud. Seepärast jäeti analüüsis kõrvale ka puitelementide kokkupanemisest tekkivad emissioonid ja keskenduti ainult materjalist tulenevatele emissioonidele.

Monteeritavate elementide spetsifikatsiooni järgi on arvutatud materjalikulu. Emissioonide arvutamisel on betooni, armatuuri ja kivivilla funktsionaalseks ühikuks kilogramm. Betooni kaal oli lihtsalt summeeritav spetsifikatsioonist. Sarruse puhul tuli leida armatuuri kogus meetrites ja vastavalt kg/m teguriga läbi korrutades saada mass.

Armatuuri arvutuses kasutatud tegurid (Armatuurvardad):

$$d_6=0,222\text{kg/m}$$

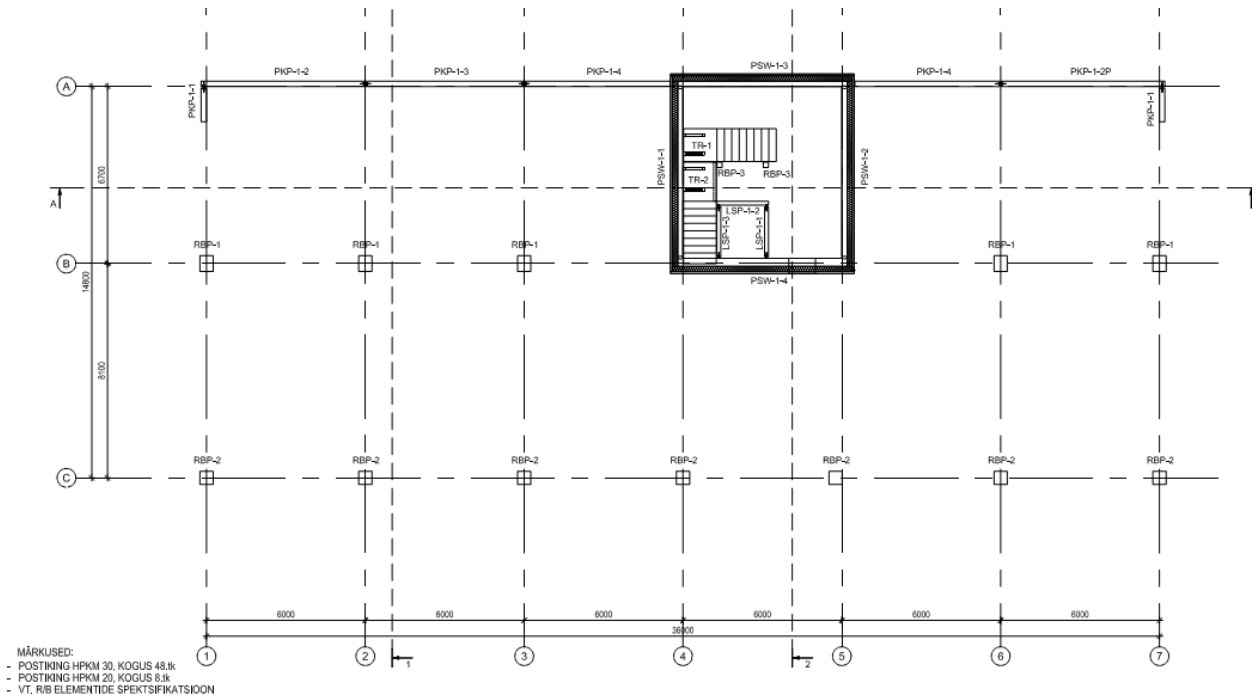
$$d_8=0,395\text{kg/m}$$

$$d_{10}=0,617\text{kg/m}$$

9.1. Elementide ja lisamaterjali analüüs

Esimene korrus on ühe- ja kolmekihilistest raudbetoonpaneelidest nii raudbetoonhoonel, kui ka puithoonel. (vt LISA 1.) Lisaks tuleb materjalide analüüsi osas liita juurde kohapeal valatud esimese korruse vahelae emissioonid ning hiljem ka maksumus. (vt LISA 2.) Analüüsis on lähtutud raudbetoonelementide spetsifikatsioonist.

Esimene korrus on mõlemal hoonel analüüsis samasugune. (vt Joonis 9.1) Seepärast on järgnevalt võimalik näha esimese korruse postide ja paneelide jaotust. Lisaks on samasugune mõlemal variandil ka liftišaht.



Joonis 9.1 1. korruse raudbetoonelemendid

Kõigepealt toob autor välja raudbetoonelemendid, mis on mõlema hoone puhul samasugused. Elemendid lisati analüüsi hoone kompleksuse tõttu. (vt Tabel 9.1.1-2.)

Tabel 9.1.1 Ühekihilised paneelid / 1. korrus

Tähis	Kogus (tk)	Mõõtmed				Betooni kaal (kg)	Põhiarmeeering	
		H	L	b	Maht (m ³)		m	kg
PKP-1-1	2	2910	1280	200	0,7	3724,8	2x#8/150/150 A500H	
PKP-1-2	1	2910	6170	200	3,6	8977,4	2x#8/150/150 A500H	
PKP-1-3	1	2910	5940	200	3,5	8642,7	2x#8/150/150 A500H	
PKP-1-4	1	2910	5480	200	3,2	7973,4	2x#8/150/150 A500H	
PKP-1-2P	1	2910	6170	200	3,6	8977,4	2x#8/150/150 A500H	
Kokku	6					38295,6	1021,2	403,4

Tabel 9.1.2 Kolmekihilised paneelid / 1. korrus

Tähis	Kogus (tk)	Väliskoor				Põhiarmeering	
		H	L	b	Maht (m ³)	Väliskoor	
						m	kg
PSW-1-1	1	2340	7280	70	1,2	1x#6/150/150 A500H	
PSW-1-2	1	2340	7280	70	1,2	1x#6/150/150 A500H	
PSW-1-3	1	2810	6940	70	1,4	1x#6/150/150 A500H	
PSW-1-4	1	1830	6940	70	0,9	1x#6/150/150 A500H	
Kokku	4					441,8	98,1
Tähis	Kogus (tk)	Sisekoor				Põhiarmeering	
		H	L	b	Maht (m ³)	Sisekoor	
						m	kg
PSW-1-1	1	2910	6380	200	3,7	2x#8/150/150 A500H	
PSW-1-2	1	2910	6380	200	3,7	2x#8/150/150 A500H	
PSW-1-3	1	2910	6400	200	3,7	2x#8/150/150 A500H	
PSW-1-4	1	2380	6400	300	4,6	2x#8/150/150 A500H	
Kokku	4					946,5	373,9
Tähis	L	Maht (m ³)	Betooni maht (m ³)	Betooni kaal (kg)	Detailid		
					VS-80		
PSW-1-1		0,0	4,9	12264,1	8		
PSW-1-2		0,0	4,9	12264,1	8		
PSW-1-3		0,0	5,1	12724,7	8		
PSW-1-4	1000	0,6	4,9	12229,0	8		
Kokku			19,8	49481,9			

Mõlema hoone puhul kasutatavad esimese korruse postid.(vt Tabel 9.1.3)

Tabel 9.1.3 Postid

Tähis	Kogus (tk)	H (mm)	b ₁ (mm)	b ₂ (mm)	Betooni kaal (kg)	Detailid	
						HPKM 30 (kg)	HPKM 20 (kg)
RBP-1	5	2350	500	600	1762,50	20	
RBP-2	7	2500	500	500	1562,50	28	
RBP-3	2	2880	200	200	288,00	-	8
Kokku					3613,0	595,2	107,2

Järgnevalt on toodud välja liftišahtiseinaelemendid, mis samuti samasugused mõlema hoone puhul. (vt Tabel 9.1.4) Puithoonel on liftišaht otsustatud teha samuti raudbetoonist tuleohutuse ja jäigastuse pärast.

Tabel 9.1.4 Ühelihilised paneelid / Liftišahtipaneelid

Tähis	Kogus (tk)	Mõõtmed				Betooni kaal (kg)
		H	L	b	Maht (m ³)	
LSP-1-2	1	2890	1950	150	0,8	695,8
LSP-1-3	1	2890	1890	150	0,8	2048,3
LSP-2-1	1	2860	1890	150	0,8	2027,0
LSP-2-2	1	2860	1950	150	0,8	2091,4
LSP-2-3	1	2860	1890	150	0,8	2027,0
LSP-3-1	4	2960	1890	150	0,8	2097,9
LSP-3-2	4	2960	1950	150	0,9	2164,5
LSP-3-3	4	2960	1890	150	0,8	2097,9
LSP-7-1	1	2700	1890	150	0,8	1913,6
LSP-7-2	1	2700	1950	150	0,8	1974,4
LSP-7-3	1	2700	1890	150	0,8	1913,6
Kokku	21					21053,5

Tähis	VS-80	Põhiarmeering	
		m	kg
LSP-1-1	8	2x#6/150/150 A500H	
LSP-1-2	8	2x#6/150/150 A500H	
LSP-1-3	8	2x#6/150/150 A500H	
LSP-2-1	8	2x#6/150/150 A500H	
LSP-2-2	8	2x#6/150/150 A500H	
LSP-2-3	8	2x#6/150/150 A500H	
LSP-3-1	8	2x#6/150/150 A500H	
LSP-3-2	8	2x#6/150/150 A500H	
LSP-3-3	8	2x#6/150/150 A500H	
LSP-7-1	8	2x#6/150/150 A500H	
LSP-7-2	8	2x#6/150/150 A500H	
LSP-7-3	8	2x#6/150/150 A500H	
Kokku		1550,2	344,1

Siseseinapaneelid, mis on tuletõkketsooniks ning samas ka toetuvad nendele seintele vahelaepaneelid. Koridori seinapaneelid on ühekihilised ja koos ukseavadega. (vt Tabel 9.1.5-6) Tegemist on koridoriseintega, mille jaoks on eraldi lahendus ka puithoonel.

Tabel 9.1.5 Ühekihilised paneelid / Kandvad siseseinad

Tähis	Kogus (tk)	Mõõtmed				Betooni kaal (kg)
		H	L	b	Maht (m ³)	
SSP-2-1	2	5910	2595	200	3,1	15336,5
SSP-2-2	1	5940	2595	200	3,1	6289,7
SSP-2-3	1	5970	2595	200	3,1	6328,6
SSP-2-4	1	1950	2595	200	1,0	1183,5
SSP-2-5	1	5970	2595	200	3,1	6328,6
SSP-3-1	8	5910	2695	200	3,2	63709,8
SSP-3-2	4	5940	2695	200	3,2	26346,6
SSP-3-3	4	5970	2695	200	3,2	26508,3
SSP-3-4	4	1950	2695	200	1,1	4840,5
SSP-3-5	4	7460	2695	200	4,0	34539,4
SSP-7-1	2	5910	2695	200	3,2	15927,5
SSP-7-2	1	5940	2695	200	3,2	6586,7
SSP-7-3	1	5970	2695	200	3,2	6627,1
SSP-7-4	1	1950	2695	200	1,1	1281,0
SSP-7-5	1	7460	2695	200	4,0	8634,9
Kokku						230468,4

Tähis	VS-80	Põhiarmeering	
		m	kg
SSP-2-1	8	2x#8/150/150 A500H	
SSP-2-2	8	2x#8/150/150 A500H	
SSP-2-3	8	2x#8/150/150 A500H	
SSP-2-4	8	2x#8/150/150 A500H	
SSP-2-5	8	2x#8/150/150 A500H	
SSP-3-1	8	2x#8/150/150 A500H	
SSP-3-2	8	2x#8/150/150 A500H	
SSP-3-3	8	2x#8/150/150 A500H	
SSP-3-4	12	2x#8/150/150 A500H	
SSP-3-5	8	2x#8/150/150 A500H	
SSP-7-1	8	2x#8/150/150 A500H	
SSP-7-2	8	2x#8/150/150 A500H	
SSP-7-3	8	2x#8/150/150 A500H	
SSP-7-4	12	2x#8/150/150 A500H	
SSP-7-5		2x#8/150/150 A500H	
Kokku		7049,2	2784,5

Tabel 9.1.6 Ühekihilised paneelid / Kandvad siseseinad

Tähis	Kogus (tk)	Mõõtmed				Betooni kaal (kg)
		H	L	b	Maht (m ³)	
KVP-2-1	6	6380	2595	200	3,3	8278,1
KVP-2-2	1	5970	2595	200	3,1	6328,6
KVP-2-3	1	5940	2595	200	3,1	6289,7
KVP-2-4	1	3200	2595	200	1,7	2734,5
KVP-2-5	1	6600	2595	200	3,4	7146,0
KVP-3-1	21	6380	2695	200	3,4	8597,1
KVP-3-2	4	5970	2695	200	3,2	2374,6
KVP-3-3	4	5940	2695	200	3,2	6586,7
KVP-3-4	4	6420	2695	200	3,5	7233,5
KVP-3-5	4	6090	2695	200	3,3	6788,8
KVP-4-1	1	5970	2695	200	3,2	6627,1
KVP-7-1	2	6380	2695	200	3,4	8597,1
KVP-7-2	1	5970	2695	200	3,2	6627,1
KVP-7-3	1	5940	2695	200	3,2	6586,7
KVP-7-4	1	6420	2695	200	3,5	7233,5
KVP-7-5	1	6090	2695	200	3,3	6788,8
Kokku	0					104817,4

Tähis	VS-80	Põhiarmeering	
		m	kg
KVP-2-1	8	2x#6/150/150 A500H	
KVP-2-2	8	2x#6/150/150 A500H	
KVP-2-3	8	2x#6/150/150 A500H	
KVP-2-4	8	2x#6/150/150 A500H	
KVP-2-5	8	2x#6/150/150 A500H	
KVP-3-1	8	2x#6/150/150 A500H	
KVP-3-2	8	2x#6/150/150 A500H	
KVP-3-3	8	2x#6/150/150 A500H	
KVP-3-4	8	2x#6/150/150 A500H	
KVP-3-5	8	2x#6/150/150 A500H	
KVP-4-1	8	2x#6/150/150 A500H	
KVP-7-1	8	2x#6/150/150 A500H	
KVP-7-2	8	2x#6/150/150 A500H	
KVP-7-3	8	2x#6/150/150 A500H	
KVP-7-4	8	2x#6/150/150 A500H	
KVP-7-5	8	2x#6/150/150 A500H	
Kokku		11950,5	2653,0

Raudbetoonhoonel on trepikojaseinad eraldi elemenditüübina. (vt Tabel 9.1.7) Seejuures puitmajal on neid käsitletud, kui koridoriseinu.

Tabel 9.1.7 Trepikojaseinapaneelid

Tähis	Kogus (tk)	Mõõtmed				Betooni kaal (kg)	Põhiarmeeering	
		H	L	b	Maht (m ³)		m	kg
TRP-2-1	1	2595	1950	200	1,0	2530,1	2x#8/150/150 A500H	
TRP-2-2	1	2880	6380	200	3,7	9187,2	2x#8/150/150 A500H	
TRS-2-1	1	400	1680	200	0,1	336,0	2x#8/150/150 A500H	
TRS-2-2	1	400	3170	200	0,3	634,0	2x#8/150/150 A500H	
TRP-3-1	4	2695	3580	200	1,9	4824,1	2x#8/150/150 A500H	
TRP-3-2	4	2695	4390	200	2,4	5915,5	2x#8/150/150 A500H	
TRP-3-3	4	2980	6380	200	3,8	9506,2	2x#8/150/150 A500H	
TRP-7-1	1	2695	3580	200	1,9	4824,1	2x#8/150/150 A500H	
TRP-7-2	1	2695	4390	200	2,4	5915,5	2x#8/150/150 A500H	
TRP-7-3	1	2980	6380	200	3,8	9506,2	2x#8/150/150 A500H	
Kokku	19					53178,9	3037,8	1199,9

Edasi on analüüsitud välisseinaelemente, millest on välja jäetud rõdude elemendid. (vt Tabel 9.1.8 ja 9.1.9) Rõdusid analüüsitud ei ole, sest tegemist pole olulise kandva konstruktsioonelemendiga, millele analüüs keskendub. Rõdude mõju on võrreldes ülejäänud elementidega väike.

Tabel 9.1.8 Kolmekihilised paneelid telgedel 1 ja 7

Tähis	Kogus (tk)	Sisekoor		Väliskoor		Betooni kaal (kg)	Põhiarmeeering	
		H	L	H	L		Sisekoor	Väliskoor
								(kg)
SV-2-1	1	5980	2880			3264,2	2x#8/150/150 A500H	
SV-2-2	1	2794	2880			2816,4	2x#8/150/150 A500H	
SV-2-3	1	5786	2880			3068,4	2x#8/150/150 A500H	
SV-2-4	1	6380	2880	7000	3315	6301,2	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-2-5	1	4570	775	4170	825	1841,7	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-2-6	1	6170	775	5770	825	2506,7	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-2-7	1	7980	2880	8600	3315	7253,2	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-3-1	1	7980	2980	8600	3315	7532,5	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-3-2	1	6170	775	5770	825	2506,7	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-3-3	1	4570	775	4170	825	1841,7	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-3-4	1	6380	2980	7000	3315	6524,5	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-3-5	1	5780	2980			6028,5	2x#8/150/150 A500H	

Tabel 9.1.9 Kolmekihilised paneelid telgedel 1 ja 7 jätkub

Tähis	Kogus (tk)	Sisekoor		Väliskoor		Betooni kaal (kg)	Põhiarmeeing	
		H	L	H	L		Sisekoor	Väliskoor
							(kg)	(kg)
SV-3-6	1	2800	2980			2920,4	2x#8/150/150 A500H	
SV-3-7	1	5980	2980			6237,1	2x#8/150/150 A500H	
SV-4-1	1	6980	2980			4401,3	2x#8/150/150 A500H	
SV-4-2	1	2400	2980			2503,2	2x#8/150/150 A500H	
SV-4-3	1	5180	2980			2524,0	2x#8/150/150 A500H	
SV-4-4	1	6380	2980	7000	3315	6512,9	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-4-5	1	4570	780	4170	830	1853,3	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-4-6	1	6170	780	5770	830	2522,5	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-4-7	1	7980	2980	8600	3315	7516,7	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-5-1	1	7980	2980	8600	3315	7516,7	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-5-2	1	6170	780	5770	830	2522,5	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-5-3	1	4570	780	4170	830	1853,3	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-5-4	1	6380	2980	7000	3315	6512,9	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-5-5	1	5180	2980			2524,0	2x#8/150/150 A500H	
SV-5-6	1	2400	2980			2503,2	2x#8/150/150 A500H	
SV-5-7	1	6980	2980			4401,3	2x#8/150/150 A500H	
SV-6-1	1	5980	2980			3358,3	2x#8/150/150 A500H	
SV-6-2	1	2800	2980			2920,4	2x#8/150/150 A500H	
SV-6-3	1	5780	2980			3149,8	2x#8/150/150 A500H	
SV-6-4	1	6380	2980	7000	3315	6512,9	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-6-5	1	4570	780	4170	830	1853,3	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-6-6	1	6170	780	5770	830	2522,5	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-6-7	1	7980	2980	8600	3315	7516,7	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-7-1	1	7980	2980	8600	3765	7753,8	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-7-2	1	6170	775	5770	1275	2961,0	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-7-3	1	4570	775	4170	1275	2170,0	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-7-4	1	6380	2980	7000	3765	6745,8	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SV-7-5	1	5786	2980			3155,7	2x#8/150/150 A500H	
SV-7-6	1	2794	2980			2914,5	2x#8/150/150 A500H	
SV-7-7	1	5980	2980			3358,3	2x#8/150/150 A500H	
Kokku	42					173203,9	2972,0	549,3

Tabel 9.1.10 Kolmekihilised paneelid telgedel A ja C

Tähis	Kogus (tk)	Sisekoor		Väliskoor		Betooni kaal (kg)	Põhiarmeeing	
		H	L	H	L		Sisekoor	Väliskoor
							(kg)	(kg)
SW-1	4	2695	3380	2780	1490	2278,5	2x#8/150/150 A500H	1x#6/150/150 A500H
SW-2	3	2695	3440	2780	1490	2284,8	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-3	3	2695	4380	2780	1380	2623,4	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-4	3	2695	4860			2404,7	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-5	3	2595	4370			2041,3	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-6	2	2695	3940			1537,0	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-7	2	2695	4380	2780	800	2341,2	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-8	3	2695	1880	2780	2600	3038,2	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-9	2	2695	3050	2780	800	1581,2	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-10	2	2695	4880	2780	800	2812,8	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-11	2	2695	2190			1059,8	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-12	2	2695	3440			2238,9	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-13	2	2695	4060			1734,0	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-14	2	2695	3360			989,9	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-15	2	2695	6360	2780	1690	3635,9	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-16	1	2695	6040	2780	800	4074,6	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-17	1	2695	2780	2780	3500	4325,0	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-18	1	2695	2420	2780	3140	3810,3	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-19	1	2595	3680	2780	2200	4412,7	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-20	1	2595	5640			4158,6	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-21	1	2595	4240	2780	800	2232,1	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-22	1	2695	3980	2780	700	1915,2	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-23	1	2695	3940	2780	800	3099,7	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-24	1	2695	4740	2780	800	3854,3	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-25	1	2695	4860	2780	800	2793,9	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-26	1	2695	5600	2780	800	3659,6	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-27	1	2695	2600			1446,6	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-28	1	2695	3640	2780	800	1643,2	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-29	1	2695	4180	2780	800	3326,1	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-30	1	2695	4000			1677,4	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-31	1	2695	1900			1792,2	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-32	1	2695	5080	2780	3190	4709,1	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-33	1	2695	4090	2780	1790	3722,8	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-34	1	2695	3740	2780	1900	3446,2	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-35	1	2695	3810	2780	800	1887,4	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-36	1	2695	5490	2780	2260	4098,5	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-37	1	2695	4580			2308,3	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-38	1	2695	3580	2780	2000	3343,9	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-39	1	2595	5860			2270,0	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-40	1	2595	5540	2780	800	2368,6	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-41	1	2595	2960	2780	800	3077,6	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-42	1	2695	4560	2780	800	2511,0	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H

Tabel 9.1.10 Kolmekihilised paneelid telgedel A ja C jütukub

Tähis	Kogus (tk)	Sisekoor		Väliskoor		Betooni kaal (kg)	Põhiarmeeing	
		H	L	H	L		Sisekoor	Väliskoor
							(kg)	(kg)
SW-43	1	2695	3460	2695	800	2635,0	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-44	1	2695	5160	2880	1600	3494,1	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-45	1	2695	3850			1535,9	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-46	1	2695	3030	2980	3751	4814,2	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-47	1	2695	5600			3270,4	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-48	1	2695	3800	2780	1260	2017,9	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-49	1	2695	4250	1700	2680	2626,7	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-50	1	2695	2507	2980	800	1776,0	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-51	1	2695	5100	2980	800	3216,0	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-53	1	2695	5850	2880	1600	3139,1	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-54	1	2695	6170	2780	1370	4390,7	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-55	1	2695	6100	2780	1850	4642,1	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-56	1	2695	4540	2980	2000	3145,9	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-57	1	2695	6200	2780	800	4057,9	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-58	1	2695	4260			1838,8	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-59	1	2695	2930	2980	1790	2691,3	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-60	1	2695	6430	2980	1850	4934,2	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-61	1	2695	5100			2798,8	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-62	1	2695	5160	2695	800	3065,0	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-63	2	2695	4340			1914,3	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-64	1	2695	5040	2780	800	1790,2	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-65	1	2695	6320	2880	1600	4588,3	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-66	1	2695	5150	2780	800	1893,9	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-67	1	2595	5620	2735	1160	3571,1	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-68	1	2595	3480	2735	1490	2307,5	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-69	1	1484	3480	2735	1490	906,1	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-70	1	2595	4480	2735	1340	2621,9	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-71	1	2595	4370			2041,3	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-72	1	2595	3980			1526,4	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-73	1	2595	4350			1725,9	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-74	1	2595	2780	2935	3500	4322,6	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-75	1	2595	2480			2252,5	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
SW-76	1	2695	5640	2880	1960	4128,3	2x#8/150/150 A500H	2x#8/150/150 A500H
Kokku						210246,4	5766,2	1383,4

9.2. Emissioonid

Emissioonide arvutamiseks on kasutatud valemit:

$$\text{Emissioon} = \text{Materjalikogus} \times \text{Emissioonitegur}$$

Kokkuvõtvalt on välja toodud raudbetoonelementide armatuuri ja betooni mass ning nendest materjalidest tingitud emissioonid (vt Tabel 9.2.1). Armatuurist, betoonist ja teraskonstruksioonidest tekkis kokku 135990 kg CO₂e.

Tabel 9.2.1 Emissioonid armatuurist, betoonist ja metallkonstruktsioonidest

Tüüp	Materjal	Mass (kg)	Emissioonitegur (kg CO ₂ e/kg)	Emissioonihulk (kg CO ₂ e)
PKP 1k paneel *	Betoon	38295,6	0,107	4097,6
	Armatuur	403,4	1,950	786,6
PSW 1k paneel *	Betoon	49481,9	0,107	5294,6
	Armatuur	98,1	1,950	191,3
		373,9	1,950	729,1
RBP 1k postid *	Betoon	3613,0	0,107	386,6
	HPKM 30	595,2	1,950	1160,6
	HPKM 20	107,2	1,950	209,0
LSP Liftišahtid *	Betoon	21053,5	0,107	2252,7
	Armatuur	344,1	1,950	671,0
SSP Siseseinapaneel	Betoon	230468,4	0,107	24660,1
	Armatuur	2784,5	1,950	5429,8
KVP Siseseinapaneel	Betoon	104817,4	0,107	11215,5
	Armatuur	2653,0	1,950	5173,4
TRP Trepikoda	Betoon	53178,9	0,107	5690,1
	Armatuur	1199,9	1,950	2339,8
SV Välissein teljel 1 ja 7	Betoon	173203,9	0,107	18532,8
	Armatuur	2972,0	1,950	5795,4
		549,5	1,950	1071,5
SW Välissein teljel A ja C	Betoon	210246,4	0,107	22496,4
	Armatuur	5766,2	1,950	11244,1
		1383,4	1,950	2697,6
Vekseltalad	Teras	1981,8	1,950	3864,5
Kokku				135990,2

* Tärniga märgitud elemendid on kasutusel ka puithoonel.

Kolmekihiliste elementide sees on 200mm mineraalvilla, mis on vaja juurde arvestada. Laudisega fassaadi osas tuleb platsitööna paigaldada tuuletõke, roovitus ja laudfassaad.

1.korrusel on kasutatud soojustuseks vahtpolüstüreeni. Nende lisamaterjalide emissioonid tuleb liita konstruktsioonelementide emissioonidega. (vt Tabel 9.2.2)

Tabel 9.2.2 Emissioonid raudbetoonpaneelide lisamaterjalidest

Tarind	Materjal	Mõõt (mm)	Kaal (kg)	Emissioonitegur (kgCO ₂ e/kg või m ²)	Emissiooni-hulk (kg CO ₂ e)	Kokku (kg CO ₂ e)	Kokku lisa /m ²	Seob õhust (kg CO ₂ /F Ü)	Seob õhust (kg CO ₂)
Välissein (laudis)	Kivivill paneelis	200	3511	1,28	4494,80	5675,22	9,7		
	Tuuletõkkekips	95		2,6	1072,94				
	Vertikaalne roov	21x45	1423	0,018	25,62			1,639	2332,76
	Horisontaalne laudis	21x145	4548	0,018	81,87			1,639	7454,44
1k PSW	Vahtpolüstüreen	200	198	3,3	656,07	656,07	9,9		
1, 7, A ja C	Kivivill paneelis	200	2476	1,28	3169,31	3169,31	7,68		
Kokku					9500,6	9500,6			9787,2

Paneelides on kasutatud soojustuseks 200mm kivivilla, mis teeb tarindi soojusjuhtivusuks 0,18W/(m² °C). Erinevate tarindite emissioonid tarindi ruutmeetri kohta varieeruvad suures vahemikus. (vt Tabel 9.2.3)

Tabel 9.2.3 Vahelagede, katuse ja põranda emissioonid tarindi m² kohta

Tarind	Materjal	Mõõt	Maht (m ³)	Mass (kg)	Emissiooni- tegur kg CO ₂ e/kg	Kokku (kg CO ₂ /m ²)	
1k vahelagi *	Vahtplüstüreen	200mm	0,2	3,0	3,3	9,90	468
	Raudbetoonplaat	320mm	0,32	896,0	0,511	457,86	
	Vuugirauad	d10		0,5	0,430	0,21	
2-6k vahelagi	Armatuur	#6/150mm		2,9	0,430	1,24	234
	Betoon	60mm		150,0	0,107	16,05	
	Ehituskile	2x0,0002	0,0004	0,5	28,1	15,29	
	Jäik mineraalvilaplaat	40mm	0,04	5,6	1,28	7,17	
	Õõnespaneel	265mm		380	0,511	194,18	
Katus	SBS	2x			0,066	0,07	217
	Jäik mineraalvillaplaat	30mm	0,03	4,2	1,28	5,38	
	Vahtpolüstüreen	300mm+0...	0,35	5,3	3,3	17,33	
	Õõnespaneel	265mm		380,0	0,511	194,18	
	Betoon	120mm		300,0	0,107	32,10	
Trepikojapõrand *	Hüdroisolatsioon		0,0002	0,0	28,1	0,79	38
	Vahtpolüstüreen	100mm	0,1	1,5	3,3	4,95	

Raudbetoonhoone materjalidest tekib 1139715kg CO₂, kuid kokku seob hoone vaid 9787 kg CO₂. (vt Tabel 9.2.4)

Tabel 9.2.4 Raudbetoonhoone emissioonide koondtabel

Tarind		Pindala (m ²)	Emissioonid (kg CO ₂ e/m ²)	Emissioonid kokku (kg CO ₂ e)	Seob õhust (kg CO ₂)
Armatuur ja betoon		Tabelist 9.10		135990,2	9787,2
Lisamaterjalid paneelidele		Tabelist 9.11		9500,6	
Vahelagi	1 korrus*	Tabelist 9.12	526,976	468,7	247003,4
	2-6 korrus		2634,88	238,3	627924,3
Katus			543	216,9	117776,7
Trepikoja põrand*			40,2	37,8	1519,6
Kokku					1139715

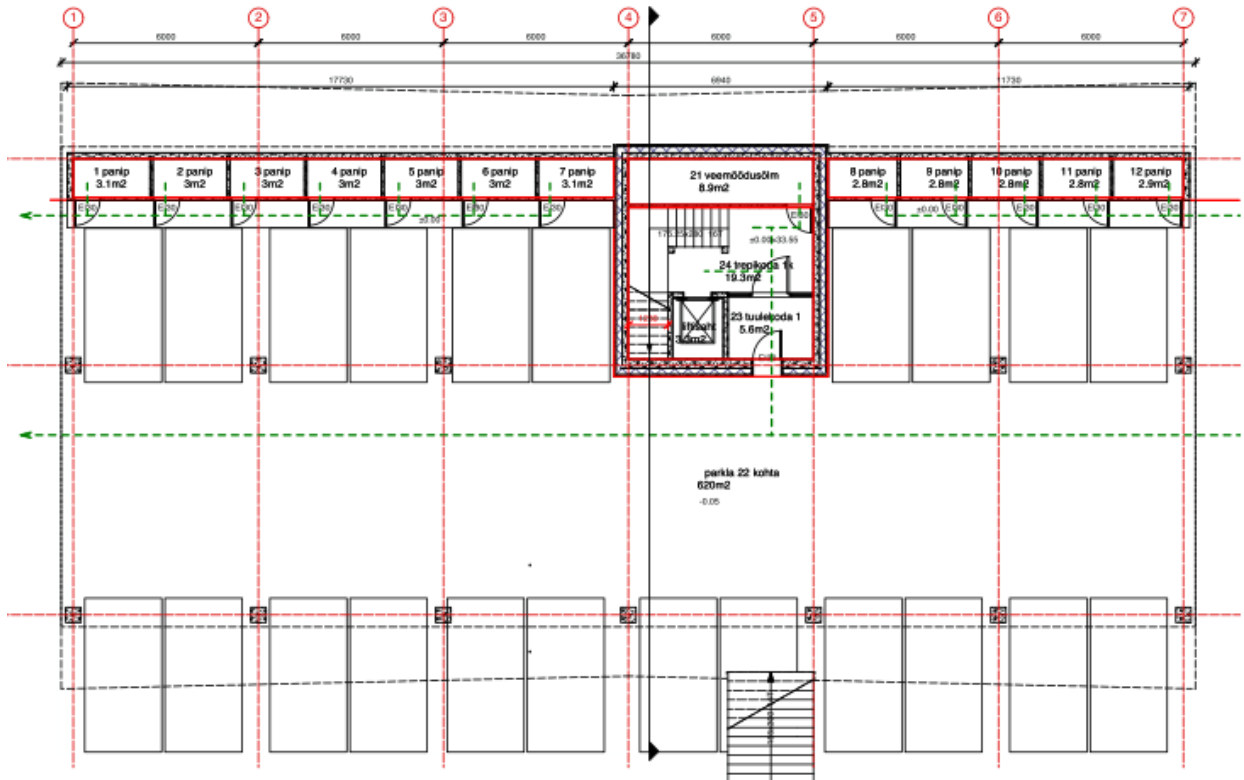
10. Ristkihtliimpuit hoone konstruktsioon

Hoone puitkonstruktsioonina lahendamise eelduseks oli vastavalt puitehituse loogikale uute elementide jaotuste tekitamine. Elementide jaotamisel on arvestatud transpordiks kasutatavate veoautode poolhaagiste mõõtusi. Poolhaagise pikkus on 13,6m laius 2,45m ja kõrgus 2.75m.

Seinaelementide kõrgus on 2,75m, mille puhul säilib kogu hoonel sama kõrgus võrreldes raudbetoonhoonega. Kõikide sise- ja välisseinaelementide kõrgus on sama, kuid pikkus varieerub vastavalt elemendile. Joonisel on märgitud välisseinaelementide CLT pikkused roheliste mõõtkettidega, koridoriseinte omad lillade mõõtkettidega ja korterite vaheliste seinte omad siniste mõõtkettidega. Välisseinaelementides on suured peaaegu maest laeni aknaavad. Avade välja lõikamisel tekkivad CLT materjalikulu elimineerimiseks on lahendus, kus akende kohal kasutatakse 100x220 liimpuitu, kuid tehases pannakse elemendid kokku vastavalt transpordi võimalustele. (vt Joonis 10.1.2.) Kokkupandud elementide jaotus mõjutab kraana tõstete arvu ning tööparameetreid ja samuti kraana vajadust platsil töötundides. Elemendid toodetakse tehases vastavalt võimalikule suurusele. Akende alla paigaldatakse montaaži ajaks toetav puitpruss. Laudis paigaldatakse tehases. Nurgaakanad tuleb paigaldada platsiltööna.

10.1. Seinatarindid

Korterimaja esimene korrus on soklikorrus, kus asuvad panipaigad ja garaaž. Soklikorrus on ka puitelementhoone puhul raudbetoonist (vt Joonis 10.1.1).



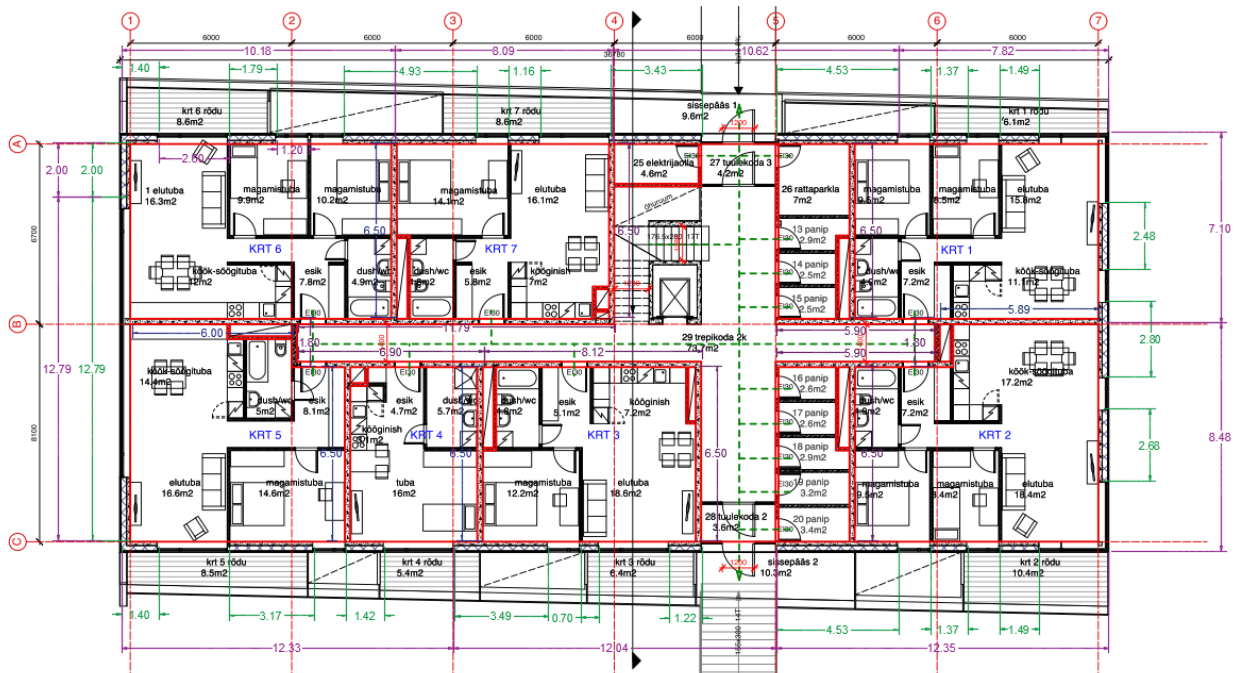
Joonis 10.1.1 Soklikorrus

Teise ja kolmanda korruse siseseiintelahendus erineb võrreldes ülejäänud korrustega. Välisseinaelemendid on kõikidel korrustel erinevad, sest akende asetus arhitektuursel joonisel on korruste kaupa muutuv.

Joonisel on näidatud CLT paneelide jaotus välisseinas roheliste mõõtkettidega, mis annab olulise info materjali koguse ja jaotuse osas, mida on võimalik tehasesse tarnida. Lisaks on selgelt näha akende avad, kuhu tuleb liimpuidust tala. Vastavavalt on lilla ja sinisega märgitud koridori ja korteritevahelised seinad. Oluline on, et pikemate külgede jaoks tuleb tehases kolm elementi kokku panna ja lühemate jaoks kaks. Täpselt kus elemendid lõppevad või algavad tulemust ei muuda ja sõltub pigem insenertehnilisest lahendusest. (vt

Joonis 10.1.2) Teisel ja kolmandal korrusel on toetuseks vaja kasutada metallposte nurgaakende juures. Postideks on 8x100x100 nelikanttorud.

Ristkihtliimpuidu, kui põhilise konstruktsioonimaterjali kulu ja kasutamise lahendus on eraldi välja toodud välisseinte, kui ka kandvate siseseinte jaoks. Kandvaid siseseinu on kahte tüüpi, nii koridoriseinad, kui ka korterite vahelised seinad. (vt Tabel 10.1.1 - 10.1.12 ja Joonis 10.1.2-10.1.7)



Joonis 10.1.2 2. korrus

Tabel 10.1.1. CLT paneelid / välisseinad 2. korrus

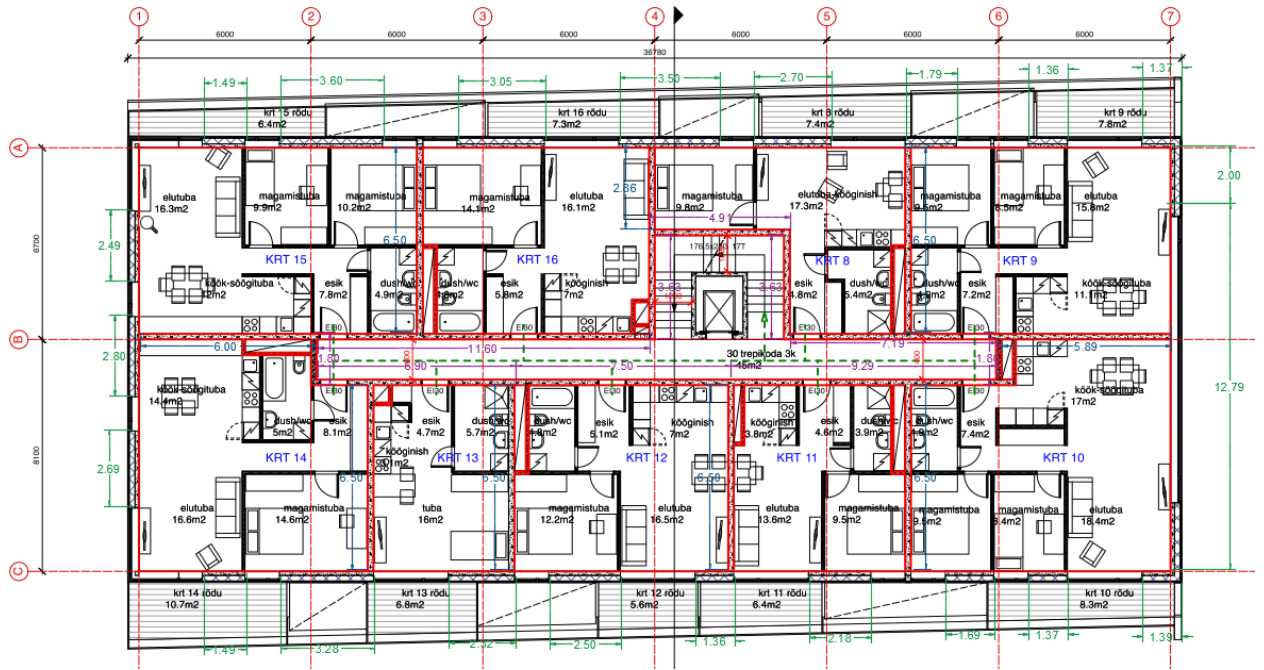
Arv	Pikkus	Kõrgus	Avad
tk	mm	mm	m ²
2	1400	2750	
1	1790	2750	
1	4930	2750	
1	1160	2750	
1	3430	2750	
2	4530	2750	
2	1370	2750	
2	1490	2750	
1	2480	2750	
1	2800	2750	
1	2680	2750	
1	1220	2750	
1	700	2750	
1	3490	2750	
1	1420	2750	
1	3170	2750	
1	12790	2750	10,79
1	2000	2750	

Tabel 10.1.2 CLT paneelid / koridorseinad 2. korrus

Arv	Pikkus	Kõrgus	Avad
tk	mm	mm	m ²
3	6500	2750	
2	5900	2750	2,1
2	1800	2750	
1	9240	2750	4,2
1	7650	2750	2,1
1	6800	2750	2,1
1	11790	2750	4,2

Tabel 10.1.3 CLT paneelid / korterite vahelised seinad 2. korrus

Arv	Pikkus	Kõrgus
tk	mm	mm
1	5890	2750
3	6500	2750
1	6000	2750



Joonis 10.1.3 3. korrus

Tabel 10.1.4 CLT paneelid / välisseinad 3. korrus

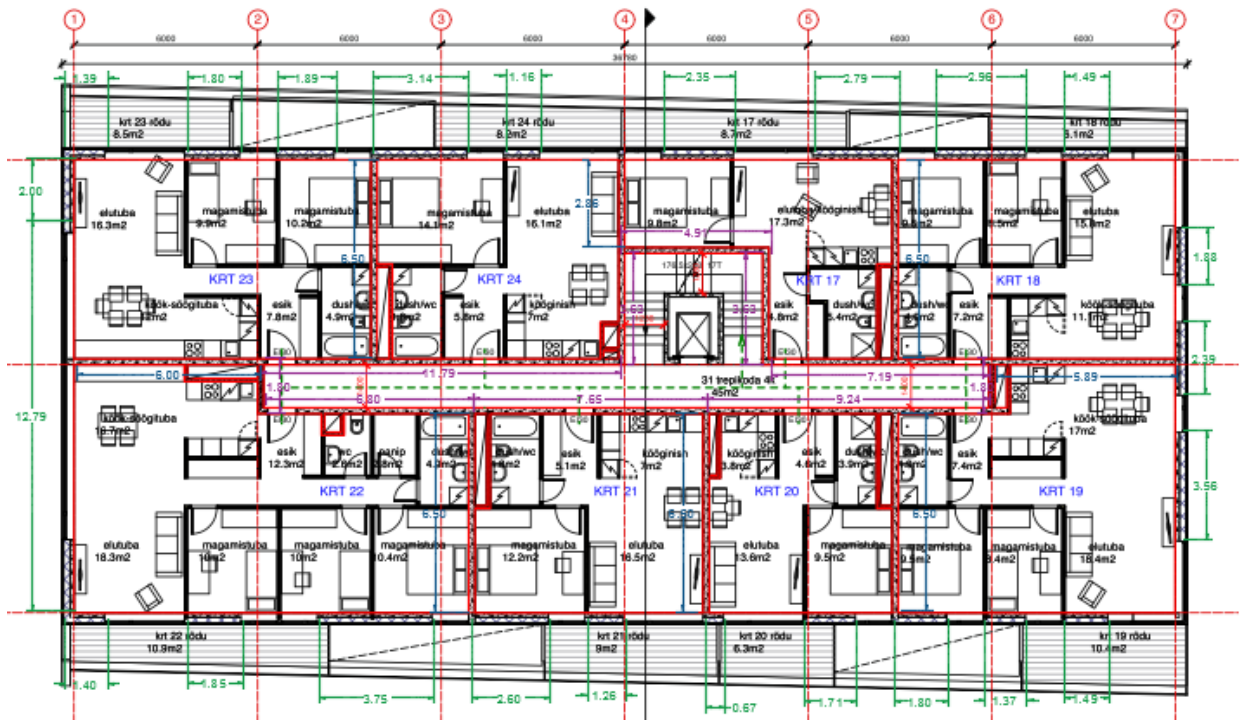
Arv	Pikkus	Kõrgus	Avad
tk	mm	mm	m ²
1	1490	2750	
1	3600	2750	
1	3050	2750	
1	3500	2750	
1	2700	2750	
1	1790	2750	
2	1360	2750	
2	1370	2750	
1	2000	2750	
1	12790	2750	10,79
1	1390	2750	
1	2180	2750	
1	2500	2750	
1	2320	2750	
1	3280	2750	
1	1490	2750	
1	2690	2750	
1	2800	2750	
1	2490	2750	

Tabel 10.1.5 CLT paneelid / koridoriseinad 3. korrus

Arv	Pikkus	Kõrgus	Avad
tk	mm	mm	m ²
1	4910	2750	
2	3630	2750	
1	7190	2750	4,2
2	1800	2750	
1	9290	2750	4,2
1	7500	2750	2,1
1	6900	2750	
1	11600	2750	4,2

Tabel 10.1.6 CLT paneelid / korterite vahelised seinad 3. korrus

Arv	Pikkus	Kõrgus
tk	mm	mm
1	2860	2750
1	6000	2750
6	6500	2750
1	5890	2750



Joonis 10.1.4 4. korrus

Tabel 10.1.7 CLT paneelid / välisseinaelemendid 4. korrus

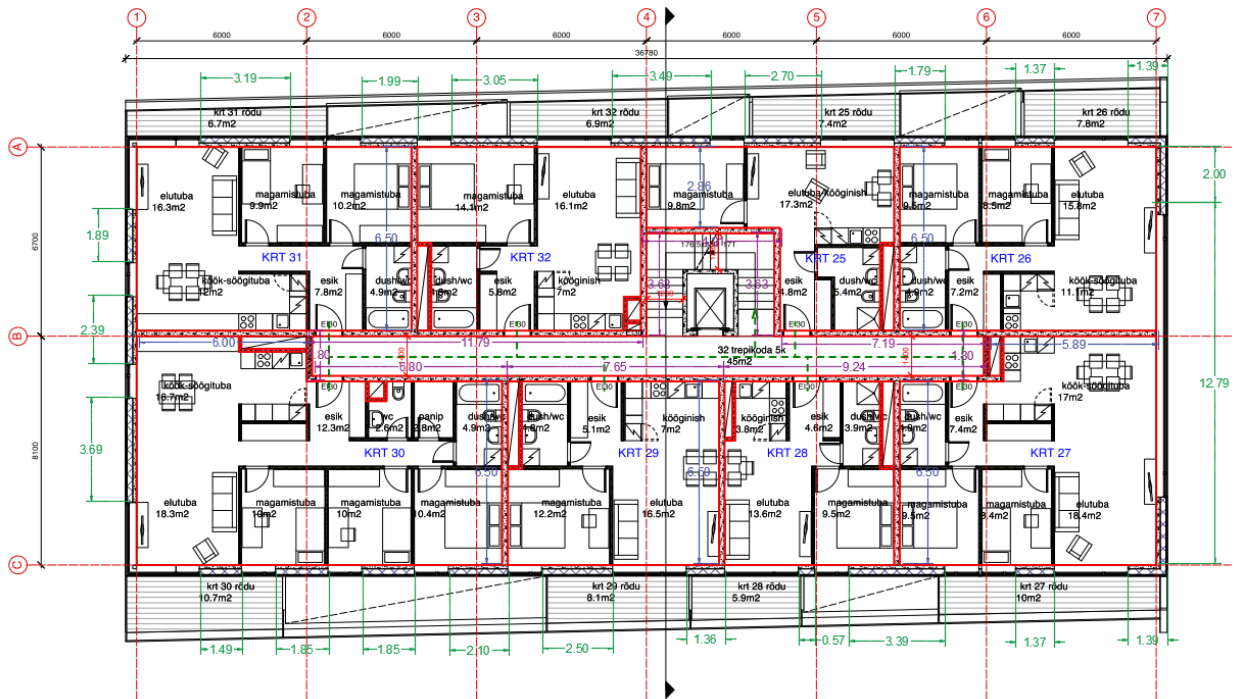
Arv	Pikkus	Kõrgus	Avad
tk	mm	mm	m ²
1	1390	2750	
2	1800	2750	
1	1890	2750	
1	3140	2750	
1	1160	2750	
1	2350	2750	
1	2790	2750	
1	2960	2750	
2	1490	2750	
1	1880	2750	
1	2390	2750	
1	3560	2750	
1	1370	2750	
1	1710	2750	
1	670	2750	
1	1260	2750	
1	2600	2750	
1	3750	2750	
1	1850	2750	
1	1400	2750	
1	12790	2750	10,79
1	2000	2750	

Tabel 10.1.8 CLT paneelid / koridorseinad 4.,5., 6. ja 7. korrus

Arv	Pikkus	Kõrgus	Avad
tk	mm	mm	m ²
1	4910	2750	
2	3630	2750	
1	7190	2750	4,2
2	1800	2750	
1	9240	2750	4,2
1	7650	2750	2,1
1	6800	2750	2,1
1	11790	2750	4,2

Tabel 10.1.9 CLT paneelid / korterite vahelised seinad 4., 5., 6. ja 7. korrus

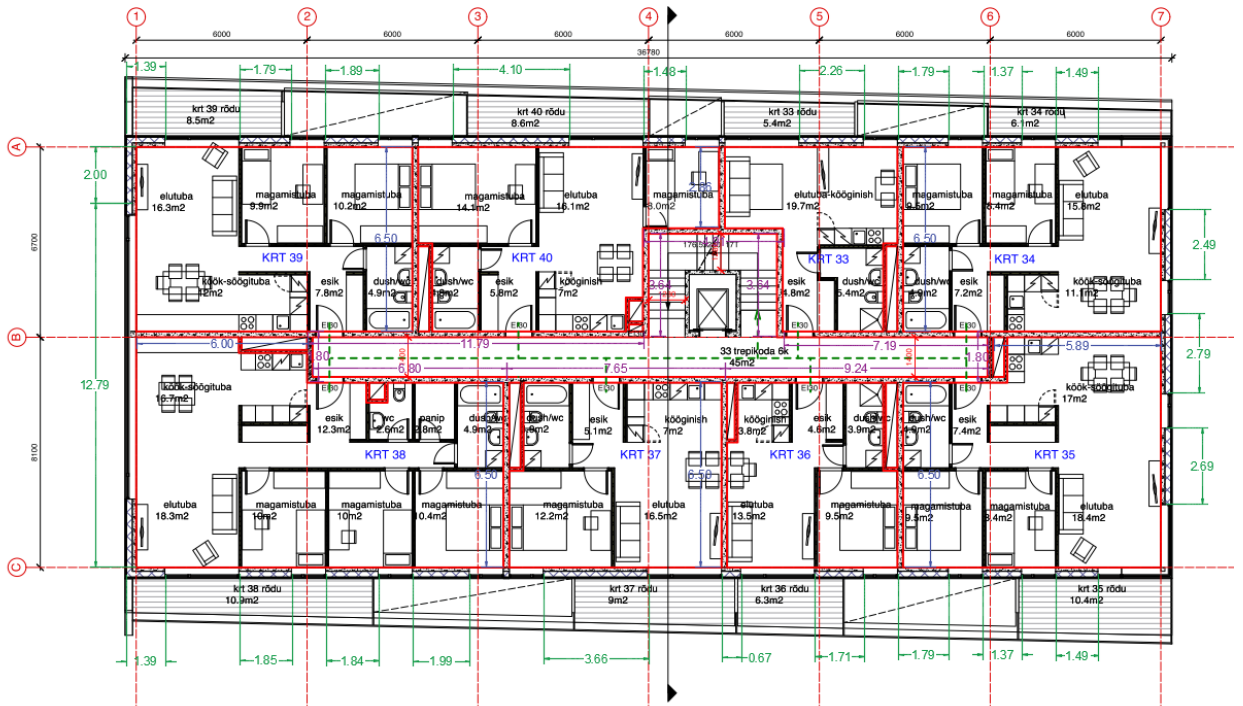
Arv	Pikkus	Kõrgus
tk	mm	mm
1	2860	2750
1	5890	2750
4	6500	2750
1	6000	2750



Joonis 10.1.5 5. korrus

Tabel 10.1.10 CLT paneelid / välisseinad 5. korrus

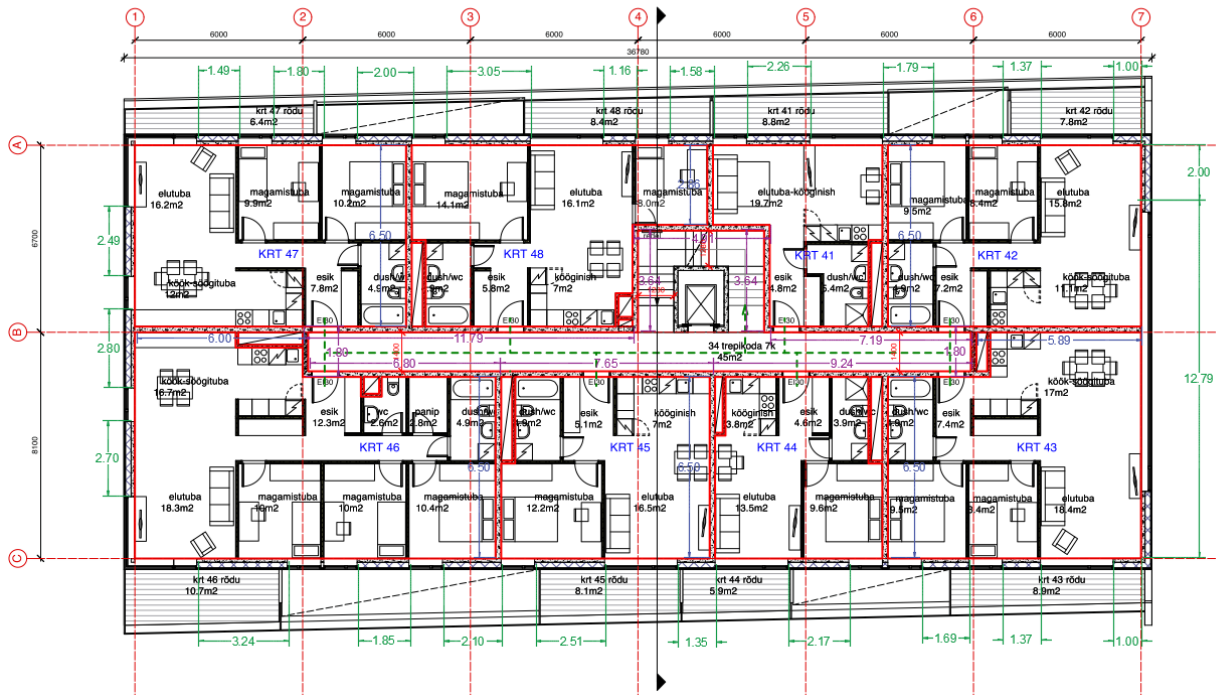
Arv	Pikkus	Kõrgus	Avad
tk	mm	mm	m ²
1	3190	2750	
1	1990	2750	
1	3050	2750	
1	3490	2750	
1	2700	2750	
1	1790	2750	
2	1370	2750	
2	1390	2750	
1	2000	2750	
1	12790	2750	10,79
1	3390	2750	
1	1360	2750	
1	2500	2750	
1	2100	2750	
2	1850	2750	
1	1490	2750	
1	3690	2750	
1	2390	2750	



Joonis 10.1.6 6. korrus

Tabel 10.1.11 CLT paneelid / välisseinad 6. korrus

Arv	Pikkus	Kõrgus	Avad
tk	mm	mm	m ²
2	1390	2750	
3	1790	2750	
1	1890	2750	
1	4100	2750	
1	1480	2750	
1	2260	2750	
2	1370	2750	
2	1490	2750	
1	2490	2750	
1	2790	2750	
1	2690	2750	
1	670	2750	
1	3660	2750	
1	1990	2750	
1	1850	2750	
1	12790	2750	10,79
1	2000	2750	



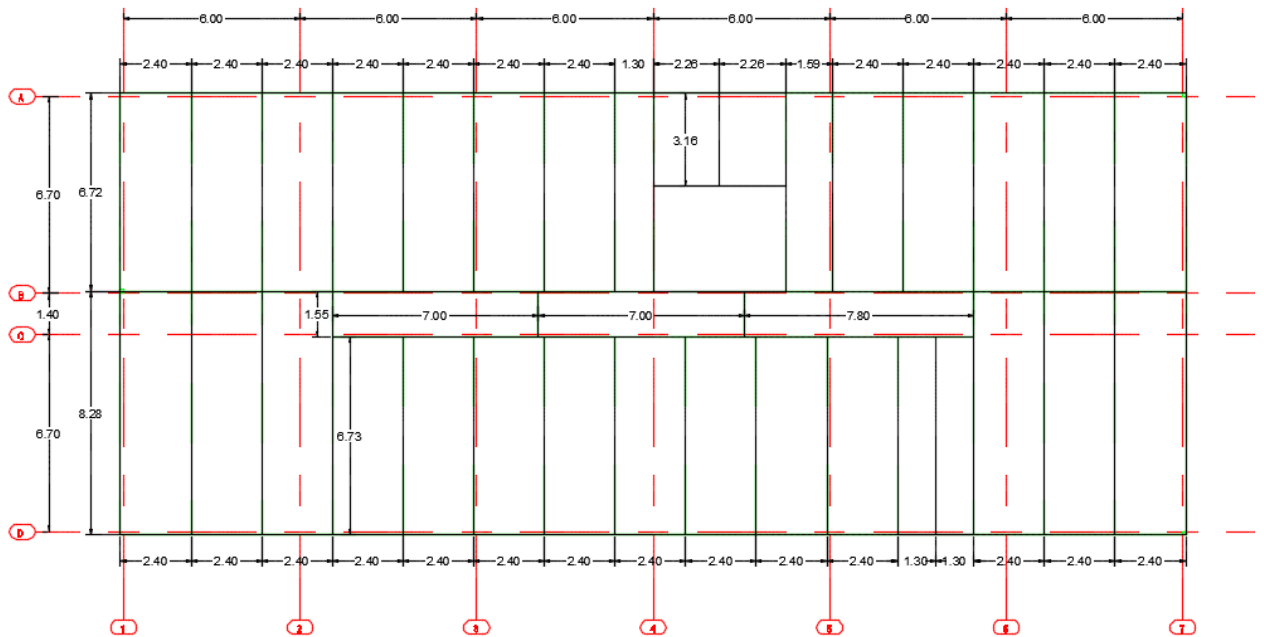
Joonis 10.1.7 7. korrus

Tabel 10.1.12 CLT paneelid / välisseinad 7. korrus

Arv	Pikkus	Kõrgus	Avad
tk	mm	mm	m ²
1	1490	2750	
1	1800	2750	
2	2000	2750	
1	3050	2750	
1	1160	2750	
1	1580	2750	
1	2260	2750	
1	1790	2750	
2	1370	2750	
2	1000	2750	
1	12790	2750	10,79
1	1690	2750	
1	2170	2750	
1	1350	2750	
1	2510	2750	
1	2100	2750	
1	1850	2750	
1	3240	2750	
1	2700	2750	
1	2800	2750	
1	2490	2750	

10.2. Vahelaelemendid

Vahelaelementide puhul on ka jälgitud, et elemendid mahuks poolhaagisesse. Seejuures on oluline ära märkida, et elemendi laius ei tohi ületada 2,45m, sest vahelaelemendid asetatakse poolhaagisesse horisontaalselt. Nii käib paigaldus kiirelt ja otse masinalt. (vt Joonis 10.2.1 ja Tabel 10.2.1)



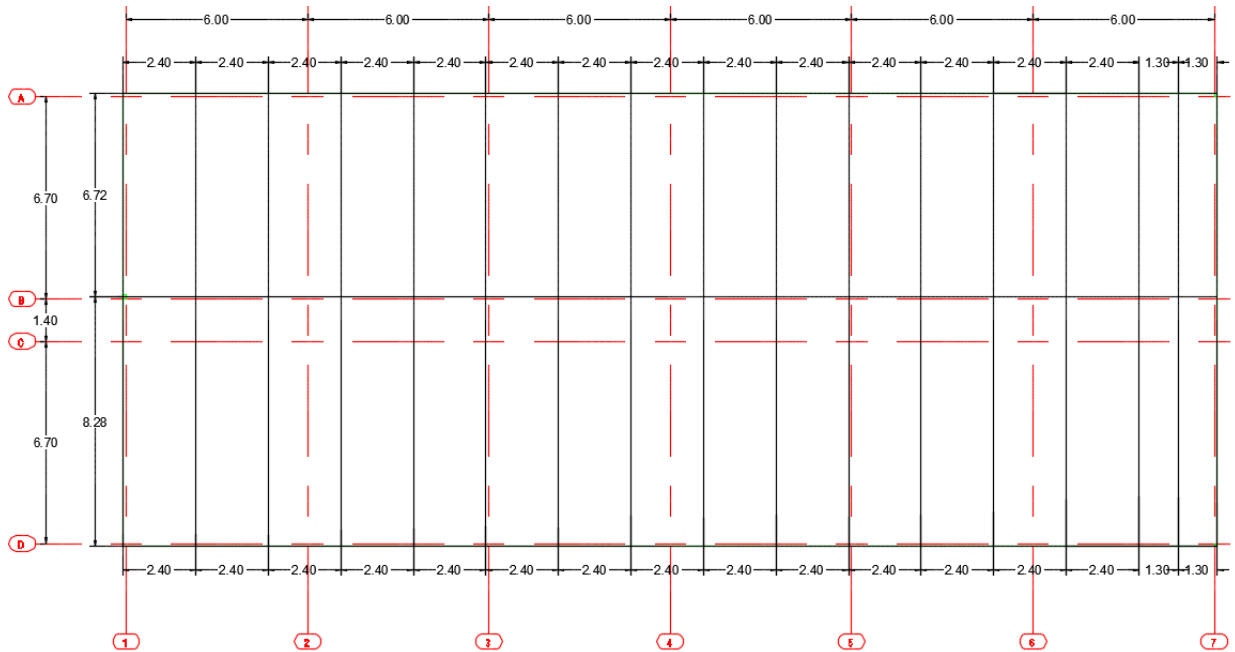
Joonis 10.2.1 Vahelaelemendid

Tabel 10.2.1 Vahelaelemendid

Arv	Pikkus	Laius
12	6720	2400
1	6720	1300
1	6720	1590
2	3160	2260
2	7000	1550
1	7800	1550
6	8280	2400
8	6730	2400
2	6730	1300

10.3. Katuseelemendid

Katuseelemendide jaotamise põhimõte on sarnane vahelagede omadega. Katuse puhul puudub auk treppide ja lifti jaoks. Lisaks pole koridorielemendid eraldi elemendid nagu on vahelagedel. (vt Joonis 10.3.1 ja Tabel 10.3.1)



Joonis 10.3.1 Katuseelemendid

Tabel 10.3.1 Katuseelemendid

Arv	Pikkus	Laius
14	6720	2400
2	6720	1300
14	8280	2400
2	8280	1300

11. CO₂ emissioonid puitelementidest

Kõigepealt arvutas autor välja kõikide erinevat tüüpi elementide emissioonid ruutmeetri kohta. Eraldi leitakse emissioonid välisseinte, korterite vaheliste ja koridoriseinte ning vahelagede ja katuse kohta. Kuna puitelementidest on ehitatud 2-7. korrus, siis lisatakse analüüsis esimese ehk soklikorruse emissioonid. Vundamenti analüüsitud ei ole. Seejuures tuleb silmas pidada, et puithoone puhul on koormused vundamendile väiksemad ja sellest tekib kokkuhoid nii majanduslikke, kui ka keskkonnaaspekte vaadates.

Välisseina emissioonid leiti nii laudise, kui ka tsementplaadiga tarindi kohta. Lisaks võrreldi mineraalvilla ja alternatiivina puitkiudisolatsiooni emiteerumist. Kõikide tarindilahenduste emissioonid leiti tarindi ruutmeetri kohta. (vt Tabel 11.1-11.4)

Tsementkiudplaadi kasutamist otsustati kasutada arhitektuurse lahenduse pärast. Lisaks pakkus autor ka omaltpoolt variandi, kus kogu hoonel on fassaadikatteks puitlaudis.

Tabel 11.1 Välissein / Mineraalvill / Laudis

Materjal	Mõõt (mm)	Mass (kg)	Emissioonitegur		Emssiooni d (kg CO ₂)	Seob õhust (kg CO ₂ /kg)	Seob õhust (kg CO ₂)
2 kihti värvi			0,87	kgCO ₂ e/m ²	0,87		
Puitlaudis UYV	21x145	9,91	0,018	kg CO ₂ /kg	0,18	1,639	16,24
Vertikaalne roov	21x45	1,23	0,018	kg CO ₂ /kg	0,02	1,639	2,02
Tuuletõkke mineraalvillaplaat	30	3,3	1,28	kg CO ₂ e/kg	4,22		
Karkass	45x145	12,09	0,018	kg CO ₂ /kg	0,22	1,639	19,82
Mineraalvill	150	5,32	1,28	kg CO ₂ e/kg	6,81		
CLT	100	40	0,481	kg CO ₂ /kg	19,24	1,61	64,40
Karkass	45x45	2,64	0,018	kg CO ₂ /kg	0,05	1,639	4,32
Akustiline profiil	25	1,37	1,95	kg CO ₂ e/kg	2,68		
Mineraalvill	50	1,9	1,28	kg CO ₂ e/kg	2,43		
Kipsplaat	15		4,84	kg CO ₂ e/m ²	4,84		
			KOKKU		41,6		108,0

Tabel 11.2. Väliseina emissioonid / Alternatiivlahendus (puitkiudisolatsioon) / Laudis

Materjal	Mõõt (mm)	Mass (kg)	Emissioonitegur		Emssioonid (kg CO ₂)	Seob õhust (kg CO ₂ /kg)	Seob õhust (kg CO ₂)
2 kihti värv			0,87	kgCO ₂ e/m ²	0,87		
Puitlaudis UYV	21x145	9,91	0,018	kg CO ₂ /kg	0,18	1,639	16,24
Vertikaalne roov	21x45	1,23	0,018	kg CO ₂ /kg	0,02	1,639	2,02
Tuuletõkke mineraalvillaplaat	30	3,3	1,28	kg CO ₂ e/kg	4,22		
Karkass	45x145	12,09	0,018	kg CO ₂ /kg	0,22	1,639	19,82
Puitkiudvill	140	7	0,243	kg CO ₂ e/kg	1,70	1,24	8,68
CLT	100	40	0,481	kg CO ₂ /kg	19,24	1,61	64,40
Karkass	45x45	2,64	0,018	kg CO ₂ /kg	0,05	1,639	4,32
Akustiline profiil	25	1,37	1,95	kg CO ₂ e/kg	2,68		
Puitkiudvill	50	2,5	0,243	kg CO ₂ e/kg	0,61	1,24	3,10
Kipsplaat	15		4,84	kg CO ₂ e/m ²	4,84		
KOKKU					27,4		119,8

Tabel 11.3. Väliseina emissioonid / Mineraalvill / Tsementkiudplaat

Materjal	Mõõt (mm)	Mass (kg)	Emissioonitegur		Emssioonid (kg CO ₂)	Seob õhust (kg CO ₂ /kg)	Seob õhust (kg CO ₂)
2 kihti värv			0,87	kgCO ₂ e/m ²	0,87		
Tsementkiudplaat	8	14,20	1,09	kg CO ₂ /kg	15,48		0,00
Vertikaalne roov	21x45	1,23	0,018	kg CO ₂ /kg	0,02	2,639	3,25
Tuuletõkke mineraalvillaplaat	30	3,3	1,28	kg CO ₂ e/kg	4,22		0
Karkass	45x145	12,09	0,018	kg CO ₂ /kg	0,22	1,639	19,82
Mineraalvill	150	5,32	1,28	kg CO ₂ e/kg	6,81		0
CLT	100	40	0,481	kg CO ₂ /kg	19,24	1,61	64,40
Karkass	45x45	2,64	0,018	kg CO ₂ /kg	0,05	1,639	4,32
Akustiline profiil	25	1,37	1,95	kg CO ₂ e/kg	2,68		0
Mineraalvill	50	1,9	1,28	kg CO ₂ e/kg	2,43		0
Kipsplaat	15		4,84	kg CO ₂ e/m ²	4,84		0
KOKKU					56,9		91,8

Tabel 11.4. Välisseina emissioonid / Alternatiivlahendus (puitkiudisolatsioon) / Tsementkiudplaat

Materjal	Mõõt (mm)	Mass (kg)	Emissioonitegur		Emssioonid (kg CO ₂)	Seob õhust (kg CO ₂ /kg)	Seob õhust (kg CO ₂)
2 kihti värv			0,87	kgCO2e/m2	0,87		
Tsementkiudplaat	8	14,20	1,09	kg CO2/kg	15,48		0,00
Vertikaalne roov	21x45	1,23	0,018	kg CO2/kg	0,02	2,639	3,25
Tuuletõkke mineraalvillaplaat	30	3,3	1,28	kg CO2e/kg	4,22		0
Karkass	45x145	12,09	0,018	kg CO2/kg	0,22	1,639	19,82
Puitkiudvill	140	7	0,243	kg CO2e/kg	1,70	1,24	8,68
CLT	100	40	0,481	kg CO2/kg	19,24	1,61	64,40
Karkass	45x45	2,64	0,018	kg CO2/kg	0,05	1,639	4,32
Akustiline profiil	25	1,37	1,95	kg CO2e/kg	2,68		0
Puitkiudvill	50	2,5	0,243	kg CO2e/kg	0,61	1,24	3,10
Kipsplaat	15		4,84	kg CO2e/m2	4,84		0
KOKKU					49,9		103,6

Koridoriseinte jaoks on samuti välja toodud kaks lahendust, üks mineraalvillaga ja teine puitkiudvillaga. (vt Tabel 11.5-11.6)

Tabel 11.5. Koridoriseina emissioonid / Mineraalvill

Materjal	Mõõt (mm)	Mass (kg)	Emissioonitegur		Emssioonid (kg CO ₂)	Seob õhust (kg CO ₂ /kg)	Seob õhust (kg CO ₂)
Kipsplaat	2x12,5		2,49	kg CO2e/m2	4,98		0,00
Karkass	45x45	2,64	0,018	kg CO2/kg	0,05	1,639	4,32
Akustiline profiil	25	1,37	1,95	kg CO2e/kg	2,68		0,00
Mineraalvill	50	1,9	1,28	kg CO2e/kg	2,43		0,00
CLT	140	56	0,481	kg CO2/kg	26,94	1,61	90,16
Karkass	45x45	2,64	0,018	kg CO2/kg	0,05	1,639	4,32
Akustiline profiil	25	1,37	1,95	kg CO2e/kg	2,68		0,00
Mineraalvill	50	1,9	1,28	kg CO2e/kg	2,43		0,00
Kipsplaat	2x12,5		2,49	kg CO2e/m2	4,98		0,00
KOKKU					47,2		98,8

Tabel 11.6. Koridoriseina emissioonid / Alternatiivlahendus (puitkiudisolatsioon)

Materjal	Mõõt	Mass (kg)	Emissioonitegur		Emssioonid (kg CO ₂)	Seob õhust (kg CO ₂ /kg)	Seob õhust (kg CO ₂)
Kipsplaat	2x12,5mm		2,49	kg CO ₂ e/m ²	4,98		0,00
Karkass	45x45mm	2,64	0,018	kg CO ₂ /kg	0,05	1,639	4,32
Helisummutus karkass	85mm	1,37	1,95	kg CO ₂ e/kg	2,68		0,00
Puitkiudvill	50mm	2,5	0,243	kg CO ₂ e/kg	0,61	1,24	3,10
CLT	140mm	56	0,481	kg CO ₂ /kg	26,94	1,61	90,16
Karkass	45x45mm	2,64	0,018	kg CO ₂ /kg	0,05	1,639	4,32
Akustiline profiil	85mm	1,37	1,95	kg CO ₂ e/kg	2,68		0,00
Puitkiudvill	50mm	2,5	0,243	kg CO ₂ e/kg	0,61	1,24	3,10
Kipsplaat	2x12,5mm		2,49	kg CO ₂ e/m ²	4,98		0,00
KOKKU					43,6		105,0

Korterite vahelise seina jaoks on üks lahendus läbi analüüsitud. (vt Tabel 11.7)

Tabel 11.7. Korterite vaheliste seinte emissioonid / Mineraalvill

Materjal	Mõõt (mm)	Mass (kg)	Emissioonitegur		Emssioonid (kg CO ₂)	Seob õhust (kg CO ₂ /kg)	Seob õhust (kg CO ₂)
Kipsplaat	12,5		2,49	kg CO ₂ e/m ²	2,49		0,00
CLT	78	31,2	0,481	kg CO ₂ /kg	15,01	1,61	50,23
Jäik mineraalvillaplaat	30	5,5	1,28	kg CO ₂ e/kg	7,04		0,00
CLT	78	31,2	0,481	kg CO ₂ /kg	15,01	1,61	50,23
Kipsplaat	12,5		2,49	kg CO ₂ e/m ²	2,49		0,00
KOKKU					42,0		100,5

Vahelagede jaoks on ka kaks erinevat villaga lahendust, mineraalvill ja puitkiudvill alternatiivlahendusena. (vt Tabel 11.8-11.9)

Tabel 11.8. Vahelae emissioonid / Mineraalvill

Materjal	Mõõt	Mass (kg)	Emissioonitegur		Emssioonid (kg CO ₂)	Seob õhust (kg CO ₂ /kg)	Seob õhust (kg CO ₂)
Põranda kipsplaat	2x15	24	1,967	kg CO2e/kg	47,208		0
Kõva mineraalvillaplaat	30	7	1,28	kg CO2e/kg	8,96		0
Kergkruus	60	60	0,3	kg CO2e/kg	18		0
Aurutõke	0,2	0,272	28,1	kg CO2e/kg	7,6432		
CLT	240	96	0,481	kg CO2/kg	46,176	1,639	157,344
Helisummutuskarkass	95	2,352	1,95	kg CO2e/kg	4,5864		0
Mineraalvill	75	2,85	1,28	kg CO2e/kg	3,648		0
Kipsplaat	15		4,84	kg CO2e/m2	4,84		0
KOKKU					141,1		157,3

Tabel 11.9 Vahelae emissioonid / Alternatiivlahendus (puitkiudisolsatsioon)

Materjal	Mõõt (mm)	Mass (kg)	Emissioonitegur		Emssioonid (kg CO ₂)	Seob õhust (kg CO ₂ /kg)	Seob õhust (kg CO ₂)
Põranda kipsplaat	2x15	24	1,967	kg CO2e/kg	47,208		0
Puitkiudvillaplaat	30	4,8	0,243	kg CO2e/kg	1,1664	1,24	5,952
Kergkruus	60	60	0,3	kg CO2e/kg	18		0
Aurutõke	0,2	0,272	28,1	kg CO2e/kg	7,6432		
CLT	240	96	0,481	kg CO2/kg	46,176	1,639	157,344
Helisummutuskarkass	95	2,352	1,95	kg CO2e/kg	4,5864		0
Puitkiudvill	80	4	0,243	kg CO2e/kg	0,972	1,24	4,96
Kipsplaat	15		4,84	kg CO2e/m2	4,84		0
KOKKU					130,6		168,3

Katuse jaoks on kasutatud ka data.holz andmebaasist lahendust ja ainult puitkiudvillaga.

Tabel 11.10 Katuse emissioonid

Materjal	Mõõt	Mass (kg)	Emissioonitegur		Emssioonid (kg CO ₂)	Seob õhust (kg CO ₂ /kg)	Seob õhust (kg CO ₂)
SBS katusekate	2x		0,044	kg CO ₂ e/m ²	0,056		
Kõva mineraalvillaplaat	30	7	1,28	kg CO ₂ e/kg	8,96		0
Puitkiudvill	2x100	40	0,243	kg CO ₂ e/kg	9,72	1,24	49,6
Aurutõke	0,2	0,272	28,1	kg CO ₂ e/kg	7,6432		
CLT	240	96	0,481	kg CO ₂ /kg	46,176	1,639	157,344
Helisummutuskarkass	66	2,044	1,95	kg CO ₂ e/kg	3,9858		0
Puitkiudvill	60	3	0,243	kg CO ₂ e/kg	0,729	1,24	3,72
Tuletõkke kipsplaat	15		4,84	kg CO ₂ e/m ²	4,84		0
KOKKU					82,1		210,7

Põhilahenduse puhul on kasutatud suuremas osas mineraalvilla. Lisaks on leitud emissioonid kahe fassaadilahenduse puhul. Vastavalt arhitektuursetele joonistele, kus on nii laudis kui ka tsementkiudplaat, tekib 6 maapealse korruse kokkuvõttes 538062 kg CO₂. Juhul kui oleks terve maja olnud laudisega kaetud tekiks materjalidest 531748 kg CO₂. (vt Tabel 11.11)

Puidu võime CO₂ õhust siduda on antud uurimuses kõrvalteema, kuid siiski toob autor välja, et antud tarindilahenduste korral seob peaaegu kaks korda sama palju CO₂, kui selle materjalidest tekib. Täpsemalt puit/tsement fassaadilahenduse korral 790375 kg CO₂ ja laudise korral 797060kg CO₂.

Tabel 11.11 Tarindite emissioonid kokku / Põhilahendus

Tarind		Pindala (m ²)	Emissioonid kg CO ₂ /m ²	Emissioonid kokku (kg CO ₂)	Seob õhust (kg CO ₂ /m ²)	Seob õhust (kg CO ₂)
Välisseinad (ainult laudis)		997,93	41,6	41513,89	108,0	107776,4
Välisseinad	Laudis	585,26	41,6	24346,82	108,0	63208,0
	Tsementplaat	412,67	56,9	23480,92	91,8	37883,1
Koridoriseinad		1156,77	47,2	54599,74	98,8	114289,3
Korterite vahelised seinad		458,88	42	19272,91	100,5	46117,3
Vahelagi		2634,88	141,1	371781,6	157,3	414466,6
Katus		543	82,1	44580,3	210,7	114410,1
KOKKU	Ainult laudisega			531748		797060
	Vastavalt arh. lahendusele			538062		790375

Alternatiivlahenduse puhul on kasutatud suuremas osas puitkiudvilla. Sellest tulenevalt on materjalidest tingitud emissioonid vastavalt arhitektuursele lahendusele 496716 kg CO₂ ja laudisega variandi puhul 487430 kg CO₂.

Loomulikult suureneb ka seotud süsiniku hulk, mis on ühel juhul 839214 kg CO₂ ja teisel 844991 kg CO₂.

Tabel 11.12 Tarindite emissioonid kokku / Alternatiivlahendus

Tarind		Pindala (m ²)	Emissioonid kg CO ₂ /m ²	Emissioonid kokku (kg CO ₂)	Seob õhust (kg CO ₂ /m ²)	Seob õhust (kg CO ₂)
Välisseinad (ainult laudis)		997,93	27,4	27343,28	119,8	119552
Välisseinad	Laudis	585,26	27,4	16036,12	119,8	70114
	Tsementplaat	412,67	49,9	20592,23	105,8	43660
Koridoriseinad		1156,77	43,6	50435,36	105,0	121461
Korterite vahelised seinad		458,88	42	19272,91	100,5	46117
Vahelagi		2634,88	130,6	344115,3	168,3	443450
Katus		543,00	85,2	46263,6	210,7	114410
KOKKU	Ainult laudisega			487430		844991
	Vastavalt arh. lahendusele			496716		839214

Lisaks tuleb juurde arvestada 2. ja 3. korrusel kasutatavad metallpostid ja 4.-7. korrusel kasutatavad liimpuitpostid.

Tabel 11.13 Emissioonid lisakonstruktsiooni materjalidest

Materjal	Mõõt	Mass kokku (kg)	Emissioonitegur	Emssioonid (kg CO ₂)	Seob õhust (kg CO ₂ /FÜ)	Seob õhust (kg CO ₂)
Metallpost	8x100x100	235,4	1,95	459,03		
Liimpuitpost	160x160	225,2	0,481	108,35	1,61	362,70
Kokku				567,4		362,7

1-korruse emissioonid otsustas autor lisada analüüsis, et võrrelda erinevaid lahendusi ja tulemusi komplekselt. Raudbetoelementidest ja esimese korruse materjalidest lisandub 264958kg CO₂. Kindlasti tuleb siit üks suund, mida oleks võimalik edasi arendada. Esimese korruse valatud vahelae materjalid on suured emissiooniallikad. (vt Tabel 11.14)

Tabel 11.14 1. korruse emissioonid, mis tulevad raudbetoonist ja selle lisamaterjalidest

Emissiooniallikas	Emissioonihulk (kg CO ₂)
1. korrus rb elemendid	12855,5
Liftišahtid	2923,7
1. korruse vahelagi	247003,4
1. korrus vahtpolüstüreen	656,07
Trepikoja põrand	1519,6
KOKKU	264958

Lõpuks toob autor välja eraldi tulbas kõikide uuritud variatsioonide tulemused CLT konstruktsiooniga hoone puhul. (vt Tabel 11.15)

Tabel 11.15 Erinevate CLT konstruktsiooniga lahenduste emissioonid

Konstruktsioon	Mineraalvill / arh. projekt	Mineraalvill / Laudis	Puitkiud / arh. Projekt	Puitkiud / laudis
Paneelid	538062	531748	496715	487430
Postid	567	567	567	567
Raudbetoon ja 1. korrus	264958	264958	264958	264958
Emitterub kokku:	803587	797274	762241	752956
Paneelid	790375	797060	839213	844991
Postid	362	362	362	362
Seob kokku:	790737	797422	839576	845353
Bilans	12850	-148	-77335	-92397

12. Raudbetoonhoone ehitusmaksumus

Esimese kitsendusena hinnastamises toob autor välja, et projekteerimishinda pole analüüsitud. Elementide transpordihinda on arvesse võetud elementide hinnas. Autor analüüsis raudbetoonhoone eelarvet jättes eelarvesse analüüsis võrreldava kompleksuse jagu ehitusmaterjale ja nende paigaldamisel kaasnevaid töid. Projektijuhtimist analüüsitud ei ole. (vt Tabel 12.1)

Tabel 12.1 Raudbetoonhoone ehitusmaksumus

Kuluartikkel	Maksumus (€)
Hoone karkass	
Esimese ja teise korruse vahelae ja talade ehitus	76 964
Teraselemendid	57 454
R/b postide valmistamine	6 110
Kolmekihiliste välisseinapaneelide valmistamine	142 248
Ühekihiliste välisseinapaneelide valmistamine	13 618
Ühekihiliste siseseinapaneelide valmistamine	126 237
Vahelaepaneelide valmistamine	82 137
R/b elementide montaaž ja monolitiseerimine	122 087
Kraana ja tõstemehhanismid	48 609
Vahelagede heliisolatsioon ja tasanduskihi ehitus	57 697
Esimese ja teise korruse vahelae soojustamine ja viimistlemine	34 269
Välisseinte soojustamine ja tuuletõke	2 233
Välisseinte katmine lehise laudisega	23 002
Esimese korruse seinte katmine lehise laudisega	2 778
Katuse soojustamine ja katusekatted	27 309
Hoone elemendid	
Kipsplaadi paigaldus osaliselt	50 904
Akende ja elementide paigaldus	3 022
Betoonseinte osaline viimistlemine	34888
Muud nimetamata ehitustööd	1 640
Põrand pinnasel 1. korrusel	1 970
Parklakorrusel rb seinaga soojustamine + õhekrohv 1m ulatuses	29 691
Juhtimiskulud	29315
KOKKU	939 295

Kokku maksis analüüsitud Tartu raudbetoonelementidest hoone põhikonstruktsioon koos soojustuse ja välisviimistlusega 939 295€.

13. Ristkihtliimpuit konstruktsiooniga hoone ehitusmaksumus

Osaliselt on ka ristkihtliimpuihoonel kasutatud raudbetoonmaterjale ja nende ehitusmaksumus on välja toodud eraldi. Suurima osa maksumusest moodustab esimese ja teise korruse vaheline vahelagi, mis on kohapeal valatud. Kokku maksab raudbetoonist osa koos lisamaterjalide ja nende paigaldusega 120 953€. (vt Tabel 13.1)

Tabel 13.1 Ehitusmaksumus hoone raudbetoonosast

Kuluartikkel	Maksumus (€)
Hoone karkass	
Esimese ja teise korruse vahelae ja talade ehitus	76 964
R/b postide valmistamine	6 110
Esimese ja teise korruse vahelae soojustamine ja viimistlemine	34 269
Muud nimetamata ehitustööd	
Põrand pinnasel 1. korrusel	1 640
Parklakorrusel rb seinaga soojustamine + õhekrohv 1m ulatuses	1 970
KOKKU	120 953

Eelarvestamisel on tehtud 5 erinevat varianti. Erinevate variantide puhul erineb ainult fassaadikate ja isolatsioonmaterjal. Kõik hinnad kehtivad elektriprojekti olemasolul, sest sellisel juhul on võimalik juba tehases paigaldada elektripaigaldised ja tänu sellele ka siseviimistlusplaat. (vt Tabel 13.2-13.6)

1. Variant

Fassaadikate - Horisontaalne laudis (krunt ja värv)

Isolatsioonmaterjal - Mineraalvill (Rockwool)

Tabel 13.2. Kokkuvõtte eelarvest variant 1.

Kood	Nimetus	br. maht	ühik	töö maht in.h	Müügihind koos kasumiga
EXW	VÄLISSEINAD	997,9	m ²	3 054,8	161 093,89 €
INW	SISESEINAD	1 615,5	m ²	2 465,7	219 827,32 €
CEI	VAHELAED	2 634,7	m ²	4 979,5	594 833,70 €
ROO	KATUSED	543,0	m ²	771,0	118 410,48 €
LAM	LIIMPUITKONSTRUKTSIOONID	8,6	m ³	0,0	339,42 €
OTH	MUUD MATERJALID	462,0		0,0	3 678,10 €
TOT	MATERJALID & OSTUTOOTED KOKKU EXW	462,00	m²	13 525,1	1 098 182,90 €
Tran	TRANSPORT	48	reisi		9 600,00 €
Site	PLATSITÖÖD	2 476	in.h	2 476	31 918,88 €
pTOT	PROJEKT KOKKU				1 130 101 €

2. Variant

Fassaadikate - Horisontaalne laudis (tuletõkkevõõp ja värv)

Isolatsioonmaterjal - Mineraalvill (Rockwool)

Tabel 13.3 Kokkuvõte eelarvest variant 2.

Kood	Nimetus	br. maht	ühik	töö maht in.h	Müügihind koos kasumiga
EXW	VÄLISSEINAD	997,9	m ²	3 054,8	175 081,35 €
INW	SISESEINAD	1 615,5	m ²	2 465,7	219 827,32 €
CEI	VAHELAED	2 634,7	m ²	4 979,5	594 833,70 €
ROO	KATUSED	543,0	m ²	771,0	118 410,48 €
LAM	LIIMPUITKONSTRUKTSIOONID	8,6	m ³	0,0	339,42 €
OTH	MUUD MATERJALID	462,0		0,0	3 678,10 €
TOT	MATERJALID & OSTUTOOTED KOKKU EXW	462,00	m²	13 525,1	1 112 170,37 €
Tran	TRANSPORT	47,79	reisi		9 600,00 €
Site	PLATSITÖÖD	2 476	in.h	2 476	31 918,88 €
pTOT	PROJEKT KOKKU				1 144 089 €

3. Variant

Fassaadikate - Tsementplaat ja horisontaalne laudis (tuletõkkevõõp ja värv)

Isolatsioonmaterjal - Mineraalvill (Rockwool)

Tabel 13.4 Kokkuvõte eelarvest variant 3.

Kood	Nimetus	br. maht	ühik	töö maht in.h	Müügihind koos kasumiga
EXW	VÄLISSEINAD	997,9	m ²	2 874,7	170 602,27 €
INW	SISESEINAD	1 615,5	m ²	2 465,7	219 827,32 €
CEI	VAHELAED	2 634,7	m ²	4 979,5	594 833,70 €
ROO	KATUSED	543,0	m ²	771,0	118 410,48 €
LAM	LIIMPUITKONSTRUKTSIOONID	8,6	m ³	0,0	339,42 €
OTH	MUUD MATERJALID	462,0		0,0	3 678,10 €
TOT	MATERJALID & OSTUTOOTED KOKKU EXW	462,00	m²	13 309,1	1 107 691,28 €
Tran	TRANSPORT	47,79	reisi		9 600,00 €
Site	PLATSITÖÖD	2 520,02	in.h	2 520,02	32 481,40 €
pTOT	PROJEKT KOKKU				1 140 172 €

4. Variant

Fassaadikate - Horisontaalne laudis (tuletõkkevõõp ja värv)

Isolatsioonmaterjal - Puitkiudvill (Steico)

Tabel 13.5 Kokkuvõtte eelarvest variant 4.

Kood	Nimetus	br. maht	ühik	töö maht in.h	Müügihind koos kasumiga
EXW	VÄLISSEINAD	997,9	m ²	3 005,1	255 807,14 €
INW	SISESEINAD	1 615,5	m ²	2 870,5	279 943,18 €
CEI	VAHELAED	2 634,7	m ²	4 979,5	604 079,68 €
ROO	KATUSED	543,0	m ²	771,0	118 410,48 €
LAM	LIIMPUITKONSTRUKTSIOONID	8,6	m ³	0,0	339,42 €
OTH	MUUD MATERJALID	462,0		0,0	3 678,10 €
TOT	MATERJALID & OSTUTOOTED KOKKU EXW	462,00	m²	13 951,3	1 262 257,99 €
Tran	TRANSPORT	47,79	reisi		9 600,00 €
Site	PLATSITÖÖD	2 476,37	in.h	2 476,37	31 918,88 €
pTOT	PROJEKT KOKKU				1 294 176 €

5. Variant

Fassaadikate - Tsementplaat ja horisontaalne laudis (tuletõkkevõõp ja värv)

Isolatsioonmaterjal - Puitkiudvill (Steico)

Tabel 13.6 Kokkuvõtte eelarvest variant 5.

Kood	Nimetus	br. maht	ühik	töö maht in.h	Müügihind koos kasumiga
EXW	VÄLISSEINAD	997,9	m ²	2 825,0	251 328,05 €
INW	SISESEINAD	1 615,5	m ²	2 870,5	279 943,18 €
CEI	VAHELAED	2 634,7	m ²	4 979,5	604 079,68 €
ROO	KATUSED	543,0	m ²	771,0	118 410,48 €
LAM	LIIMPUITKONSTRUKTSIOONID	8,6	m ³	0,0	339,42 €
OTH	MUUD MATERJALID	462,0		0,0	3 678,10 €
TOT	MATERJALID & OSTUTOOTED KOKKU EXW	462,00	m²	13 735,3	1 257 778,91 €
Tran	TRANSPORT	47,79	reisi		9 600,00 €
Site	PLATSITÖÖD	2 520,02	in.h	2 520,02	32 481,40 €
pTOT	PROJEKT KOKKU				1 290 260 €

Kokkuvõtvas tabelis on selgelt näha, et mineraalvillaga soojustatud hoone on kõige odavam. Soodsaima lahenduse jaoks on leitud hind ka ilma tuletõkkevõõbata. Lisaks on

ära näidatud hind vastavalt arhitektuursele lahendusele ja laudisega puithoone puhul. (vt Tabel 13.7)

Tabel 13.7 Puithoone variantide ehitusmaksumused

Variant	1.	2.	3.	4.	5.
Kulu	Mineraalvill / Laudis (krunt+värv)	Mineraalvill / Laudis (tuletõkkevõõp)	Mineraalvill / Arh. projekt	Puitkiud / Laudis (tuletõkkevõõp)	Puitkiud / Arh. projekt
2-7 puidust korrus	1130101	1144089	1140172	1294176	1290260
Raudbetoon	120 953	120 953	120 953	120 953	120 953
Kokku	1251054	1265042	1261125	1415129	1411213

13.1. Materjalide spetsifikatsioon

2-6. korruse materjalide spetsifikatsioonis on selgelt näidatud, milliseid materjale on eelarvestamisel kasutatud. Enamus erinevates eelarve versioonides kasutatud materjalidest on samad. Eraldi on näidatud, mis muutub antud variandis. Muutujateks on fassaadikate ja isolatsioon. Variandid on toodud eelnevas peatükis. Järgnevalt on kirjas esimese variandi täpne materjalide spetsifikatsioon. Lisaks on ära märgitud platsitööprotsent.

EXW	VÄLISSEINAD	3% platsil
EXW-		
1	VÄLISSEINA ELEMENT I korrus	3% platsil
	Välisvooder (horisontaalne, krunt ja värv) UYV 21x145mm	10% platsil
	Roovitus vertikaalne 21x45mm	
	Mineraalvillaplaat Wentirock 30mm	10% platsil
	Karkass cc 600mm 45x145mm, C24	
	Paneel CLT, GL 28/32 100mm	
	Mineraalvill Superrock 150mm	
	Lisakarkass cc 600mm 45x45mm, C24	
	Mineraalvill Superrock 50mm	
	Kipsplaat GN 13mm	10% platsil
	Vuugivill SKC 20x200	100% platsil
	Pakkekile 0,2mm/plast	
	Kinnitusvahendid	
	VÄLISSEINA ELEMENT I korrus paigaldus töömaal	100% platsil
	VÄLISSEINA ELEMENT I korrus vuukide sulgemine väljast poolt	100% platsil
	VÄLISSEINA ELEMENT I korrus vuukide sulgemine seest poolt	100% platsil

EXW-		
2	VÄLISSEINA ELEMENT II -VI	3% platsil
	Välisvooder (horisontaalne, krunt ja värv) UYV 21x145mm	10% platsil
	Roovitus vertikaalne 21x45mm	
	Mineraalvillaplaat Wentirock 30mm	10% platsil
	Mineraalvill Superrock 150	
	Karkass cc 600mm 45x145mm, C24	
	Paneel CLT, GL 28/32 100mm	
	Mineraalvill Superrock 200	
	Lisakarkass cc 600mm 45x45mm, C24	
	Mineraalvill Superrock 50	
	Kipsplaat GN 13mm	10% platsil
	Vuugivill SKC 20x200	100% platsil
	Pakkekile 0,2mm/plast	
	Kinnitusvahendid	
	VÄLISSEINA ELEMENT II -VI paigaldus töömaal	100% platsil
	VÄLISSEINA ELEMENT II -VI vuukide sulgemine väljast poolt	100% platsil
	VÄLISSEINA ELEMENT II -VI vuukide sulgemine seest poolt	100% platsil
INW	SISESEINAD	2% platsil
INW-		
2	KANDEV SISESEINA ELEMENT koridorisein 0	2% platsil
	Kipsplaat GN 13mm	10% platsil
	Lisakarkass cc 600mm 45x45mm, C24	
	Akustiline profiil 25mm	
	Karkass cc 600mm 45x120mm, C24	
	Mineraalvill Superrock 50	
	Paneel CLT, GL 28/32 140mm	
	Pakkekile 0,1mm	
	Kinnitusvahendid	
	KANDEV SISESEINA ELEMENT koridorisein vuukide sulgemine ühelt poolt	100% platsil
	KANDEV SISESEINA ELEMENT koridorisein vuukide sulgemine teiselt poolt	100% platsil
INW-		
3	KANDEV SISESEINA ELEMENT korterite vaheline sein	4% platsil
	Kipsplaat GN 13mm	10% platsil
	Paneel CLT, GL 28/32 78mm	
	Mineraalvillaplaat Wentirock 30mm	10% platsil
	Pakkekile 0,1mm	
	Kinnitusvahendid	
	KANDEV SISESEINA ELEMENT korterite vaheline sein vuukide sulgemine ühelt poolt	100% platsil
	KANDEV SISESEINA ELEMENT korterite vaheline sein vuukide sulgemine teiselt poolt	100% platsil
CEI	VAHELAE	25% platsil
CEI-2	VAHELAE ELEMENT	25% platsil

	Kipsplaat GL 15mm	100% platsil
	Mineraalvill Isover OL-A	100% platsil
	Kergkruus 60mm	100% platsil
	Aurutõkke kile 0,2mm	
	Paneel CLT, GL 28/32 240mm	
	Helisummutus karkass 95mm	
	Mineraalvill Superrock 75mm	
	Kipsplaat GKF 15mm	
	Vuugivill ISOVER SKC-20, 90mm	100% platsil
	Pakkekile	
	Kinnitusvahendid	
	VAHELAE ELEMENT paigaldus töömaal	100% platsil
	VAHELAE ELEMENT vuukide sulgemine pealtpoolt	100% platsil
	VAHELAE ELEMENT vuukide sulgemine altpoolt	100% platsil
ROO	KATUSED	38% platsil
ROO-		
1	KATUSE ELEMENT lame katus 0	38% platsil
	SBS Icopal	100% platsil
	Mineraalvillplaat tuulutussoontega Plaat 30mm	100% platsil
	Puitkiudvill Steico flex 200mm	100% platsil
	Aurutõke 0,2mm	100% platsil
	Paneel CLT, GL 28/32 240mm	
	Helisummutus karkass 66mm	
	Kipsplaat GKF 15mm	
	Vuugivill 1220-KH-20, 115mm	100% platsil
	Pakkekile	
	Kinnitusvahendid	
	KATUSE ELEMENT lame katus paigaldus töömaal	100% platsil
	KATUSE ELEMENT lame katus vuukide sulgemine pealtpoolt	100% platsil
	KATUSE ELEMENT lame katus vuukide sulgemine altpoolt	100% platsil
LAM	LIIMPUITKONSTRUKTSIOONID (m³)	100% platsil
LAM-		
C	Postid jms vert. 0	100% platsil
	Liimpuit	100% platsil
	Postid jms vert. paigaldus töömaal	100% platsil
OTH	MUUD MATERJALID	100% platsil
OTH-		
1	Paigaldusmaterjal	100% platsil
	Bituumen vundamendikate Svillemebran 15x0,2m	100% platsil
	Terasoprofiil	100% platsil
OTH-		
2	Sidepuud	100% platsil
	Immutatud sidepuud 45x95mm	100% platsil
	Sidepuud 45x95mm	100% platsil

14. Võrdlus

Analüüsis on ehitatud Siili 8, Tartu objekt puithoonena ja täpsemalt kasutades ristkihtliimpuitu. Puithoonest emiteerub ligi 300 000 kg CO₂ vähem, kui samaväärse hoone raudbetoonlahenduse korral. Sellisel hoonel on kasutatud soojustusena mineraalvilla ja fassaadi-lahendus on vastavalt arhitektuursele projektile. Võimalik on hoida veel rohkem emissioone kokku, kui lahendada hoone väljanägemine ainult puitvoodriga. Lisaks saab kasutada isolatsioonimaterjalina puidubaasilist materjali, mis täiendavalt soodustab emissioonide kokkuhoidmist. Vastupidine tendents on ehitusmaksumuse osas, mida rohkem hoitakse emissioone kokku, seda kallim on hoone.

14.1. Tarindilahenduste emissioonid tarindi m² kohta

Välisseina ehitusmaterjalidest m² kohta puitlahenduse korral, kasutades isolatsioonimaterjalina mineraalvilla, emiteerub tsementplaadiga fassaadikattega tarindil 56,9kg CO₂ tarindi m² kohta, laudise puhul 41,6 kg CO₂/m². Puitkiudvillaga soojustatud välisseina emissioonid on vastavalt 49,9kg CO₂/m² ja laudisega fassaadil lausa 27,4kg CO₂/m². Raudbetoonhoone keskmine emissioonihulk tarindi m² kohta 70,8kg CO₂. On selgelt näha, et raudbetoonvälisseina emissioonihulk tarindi m² kohta on oluliselt suurem. (vt Tabel 14.1 ja Joonis 14.1)

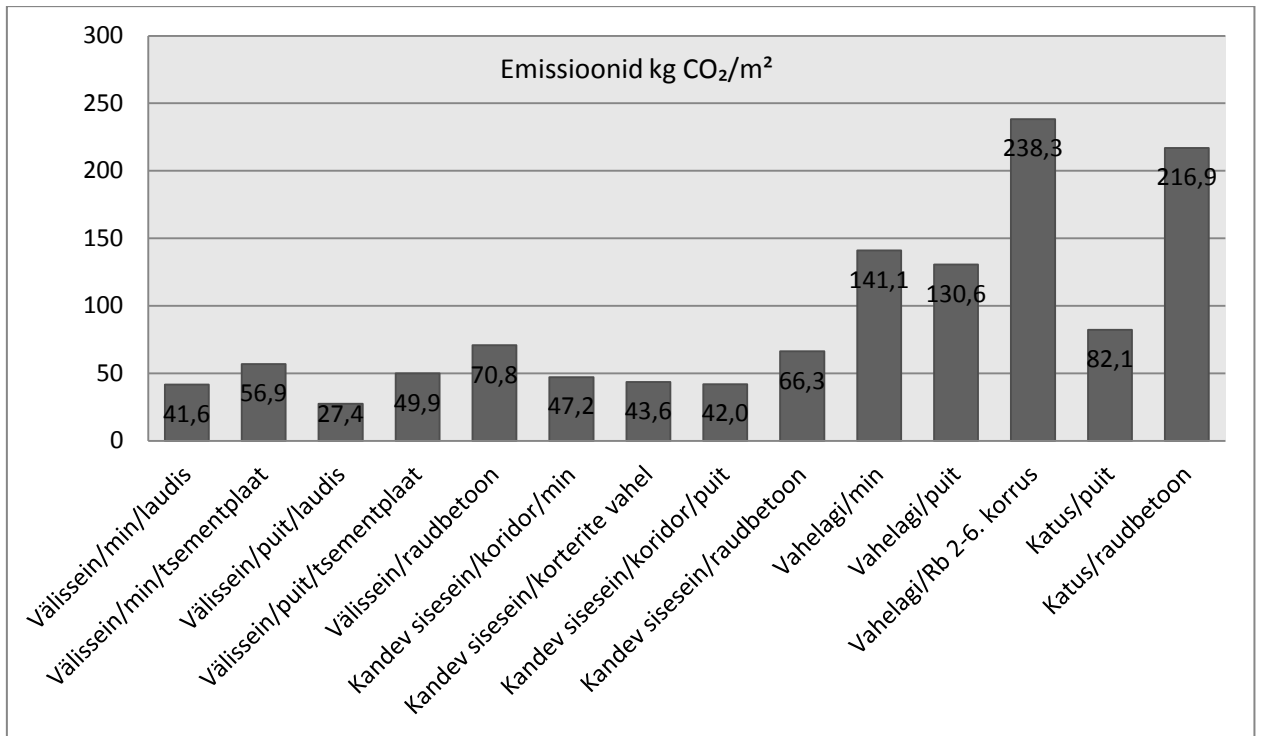
Tabel 14.1 Tarindi emissioonid tarindi m² kohta

Tarindid		Emissioonid (kg CO ₂ /m ²)	
Välissein	Mineraalvill	Laudis	41,6
		Tsementplaat	56,9
	Puitkiudvill	Laudis	27,4
		Tsementplaat	49,9
	Raudbetoon keskmine		70,8
Kandvad siseseinad	Koridoriseinad	Mineraalvill	47,2
		Puitkiudvill	43,6
	Korterite vahelised		42,0
	Raudbetoon keskmine		66,3
Vahelagi	Mineraalvill		141,1
	Puitkiudvill		130,6
	Rb 1. korrus		468,7
	Rb 2-6. korrus		238,3
Katus	Puitkiudvill		82,1
	Raudbetoon		216,9

Samamoodi on kandvate siseseinte puhul. Raudbetoonhoone keskmine emissiooni hulk tarindi m² kohta on 66,3kg CO₂, kuid puithoonel vahemikus 42,0-47,2kg CO₂/m².

Esimese korrus betoonvalu vahelaest emiteerub 468,7kg CO₂/m², kuid alates teisest korrusest 238,7kg CO₂/m². Puitvahelaest emiteerub mineraalvillaga soojustamisel 141,1 ja puitkiudvillaga 130,6kg CO₂/m².

Raudbetoonhoone katuselahendusest emiteerub 216,9kg CO₂/m² ja puitlahenduse korral 82,1kg CO₂/m².



Joonis 14.1 Tarindi emissioonid tarindi m² kohta

14.2. Tulemused suletud netopinna kohta

Analüüsis on soklikorrus ja selle vahelagi jäetud raudbetoonkonstruktsiooniks. Mõne variandi puhul isegi üle poole emissioonidest tulenesid esimesest korrusest ja suures osas just esimese korruse valatud vahelaest. Esimese korruse vahelae konstruktsioonile tuleks leida parem lahendus, mille puhul emissioone nii palju ei tekiks. Puithoone suletud netopinna kohta arvutatud emissioonid jäävad vahemikku 254-271kg CO₂/m², raudbetoonhoonel on 385kg CO₂/m². (vt Tabel 14.2.1)

Puitkiudvilla kasutamisel on võimalik näidata, et puit seob kasvamisel rohkem süsinikku, kui selle hoone materjalide tootmisest tekib. Puitkiudvillaga lahenduse korral seob hoone 26-31kg CO₂/m² ning hoone on CO₂ negatiivne. Kuid on võimalik saavutada CO₂ bilansis negatiivne olukord ka mineraalvillaga, kui kogu hoone katta laudisega. Isegi arvestades fassaadilaudise ja roovi võimet siduda CO₂, siis raudbetoonkonstruktsiooni korral tekib siiski 380kg CO₂/m². Tegemist on märkimisväärse erinevusega võrreldes puitkonstruktsioonidega hoonega.

Tabel 14.2.1 Emissioonide koondtabel

Konstruktsioon	Mineraalvill / arh. projekt	Mineraalvill / Laudis	Puitkiud / arh. Projekt	Puitkiud / laudis	Raudbetoon
Paneelid	538062	531748	496715	487430	
Postid	567	567	567	567	
Raudbetoon ja 1. korrus	264958	264958	264958	264958	
Emitterub kokku(kg CO₂)	803 588	797 274	762 241	752 956	1 139 715
Suletud neto pinna kohta (kg CO₂/m²)	271	268	257	254	384
Paneelid	790375	797060	839213	844991	
Postid	362	362	362	362	
Seob kokku (kg CO₂)	790737	797422	839 576	845 354	9 787
Suletud neto pinna kohta (kg CO₂/m²)	266	268	283	285	3
Bilanss (kg CO₂)	12850	-148	-77 335	-92 398	1 129 928
Suletud neto pinna kohta (kg CO₂/m²)	4	0	-26	-31	380

Hoone ehitusmaksumuse analüüsist tuleb selgelt välja, et ristkihtliimpuidust hoone on natuke üle 30% kallim. Seejuures puitkiudvilla kasutamisel on hoone poole kallim võrreldes raudbetoonhoonega. Puitlahenduse korral on vastavalt arhitektuursele lahendusele ja kasutades mineraalvilla hoone ehitamise hind 425€/m², kuid raudbetoonhoonel 316€/m², mis teeb raudbetoonhoone üle 100€/m² kohta soodsamaks. (vt Tabel 14.2.2)

Tabel 14.2.2 Ehitusmaksumuse koondtabel

Variant	1.	2.	3.	4.	5.	
Kulu	Mineraalvill / Laudis (krunt+värv)	Mineraalvill / Laudis (tuletõkkevõ õp)	Mineraal vill / Arh. projekt	Puitkiud / Laudis (tuletõkkevõ õp)	Puitkiu d / Arh. projek t	Raudbeto on-hoone
2-7 puidust korrus	1130101	1144089	1140172	1294176	12902 60	
Raudbetoon	120 953	120 953	120 953	120 953	120 953	
Kokku (€)	1251054	1265042	1261125	1415129	14112 13	939 295
Suletud neto pinna kohta (€/m₂)	421	426	425	477	475	316

Võib öelda, et tulemus oli ootuspärane. Raudbetoonist hoone ehitamine tekitab rohkem emissioone ja on keskkonnale kahjulikum, kuid võrreldes puithoonega soodsam. Seejuures tundub autori jaoks siiski kõige optimaalsem lahendus ehitada hoone osaliselt puidust ja erinevate variantide võrdlemise tulemusel kasutada isolatsioonmaterjalina mineraalvilla. Suurem osa puithoone kõrgest hinnast tuleneb vahelaehendusest, kus on kasutatud 240mm ristkihtliimpuitu. Autor pakub kuluoptimaalse lahendusena välja suurte silletega hoonete puhul vahelaes ja katuses õõnespaneelide kasutamise. Seejuures kasutades ülejäänud tarindite konstruktsioonis puitu saadakse siiski oluline keskkonnasääst.

Võimalik, et turg pole valmis 30% kallimaks ehitushinnaks, kuid keskkonna seisukohalt on 30% kokkuhoid emissioonidelt oluline, arvestamata veel seejuures puidu täiendavat võimet siduda süsinikku.

15. Kokkuvõte

Ehitusmaterjalidest tingitud emissioonide arvutamisel saab kindlalt väita, et ühe ja sama toote emissioonid võivad olla väga erinevad. Suurimaks mõjutajaks on elektrienergia kasutamine ning selle tootmisviis ning ka toorained ja nende tarnekaugus. Arvutustes on võimalik kasutada ka üldistatud emissioonitegureid, kuid kindlasti tuleb silmas pidada ja selgelt välja tuua allikaid, kust antud emissioonitegurid võetud on. Sellisel juhul on hiljem oluliselt lihtsam tulemusi võrrelda ja analüüsida. Eesti elektriemissioonitegur on maailmas keskmisest kõrgem ja see mõjutab suurel määral ka ehitusmaterjalide emissioone. Seejuures on siiski võimalik tootmisprotsessi optimeerides ja kasutades läbimõeldud lahendusi materjalidest tingitud emissioone keskmisest madalamana hoida. Töös välja arvatud Eestis toodetavate puitmaterjalide CO₂ emissioonid on reeglina kõrgemad, kui Euroopa keskmised, tulenevalt Eesti põlevkivipõhisest elektritootmisest. Nii on näiteks CLT puhul emissioonid 481-501g CO₂/kg vastavalt kasutatavale liimile, aga Saksamaal 362g CO₂/kg ja Itaalias 408g CO₂/kg. Puitmaterjalide puhul saab välja tuua, et OÜ Puidukoda ehituskonstruksioonipuidu CO₂ emissioonid on 54g CO₂/kg, Soome analoogne keskvärtus on aga 44g CO₂/kg. Heaks üllatuseks on käes olevas töös AS Toftani tootmine, kus on suudetud tänu nutikale tehnoloogiale viia konstruksioonipuidu emissioonid 18g CO₂/kg, olles märkimisväärselt madalamad, kui konkurentidel.

Eesti turule puidust kõrghoone ehitamine ei ole utopia. Kindlasti on oluline luua referentsprojekte ja tegeleda jõudsalt seadusandluse arendamisega, et jõuaksime samuti Skandinaavia tasemele. Eesti on Euroopa suurim puithoonete eksportija, kuid kõrgemate puithoonete ehitamine ja üldse tehasemajade tootmine Eesti turule on jäänud tagaplaanile.

Nagu analüüs näitas on puithoone hind küll 30-50% kõrgem, kuid samas on oluline ka keskkonnasääst ca 30%, mis puidu kasutamisel tekib. Kuluoptimaalse lahendusena pakub autor välja puithoonel õõnespaneelide kasutamise vahelaes.

Käesolevas töös analüüsitud hoone ehituse emissioonid raudbetoonkonstruksioonide puhul 384 kg CO₂/m² suletud netopinna kohta, analoogse puikonstruksioonis hoone puhul aga vaid 271 kg CO₂/m². Kasutades veel täiendavaid meetmeid (puitkiudvillsoojustus, fassaadi katmine ainult laudisega) on võimalik seda väärtust vähendada kuni 254 kg CO₂/m².

Terve kõrghoone puidust ehitada on hetkel veel üsna kallis, kuid autor pakub kuluoptimaalse lahendusena välja hoone vahelagede ehitamise õõnespaneelidest, sest umbes pool ehitusmaksumusest tuleneb vahelagedest. Sama põhimõte käib ka katuse kohta.

Edasi on võimalik uurimusega jätkata arvutades välja kohaliku betooni ja raudbetooni emissioonid ning ka seda võrdluses kasutada. Lisaks on võimalik analüüsida valitud lahenduse mõju Eesti puidusektorile või hoopis uurida, kas hoone tehniline lahendus mõjutab ka müüdava korteri ruutmeetri hinda.

16. Summary

In the last decades the world has started to focus more on climate change, especially global warming and its different forms: natural disasters, extreme weather, sea level rising and so on. The major scientific standpoint is, that climate change is man made and comes from the greenhouse gas carbon dioxide (CO₂) that our industries and transportation emit. CO₂ is considered the most common indicator for analyzing our impact to nature.

The goal of this master thesis is to calculate the CO₂ emissions of local woodconstructionmaterials per functional unit and based on that to find a resourceefficient building solution, that would consider the environmental impact and also the building cost.

This paper is divided in to two sections. Calculating CO₂ emissions for local woodconstructionmaterials and in the second section a real life apartment building was analyzed for both woodconstruction and concrete construction.

In the first section an applicable methodology was found and necessary data collected from manufacturers. From that the CO₂ emissions for different woodconstruction materials where calculated. Estonian construction materials have mostly higher CO₂ emissions then the average European materials, since our electricity is produced from oil shale, witch is highly polluting.

In general the Estonian woodconstructionmaterials are still comparable to European materials. For example AS Toftan constructionwood has emissions of 18g CO₂e/kg (Finnish average 44 g CO₂e/kg), this comes from a smart solution of using wood bark as heating. But another manufacturer Puidukoda has 54g CO₂/kg. Emissions for CLT(cross laminated timber) wood are mostly higher than European counterparts: 501g CO₂/kg and 481g CO₂/kg for different glues in Estonia vs. 362g CO₂/kg average in Germany and 408g CO₂/kg average in Italy. This comes mostly from the higher electricity emissions, since CLT manufacturing involves more energy

In the second section different building cases for a modern 7 story apartment building in Tartu where compared. The current building is concrete based. Its emissions where calculated and compared to different wood based solutions, that where also calculated. The

main solution was to use CLT based building constructions on the floors 2-7 and to compare also different insulation and finishing materials. CO₂ emissions and the cost for all different scenarios were calculated and compared.

As a result it was found that when built as a concrete building, the emissions would be 384 kg CO₂ per neto m². When built similarly, but as a wood construction, the emissions would be 271 kg CO₂/m². That is 30% less, which is quite remarkable. When using different extrasolutions like woodfibre insulation, and wooden cladding on the whole building, this value would sink even further to 254 kg CO₂/m². The price for the different woodconstruction solutions would be 30...50% higher.

As a resource efficient solution the author suggests to use a solution where most of the construction is made from woodbased materials. The author also suggests that the intermittennd floors should be made from hollowcore concrete elements, since CLT solutions for floors are still very expensive.

17. Kasutatud materjalid

Armatuurvardad. Kasutamise kuupäev: 13. 05 2015. a.,: <http://rbb.ee/armatuurtoodete-muuk/>

PAS 2050:2011, P. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. UK: Defra (Department for Environment, Food and Rural), DECC (Department of Energy and Climate Change), BIS (Department for Business, Innovation and Skills).

Alar Just, S. T. (2014). Tuleohutud puitmajad 3. versioon. Tallinn: ET INFOkeskuse AS.

Arcwood. (21. 04 2015. a.). Kasutamise kuupäev: 24. 03 2015. a., allikas www.arcwood.ee: <http://www.arcwood.ee/et/ristkihtpuit>

Austria, H. –H.. Service der Holzforschung Austria. Kasutamise kuupäev: 17. 04 2015. a., allikas [dataholz.com](http://www.dataholz.com): <http://www.dataholz.com/de/index.html>

CDP arenduskeskus. Kasutamise kuupäev: 21. 03 2015. a., allikas www.cpd.ee: <http://www.cpd.ee/?page=viewmember&id=5>

EL võtab kliimameetmete alal juhirolli. (Jaanuar 2015. a.). Keskkond Eurooplastele, Keskkonna peadirektoraadi ajakiri .

EPA. United States Environmental Protection Agency. Kasutamise kuupäev: 17. 03 2015. a., allikas Overview of Greenhouse Gases: <http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/co2.html>

EPD® System. Kasutamise kuupäev: 24. 03 2015. a., allikas www.environdec.com: <http://www.environdec.com/>

European Commission The EU Ecolable. Kasutamise kuupäev: 29. 05 2015. a., allikas ec.europa.eu: http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/index_en.htm

Jane Anderson, P. I. (2010). Carbon leaders briefings. UK: CIRIA.

Keskkonnaminister. (2004). Määrus nr 94 ``Välisõhku eralduva süsinikdioksiidi heitkoguse määramismeetod``.

Oliver, R. (2010). A preliminary assessment of the carbon footprint of American hardwood kiln dried lumber supplied to distributors in the European Union.

parlament, E. N. (9.03.2011). Määrus nr 305/2011.

projekteerimisnormides, E. (1999). "EPN 16.1 Ehitiste heliisolatsiooninõuded; kaitse müra eest". Eesti.

Raado, L. M. (2012). Ehitusmaterjalide valikkursus. Portlandtsement.

Ressursitõhusa Euroopa - Euroopa 2020. aasta strateegia kohane juhtalgatus. (2011)
Brüssel: Euroopa Komisjon.

Rubenstein, M. (5.9.2012). Emissions from the Cement Industry. Colombia University.

Zizzo, R. (2015). Kestlikud materjalid ja ressursid. Green Building Council
koolitusmaterjal. Tallinn.

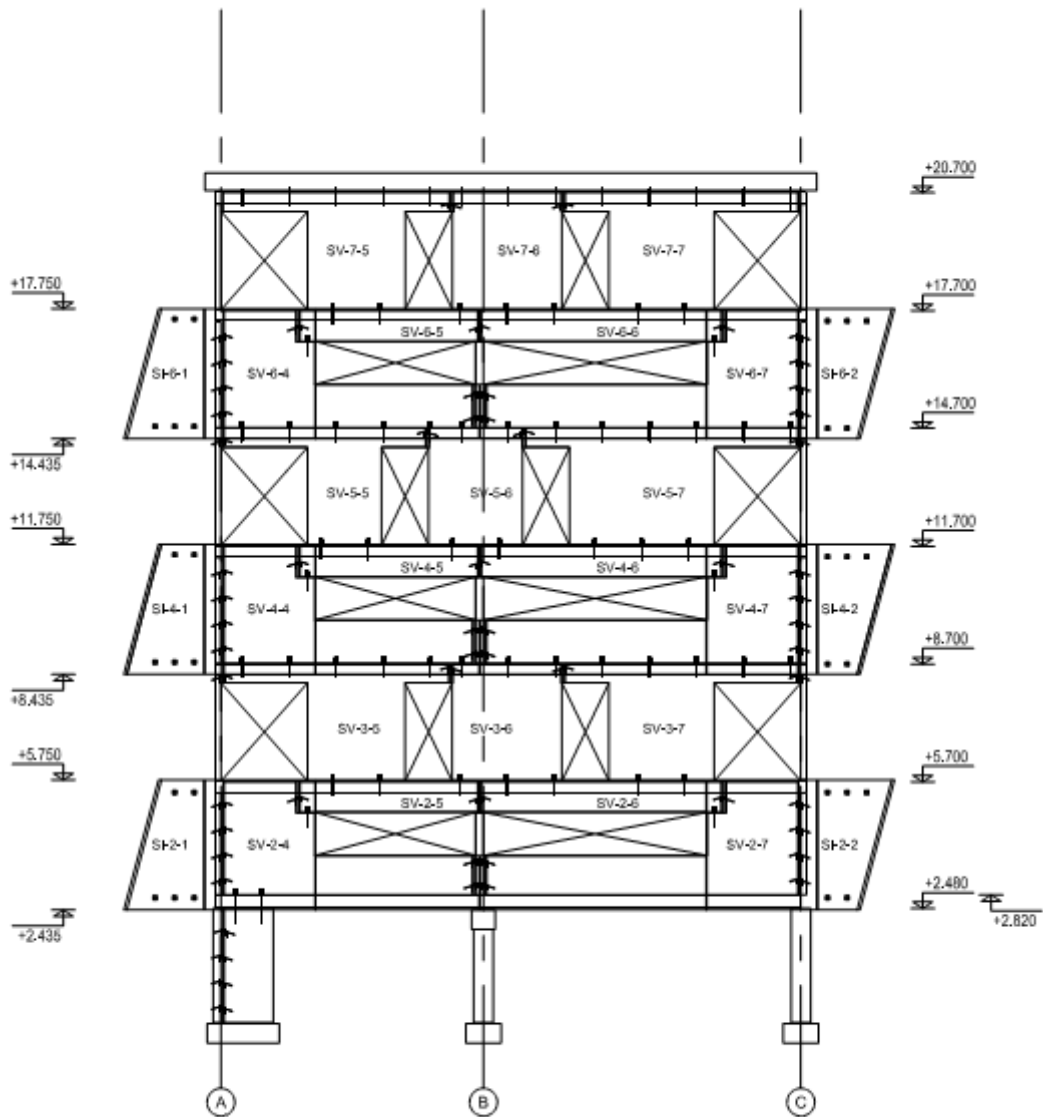
(2013). Tsemendivabrik. Kunda: Kunda Nordic.

Valitsus, V. (1.10.2007). Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded. Määrus
kehtestatakse «Ehitusseaduse» § 3 lõike 11 alusel.

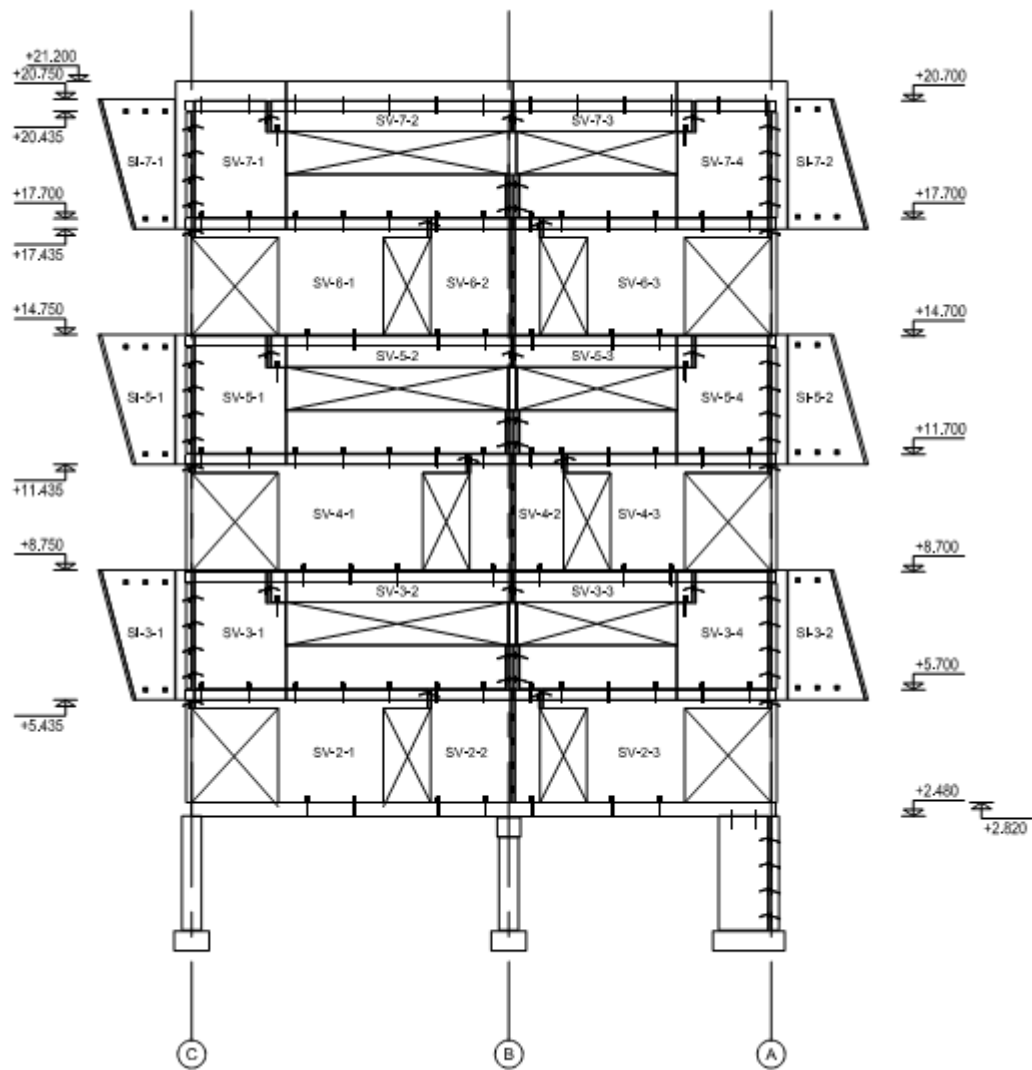
Võrno, I. Keskkonnaministeerium. Kasutamise kuupäev: 28. 03 2015. a., allikas
www.envir.ee: <http://www.envir.ee/et/kasvuhooneefekt-ja-kasvuhoonegaasid-mis-need>

LISA 1. Raudbetoelementide laotused

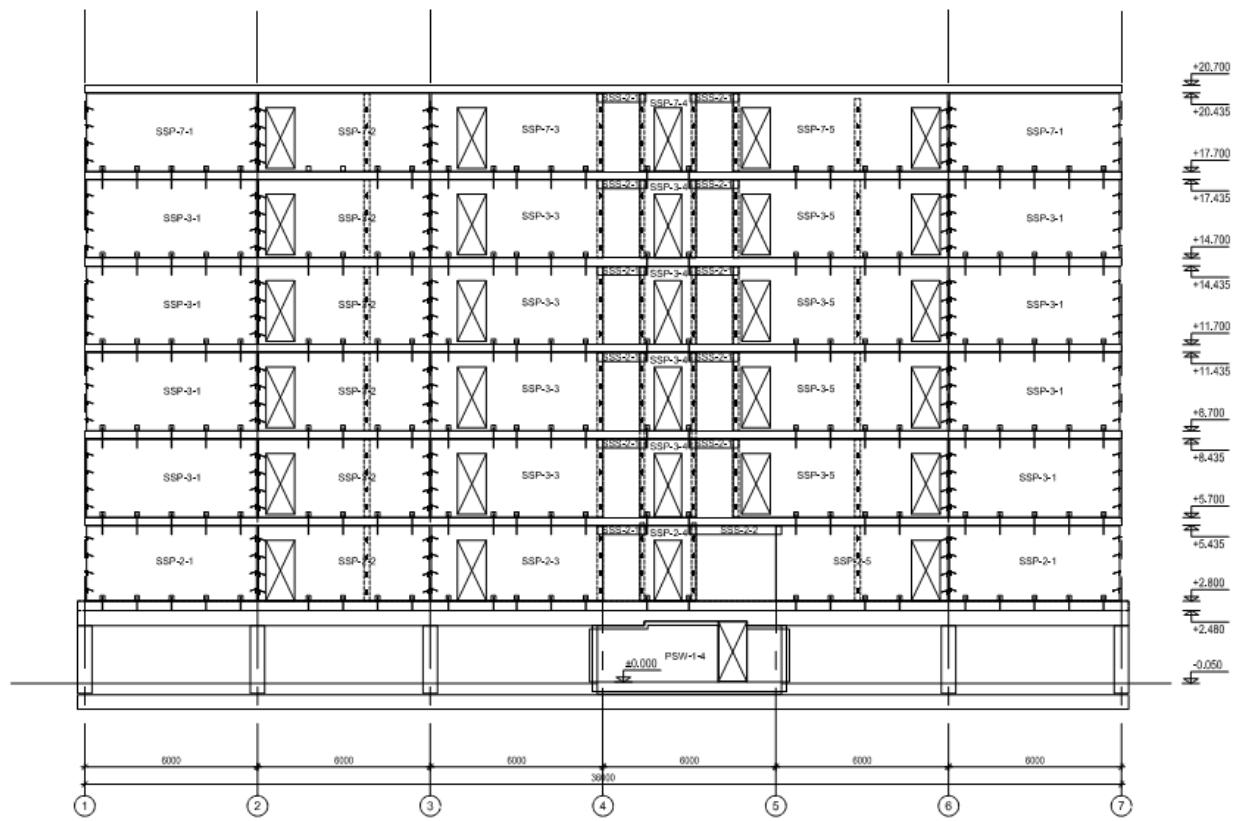
Laotus teljel LA-1



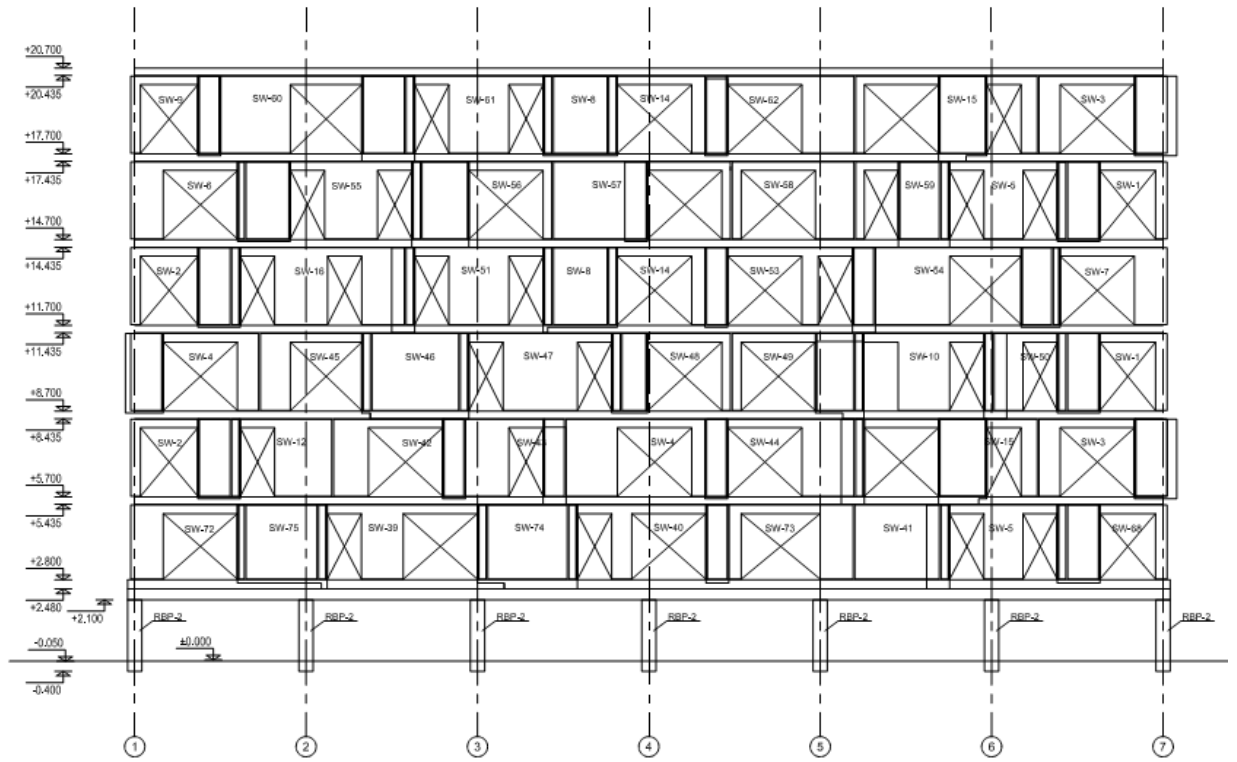
Laotus teljel LA-7



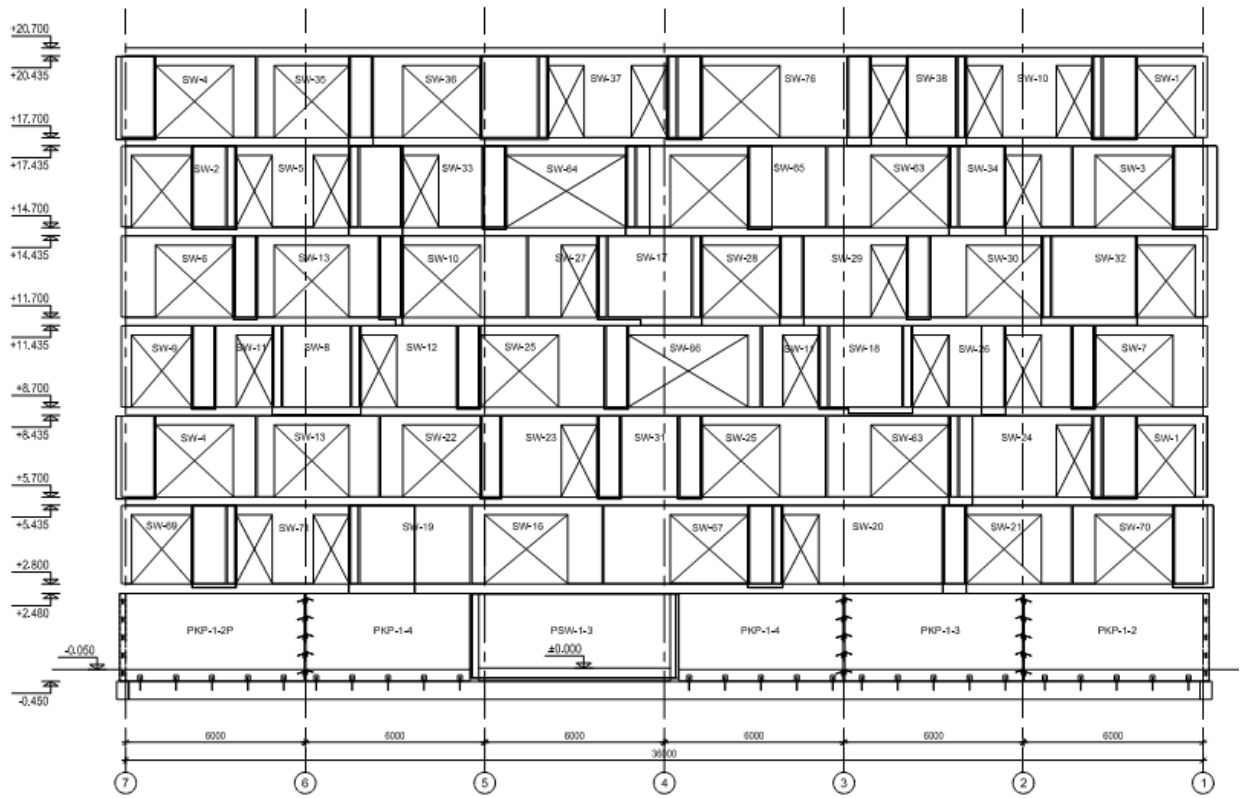
Laotus teljel LA-B



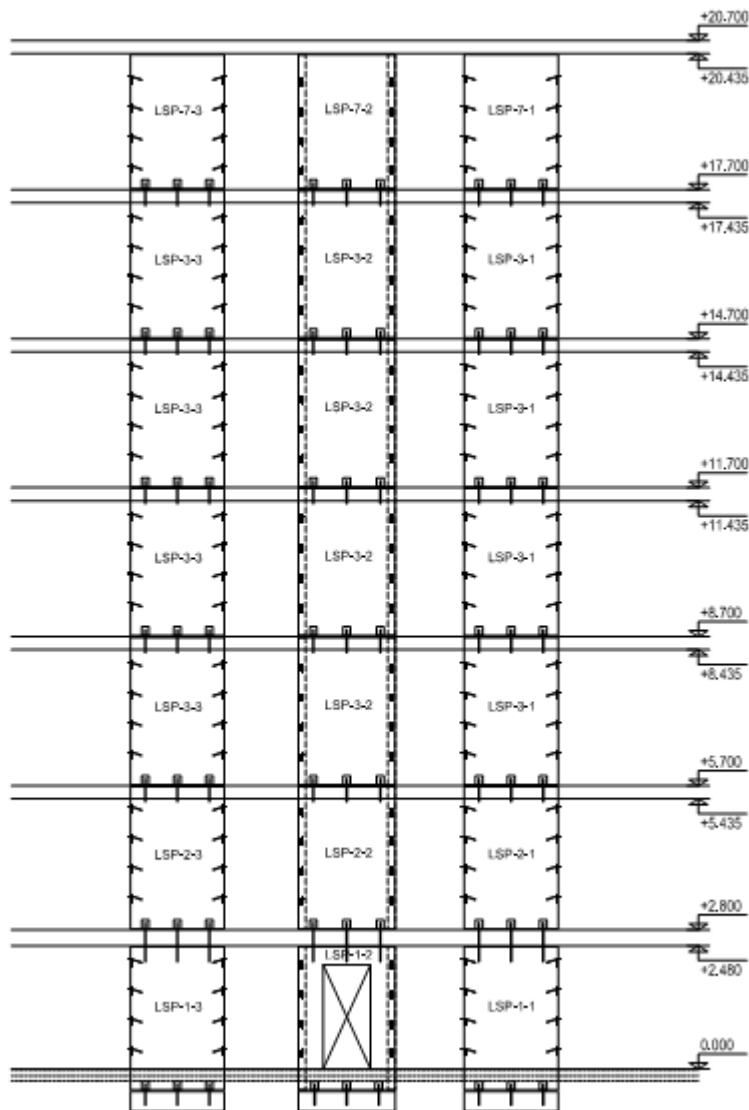
Laotus teljel LA-C



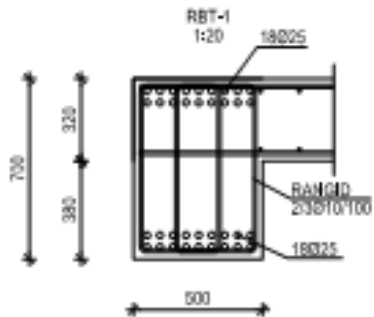
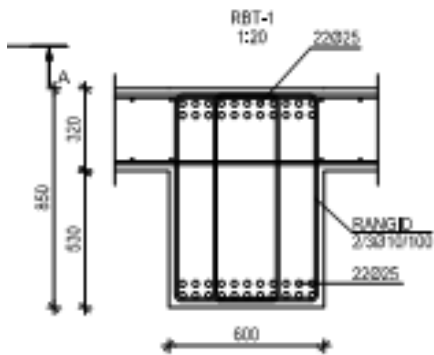
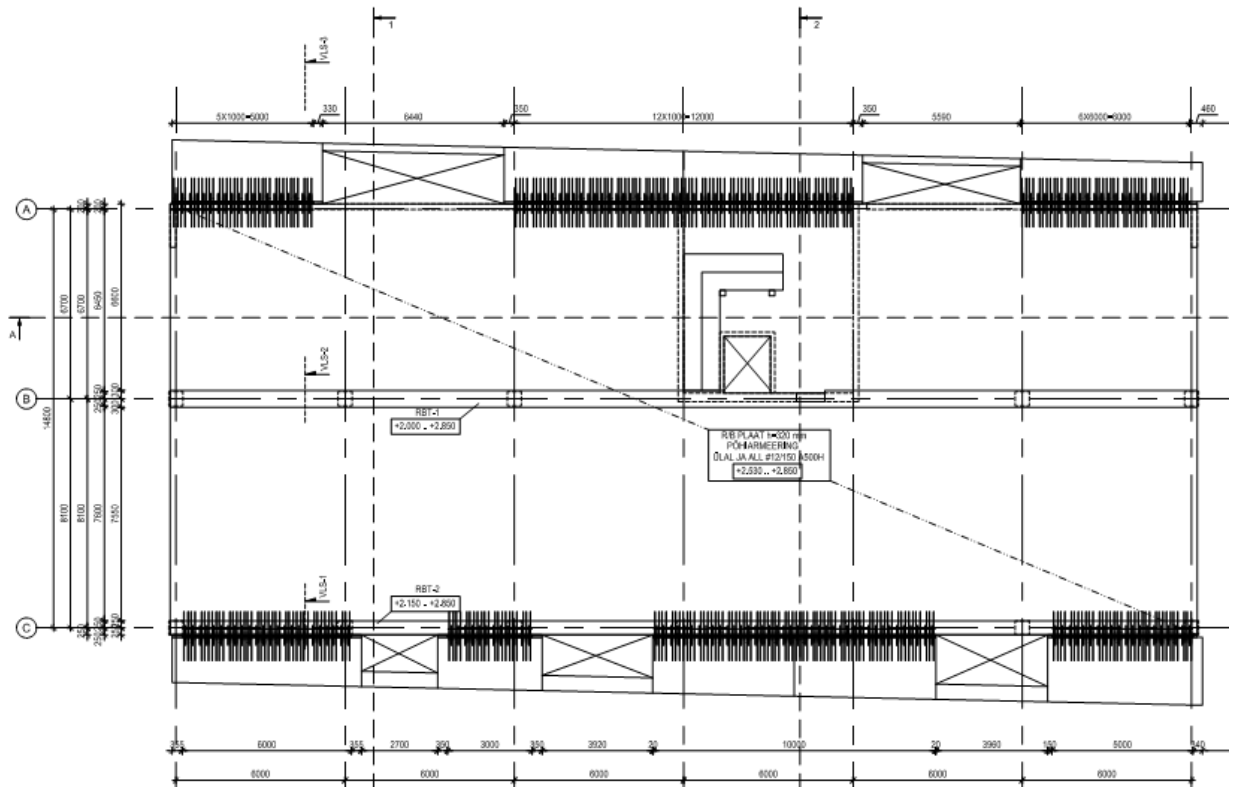
Laotus teljel LA-A



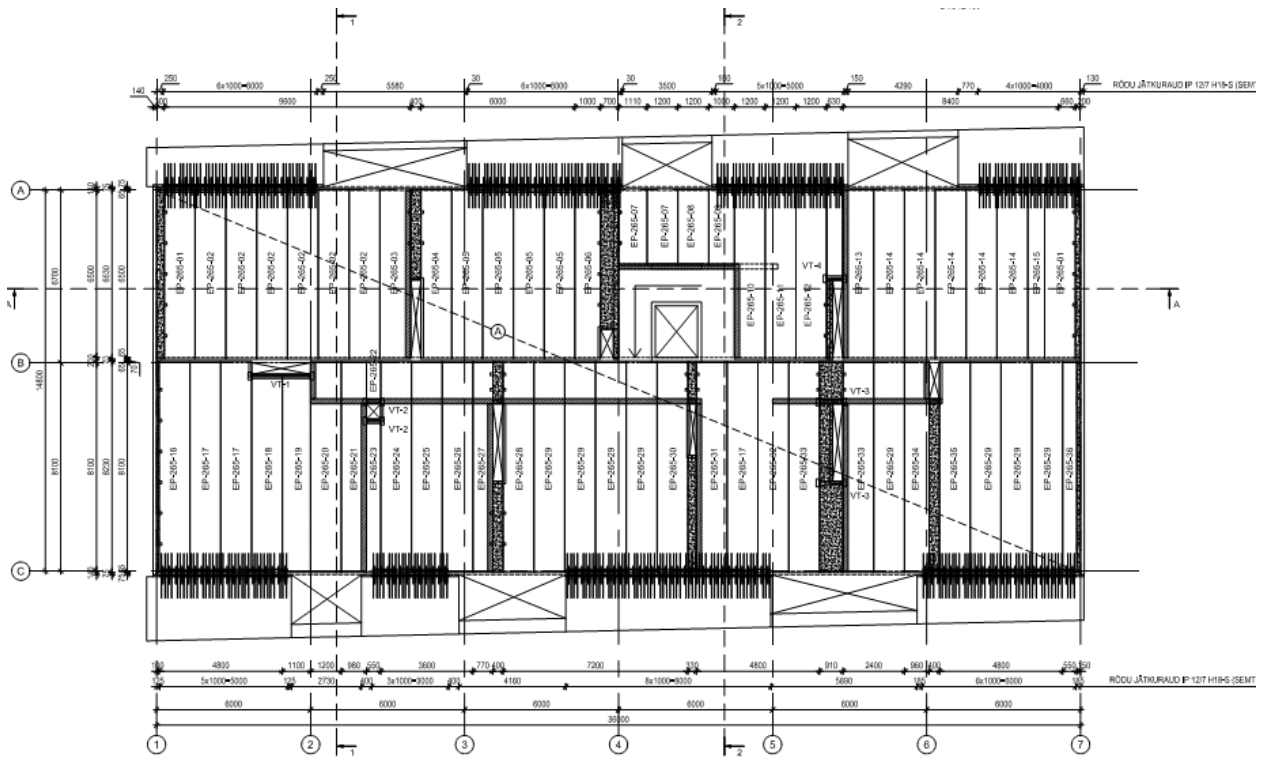
Liftiseinte laotus



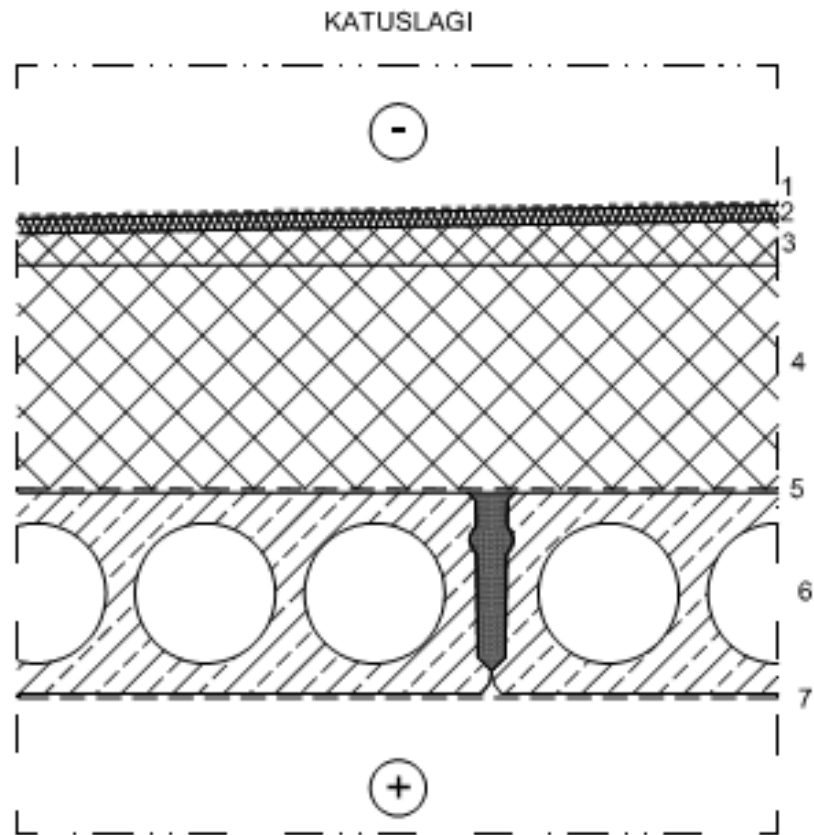
LISA 2. 1. korruse vahelaepiaan



LISA 3. 2-6 korruse vahelaepaan

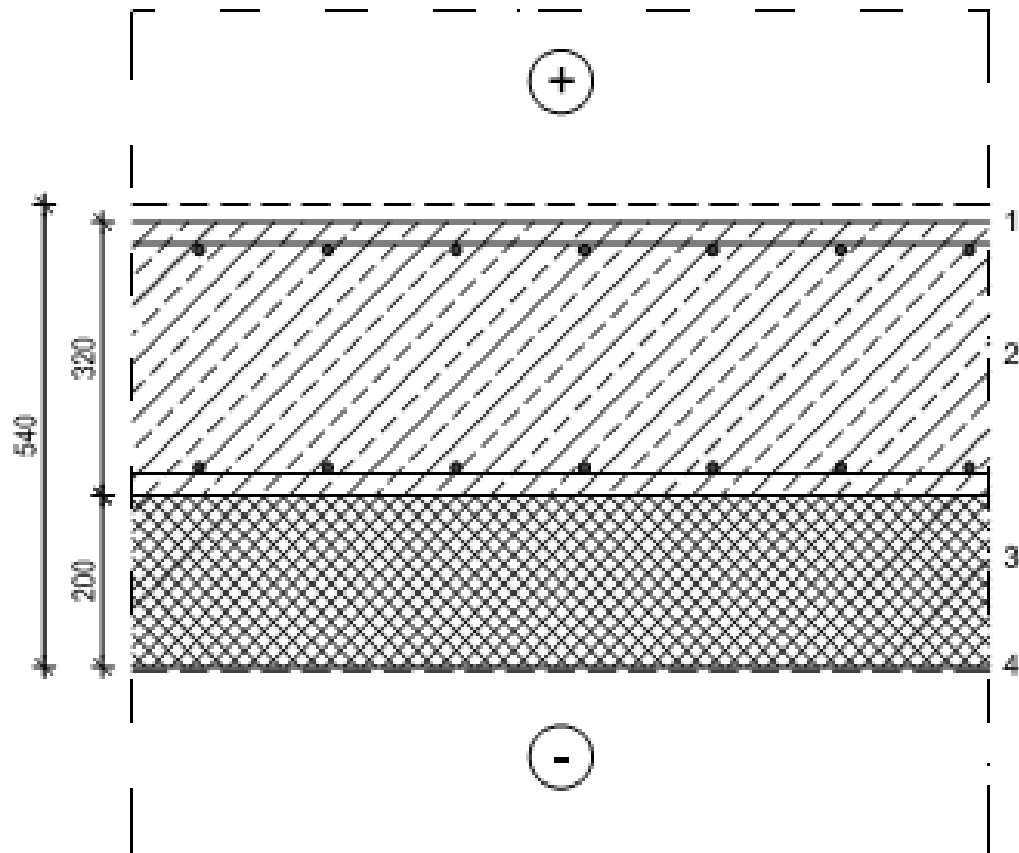


LISA 4. Raudbetoonkonstruktsioonid



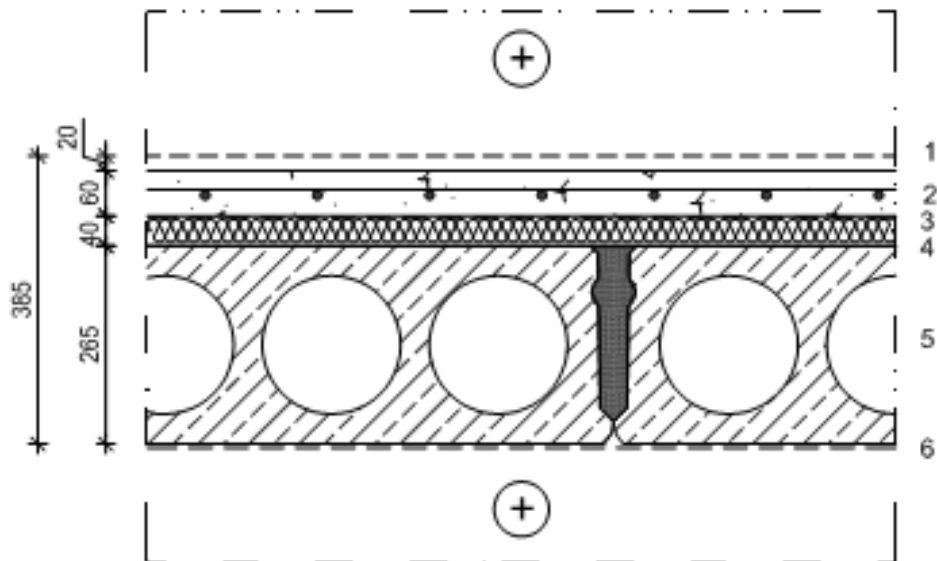
1. KATUSEKATE 2xSBS klass VE80 (RT 85-10799), mln kalle 1:80
2. JÄIK KIVIVILLPLAAT (PAROC ROB 50t või analoogne) paksus 20mm
3. SOOJUSTUS tuulutussoontega vahtpolüstüreen – EPS 60 või analoog, paksus 0...100mm
Klhga tagatakse katuse tuulutus ning antakse vajalikud kalded vastavalt katuse plaanile
4. SOOJUSTUS vahtpolüstüreen – EPS 60 või analoog, paksus 300mm
5. AURUTÖKKEKANGAS (Eurotex AL või analoogse tugevuse ja plastsusega), vuugid telbitud või keevitatud; ülespöörded selntele mln 200 mm, telbitud või kinnitatud mastiksiga.
6. ÕÕNEPANEEL paksusega 265mm, pealsplind karestatud toote valmistajatehases
7. VIIMISTLUSKIHT vastavalt arhitektuurprojektile

PARKLAKORRUSE VAHELAGI



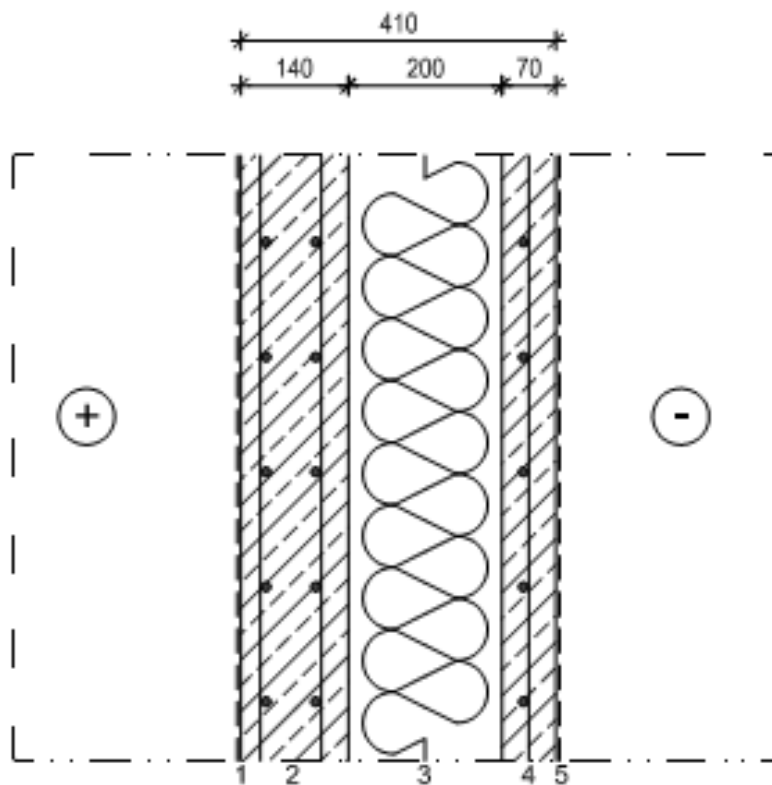
1. PÕRANDA VIIMISTLUSKIHT vastavalt arhitektuurprojektile
2. RAUSBETONPLAAT paksusega 320mm
Betoon C25/30
Kaltsekiht min 35mm
3. VAHTPOLÜSTÜREEN – EPS 80 või analoog, paksus 200mm
4. VIIMISTLUSKIHT vastavalt arhitektuurprojektile

VAHELAGE



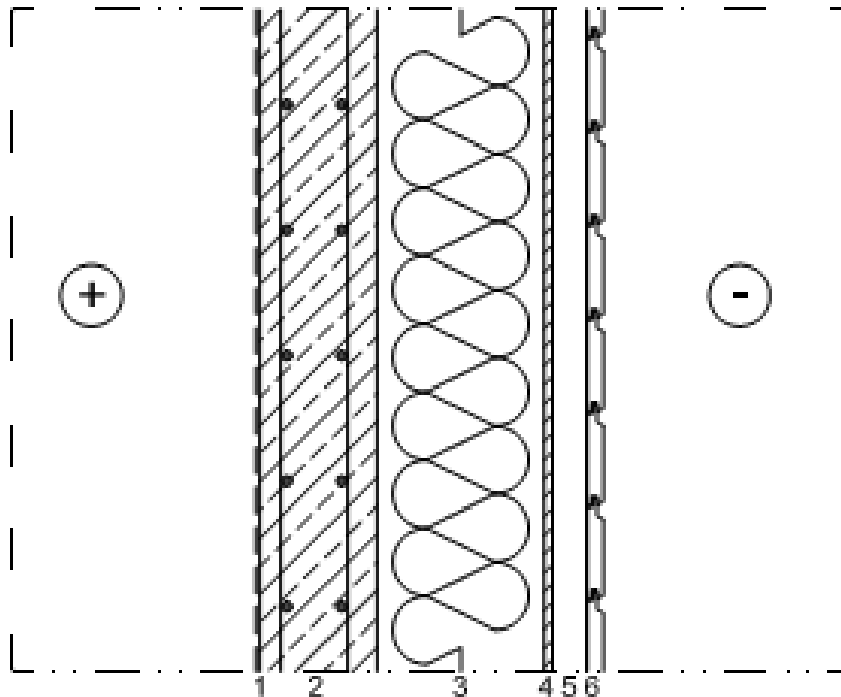
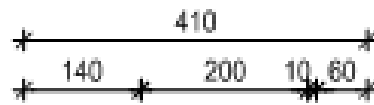
1. VIIMISTLUS 20mm vastavalt arhitektuurprojektile
2. RAUSBETONPLAAT, betoon C25/30 h=60mm
Põrandaplaat armeerida võrguga #6/150 B500B
Põrandaplaadil tasasusklass B (Betoniatlant 2000 By45, L1te 3)
Plaat isoleeritakse 10mm laluse vuugiga kõlgist vertikaal- ja horisontaalkonstruksioonidest (täidetud pehme mineraalvillaga või vuugilindiga)
Plaat jagatakse pealispinda lõigatud mahukahanemisuukidega ca 25m²...36m² üksikplaatideks (8...20 tundi pärast betoneerimist)
3. 2x EHITUSKILE
4. JÄIK MINERAALVILLA PLAAT 40mm, survetugevus min 10 kN/m²
5. ÕONESPANEEL paksusega 265mm
6. VIIMISTLUSKIHT vastavalt arhitektuurprojektile

KANDEV VÄLISSEIN
MONTEERITAV



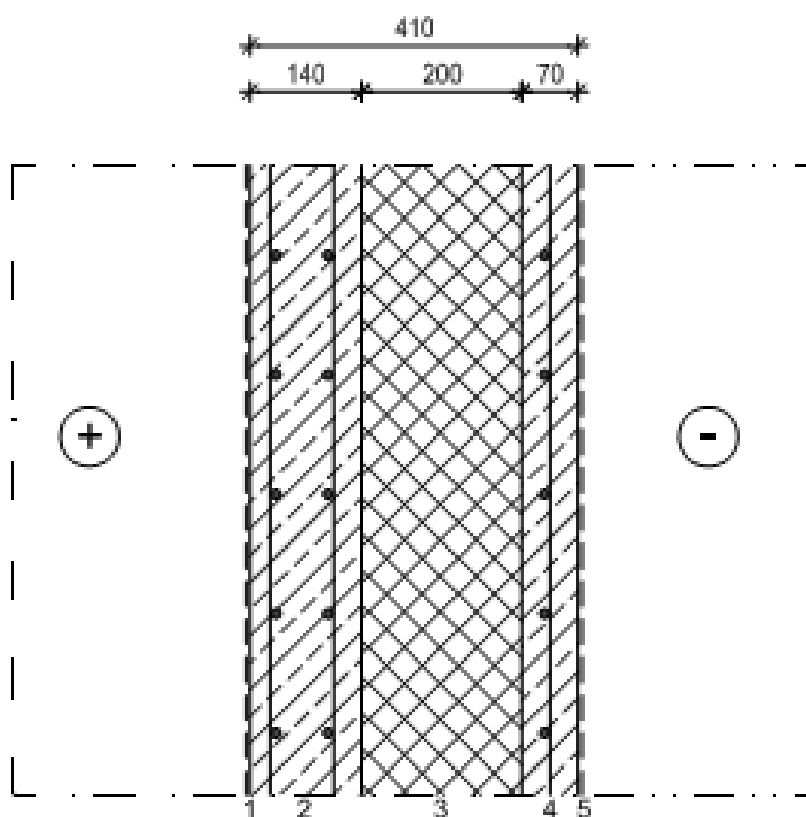
1. VIIMISTLUSKIHT vastavalt arhitektuurprojektile
2. SISEKIHT RAUSBETOONSEIN paksusega 140mm
Betoon C25/30
Kaltsekiht mln. 25mm
3. TUULUTUSSOONTEGA KIVIVILL 200mm
Sooja-erijuhtivus $\lambda = >0.037$ (W/mK)
4. VÄLISKIHT RAUSBETOONSEIN paksusega 70mm
Betoon C30/37
Kaltsekiht mln. 35mm
5. VIIMISTLUSKIHT vastavalt arhitektuurprojektile

KANDEVÄLISSEIN
MONTEERITAV



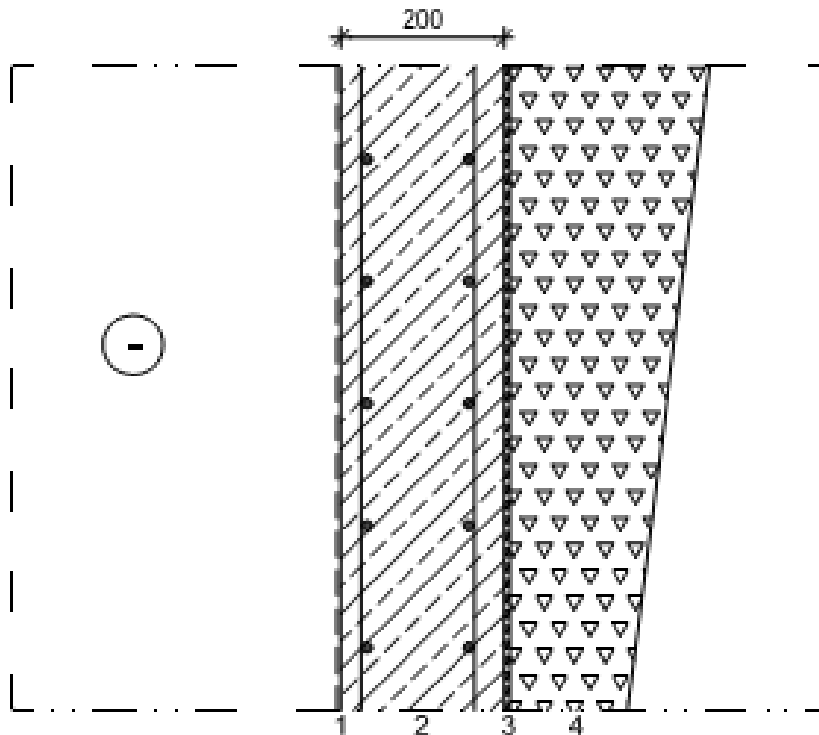
1. VIIMISTLUSKIHT vastavalt arhitektuurprojektile
2. SISEKIHT RAUSBETOONSEIN paksusega 140mm
Beton C25/30
Kaltsekiht mln. 25mm
3. KIVIVILL 200mm + pultkarkass 45x195mm, S-600mm
Sooja-erluhtivus $\lambda = >0.037$ (W/mK)
4. TUULETÕKKEKIPSPLAAT 10mm
5. VERTIKAALNE ROOV paksus vastavalt arhitektuurprojektile
6. HÖRISONTAALNE LAUDIS vastavalt arhitektuurprojektile

PARKLAKORRUSE TREPIKOJA KANDEV VÄLISSEIN
MONTEERITAV



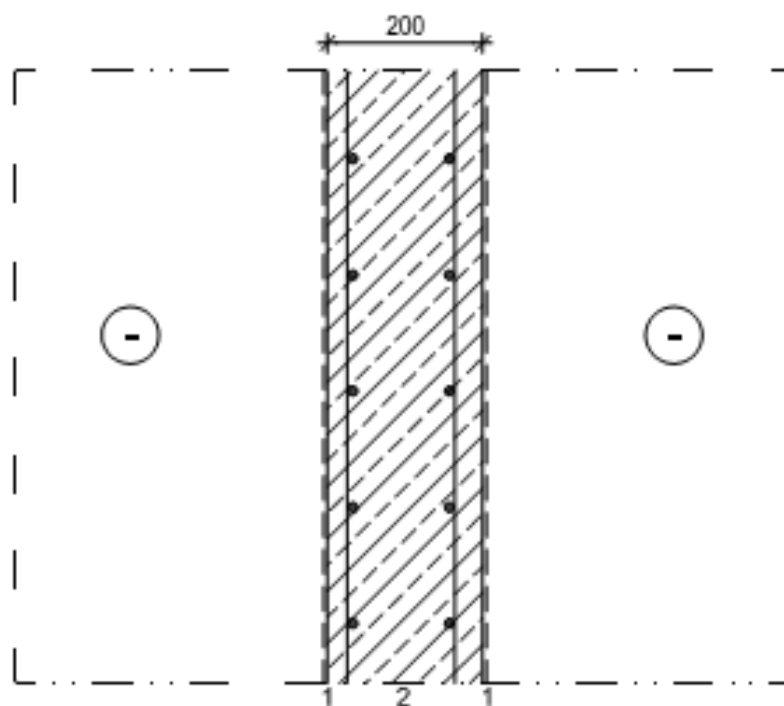
1. VIIMISTLUSKIHT vastavalt arhitektuurprojektile
2. SISEKIHT RAUDBETOONSEIN paksusega 140mm
Betoon C25/30
Kaitsekiht min. 25mm
3. VAHTPOLÜSTÜREEN – EPS 60 või analoog, paksus 200mm
4. VÄLISKIHT RAUDBETOONSEIN paksusega 70mm
Betoon C30/37
Kaitsekiht min. 35mm
5. VIIMISTLUSKIHT vastavalt arhitektuurprojektile

PARKLAKORRUSE SEIN
MONTEERITAV



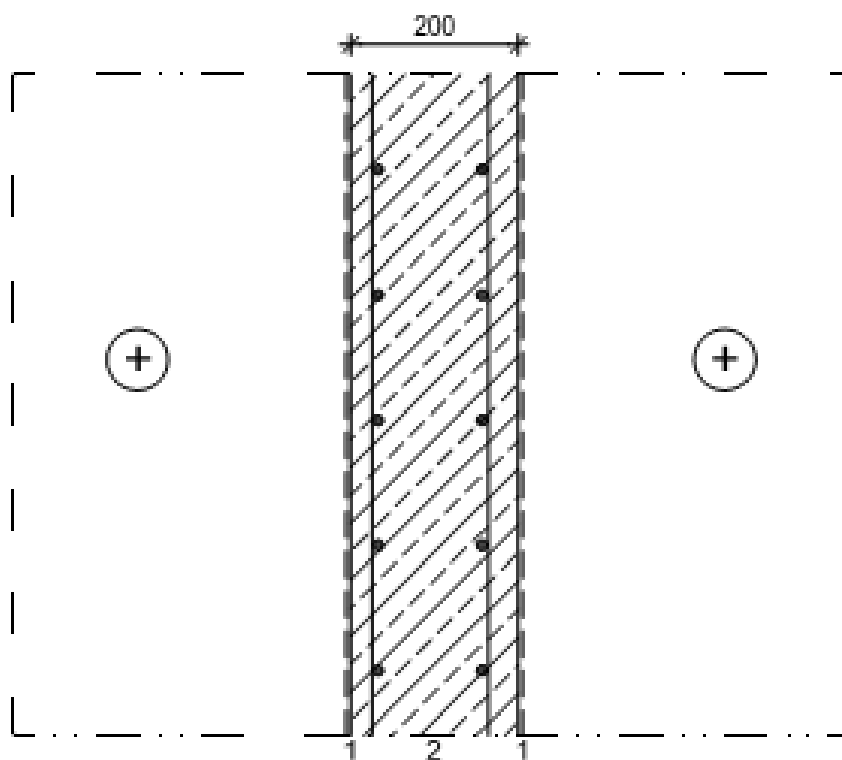
1. VIIMISTLUSKIHT vastavalt arhitektuurprojektile
2. RAUSBETOONSEIN paksusega 200mm
Beton C30/37
Kaltsekht mln. 35mm
3. HÜDROISOLATSIOON
4. DREENIV TAGASITÄIDE

PARKLAKORRUSE SEIN
MONTEERITAV



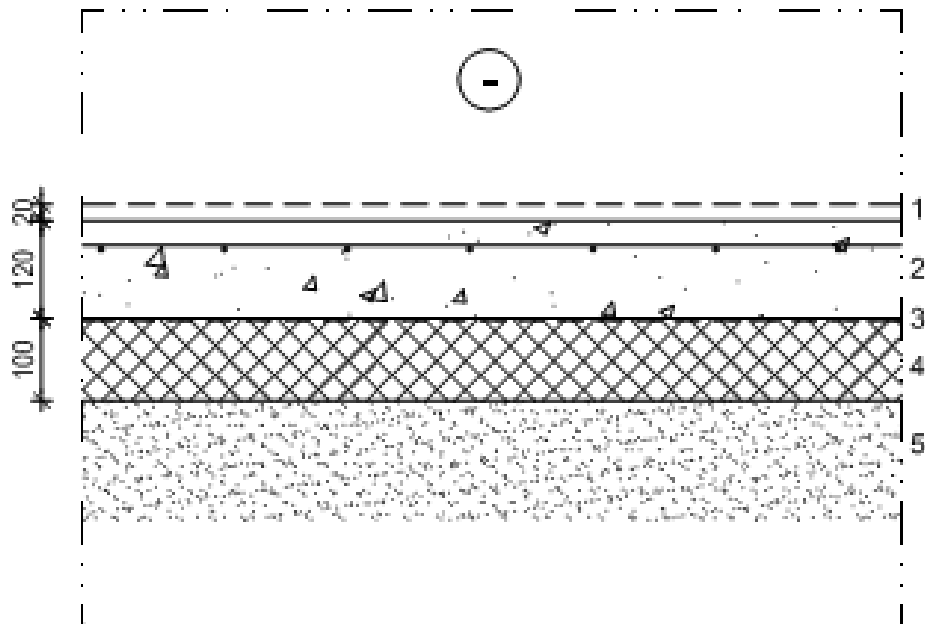
1. VIIMISTLUSKIHT vastavalt arhitektuurprojektile
2. RAUSBETOONSEIN paksusega 200mm
Beton C30/37
Kaltseklht mln. 35mm

KANDEV SISESEIN
KORTERITE VAHELINE SEIN
MONTEERITAV



1. VIIMISTLUSKIHT vastavalt arhitektuuriprojektile
2. RAUSBETOONSEIN paksusega 200mm
Betoon C25/30
Kaltsekht mln. 25mm

TREPIKOJA PÖRAND



1. PÖRANDA VIIMISTLUSKIHT vastavalt arhitektuuriprojektile
2. RAUBBETOONPLAAT paksusega 120mm
Beton C25/30
Kaltsekliht min 35mm
3. HÜDROISOLATSIOON
4. VAHTPOLÜSTÜREEN 100mm (EPS 100 või analoog)
5. 300mm paksuste kihidena tihendatud KESKLIIV
tiheduskoeffitsent 96% looduslikust

LISA 5. Lõige 2-2

