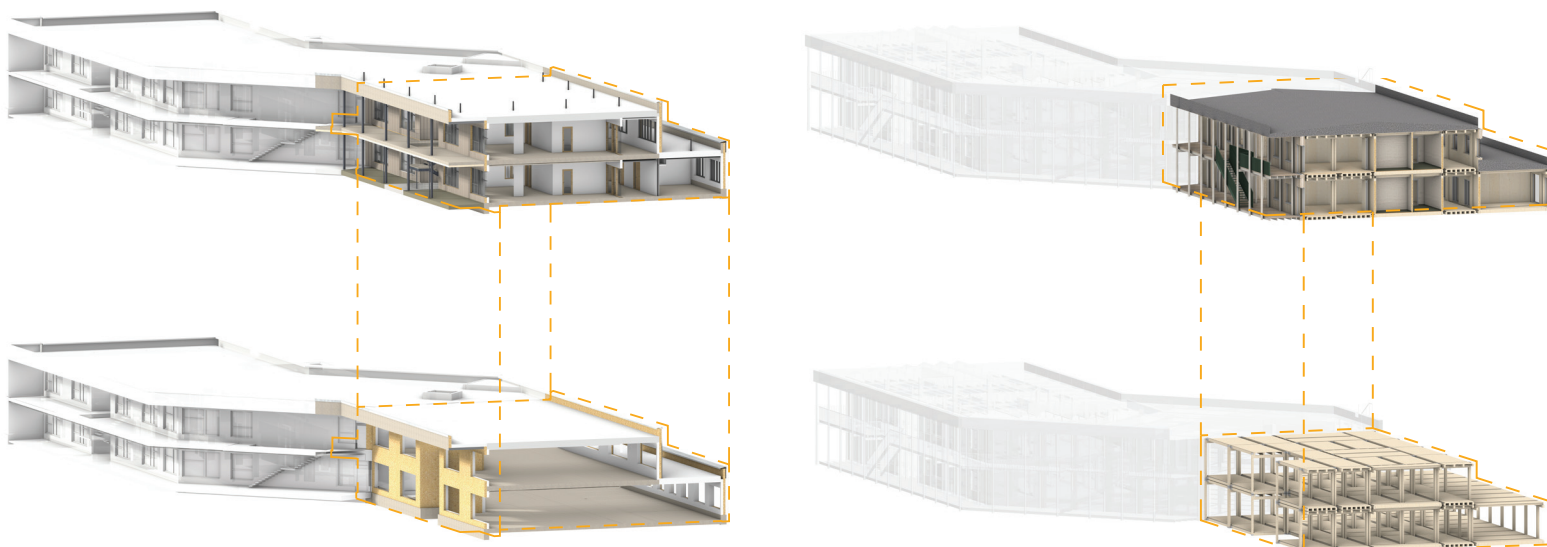


Hoone jalajälje vähendamine kasutades taastuvaid ressursse ja ringmajanduse põhimõtteid



Autorid:

Elina Liiva
Helena Rummo
Renee Puusepp

EKA

PUITARHITEKTUURI KOMPETENSIKESKUS PAKK

Tallinn 2022

Sisukord

Sissejuhatus

2. Keskkonnamõjusid vähendavad tegurid ehituses	4
2.1. Konstruktiivsed materjalid.....	4
2.1.1 Betoon	
2.1.2 Teras	
2.1.3 Puit	
2.1.4 Soojustusmaterjalid	
2.1.5 Vähem levinud biopõhised materjalid	
2.2. Ehitusega seotud viisid, kuidas keskkonnamõjusid vähendada.....	10
3. Kvantitatiivne analüüs	11
3.1 LCA meetod.....	11
3.1.1 LCA arvutused Eestis ja meetodi välja kujundamine	
3.2 Rõõmupesa lasteaia eskiiside võrdlus.....	13
3.2.1 Olelusringi etappide tulemused	
3.2.2 Erinevate hooneosade proportsionaalne panus süsinikujalajälge	
3.2.3 Puit kui süsiniku salvestaja/konstruktsiooni materjal	
3.2.4 Olelusringi lõppetapp	
Kokkuvõte	20
Kasutatud kirjandus	21

Sissejuhatus

Käesolev uurimus koosneb kahest osast. Esimene põhineb mitme uurimustöö analüüsil ning annab ülevaate enim kasutatavate ehitusmaterjalide süsiniku jalajäljest, erinevate hooneosade proportsionaalsest panusest kogu ehitise süsinikujalajälge ning käsitleb ehitusviise- ja põhimõtteid, mille abil keskkonnamõjusid vähendada.

Materjalidest on vaatluse all betooni, terase, puidu ja erinevate soojustusmaterjalide olulusring ning ülevaade erinevatest vähem levinud biopõhistest ehitusmaterjalidest. Detailsemalt on käsitletud puitu. Uurimus avab puidu kasutamise võimalikkust konstruktsioonimaterjalina ning sellest tulenevat hoone jalajälge vähendavat mõju.

Esimese osa viimane peatükk annab ülevaate erinevatest viisidest, mida ehituses rakendada, et vähendada hoone kogujalajälge. See hõlmab endas ringmajanduse ja säästva disaini põhimõtteid, mida tuleks järgida hoone elementide tootmise puhul.

Teine osa uurimusest on kvantitatiivne analüüs Rõõmupesa lasteaia süsinikujalajäljest. Analüüsi käigus võrreldakse lasteaia originaalset/praegust hoonet eskiislahendusega, kus peamise ehitusmaterjalina on kasutatud puidust mooduleid. Võrdlev analüüs on läbi viidud OneClickLCA kalkulaatori abiga ning saadud andmeid esitatakse graafiliselt.

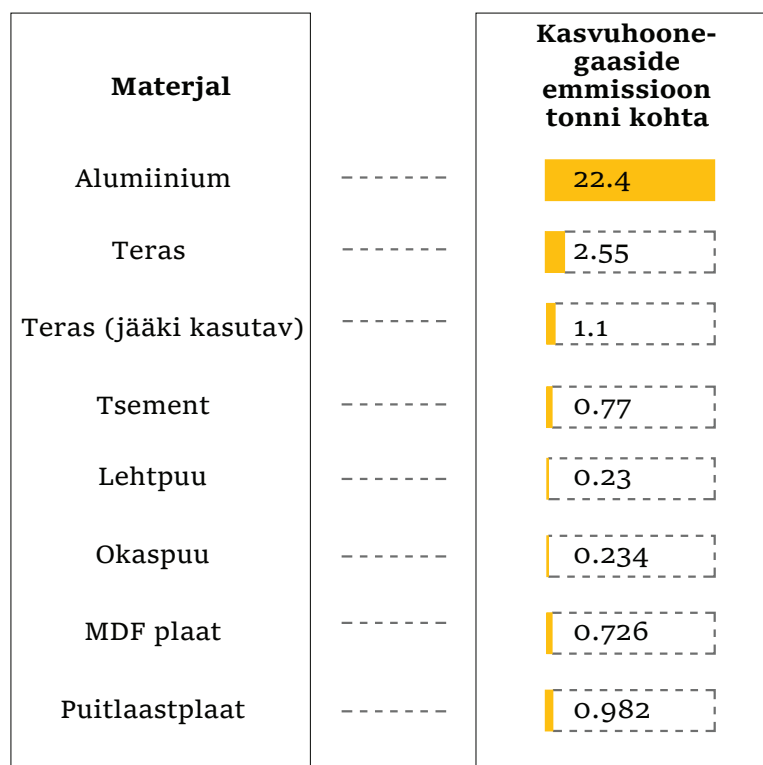
2. Keskkonnamõjusid vähendavad tegurid ehituses

Hoone kogu jalajäljest moodustab suure osa kasutatud materjalide töötlemisel, tootmisel, transpordil ja ehitusprotsessi käigus õhku paiskuv süsiniku kogus. Life-Cycle Assessment (LCA) ehk olelusringi hindamine on meetod, millega hinnatakse toote või teenuse täielikku keskkonnamõju kogu olelusringi vältel.¹ Selline hindamismeetod aitab ehitamisel otsustada kõige keskkonnasõbralikuma materjali kasuks.

Olelusringi hindamine käsitleb materjali kõiki etappe alates toormaterjali kogumisest, töötlemisest ja transpordist kuni selle lagunemise või ära viskamiseni. Näitena võib tuua betooni, mille tootmiseks kuulub väga palju energiat ning ka selle taaskasutamine on küllaltki keeruline. Võrreldes betooniga on puit kordi väiksema jalajäljega ning Eesti kontekstis tuleks ka silmas pidada materjali lokaalsust. Järgnevalt annab käesolev uurimus ülevaate peamiste ehitusmaterjalide olelusringist ning viisidest, mida rakendada vähendamaks ehitusest tulenevat keskkonnamõju.

2.1 Konstruktiivsed materjalid

Peamiselt kasutatavad konstruktiivsed materjalid ehituses on puit, teras, betoon, alumiinium, tellis ja plastik. Välja toodud konkureerivate materjalide emissiooniväärtused on näha alloleval illustratsioonil (illustratsioon 1).²



Illustratsioon 1. Kasvuhoonegaaside emissioon ehitusmaterjalides

Tabelist on näha, et võrreldes teiste materjalidega tekib puidu kasutamisel oluliselt vähem süsinikemissioone, mille puhul on peamiseks heiteallikaks selle töötlemisel kasutatav energia.³

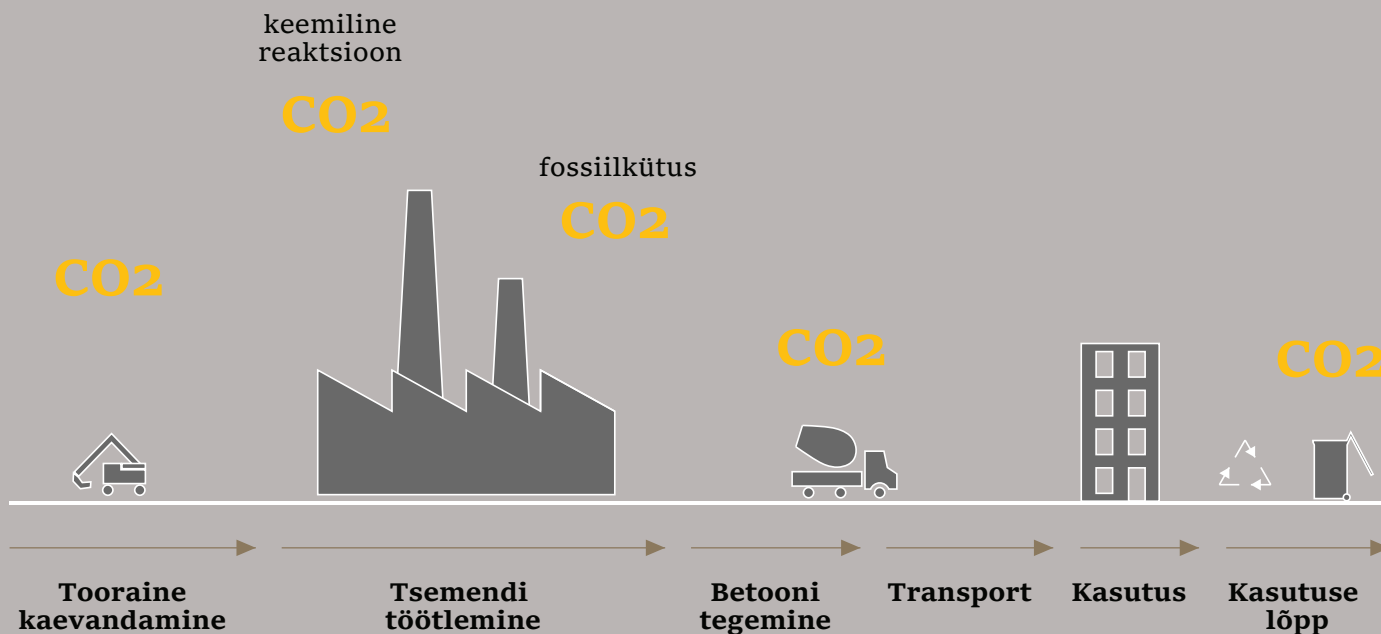
1 E. Liiva, Kompensatsiooniruum: Mis jääb planeeringute ja regulatsioonide vahele. – Eesti Kunstiakadeemia arhitektuuri ja linnaplaneerimise osakonna magistritöö. Tallinn: Eesti Kunstiakadeemia, juuni 2020, lk 40.

2 S. Adhikari ja B.Ozarska, Minimizing environmental impacts of timber products through the production process “From sawmill to Final Products”. – Environmental Systems Research, 2018, lk 6.

3 S. Adhikari ja B.Ozarska, Minimizing environmental impacts of timber products. – Environmental Systems Research, 2018, lk 6.

2.1.1 Betoon

Maailmas kõige laialdasemalt kasutatav ehitusmaterjal on betoon, põhjustades 6–10% ülemaailmsest inimtekkelise süsinikdioksiidi (CO₂) emissioonist. Betooni peamine koostisosa tsement vastutab enamiku betooni süsinikdioksiidi heitkoguste eest. CO₂ eraldub tsemendi tootmisel kahes kohas: ligikaudu 40% tekkivast CO₂-st tuleneb tootmisprotsessis fossiilkütuste põletamisest ja ülejäänud 60% looduslikult toimuvatest keemilistest reaktsioonidest töötlemise käigus. Koostisosade osakaal betoonisegus mõjutab oluliselt selle süsiniku mõju.⁴



Illustratsioon 2. Betooni tootmine

Üks võimalus, kuidas betooni keskkonnasõbralikumaks muuta, on betooni mineraalne karboniseerimise protsess. Protsessi käigus püütakse CO₂ kinni ning seejärel kasutatakse seda betooni kõvendamiseks. Selle tulemusena ladestub CO₂ püsivalt betoontootes. Uuringus “How can carbon be stored in the built environment?” tuuakse välja, et mitme erineva betoonploki olelusringi võrdlemisel on näha, et CO₂-ga kõvendatud Wollastonite-Portlandtsemendi (WPC) ploki GWP (*global warming potential*) võib olla ligikaudu 30% madalam kui tavalisel auruga kõvendatud betoonil. Selline tehnoloogia ei ole veel liiga levinud ning siinkohal tuleb ka arvestada, et kui protsessis kasutatav CO₂ ei pärine atmosfäärist või süsinikdioksiidi kogumise ja säilitamise protsessist, on keskkonnakasu küsitav.⁵

2.1.2. Teras

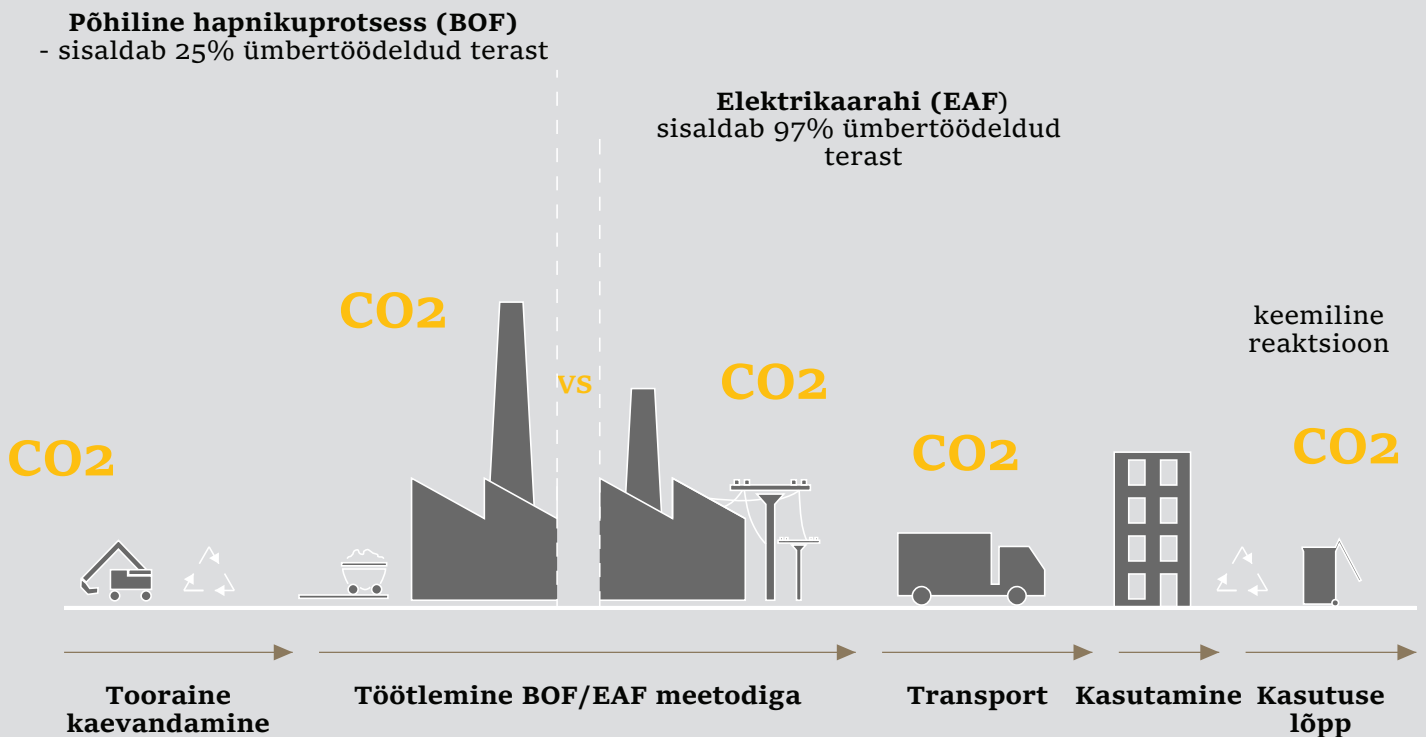
Terast toodetakse kahte tüüpi tehastes. Suured tehased kasutavad tavaliselt aluselisi hapnikuahjusid (*basic oxygen furnaces - BOF*), mis kasutavad kivisütt või maagaasi, et sulatada rauamaaki, kust raud kätte saada. Seejärel segatakse eraldatud raud raua tükkide ning terase jääkidega, et valmistada uut terast. Suurem osa BOF-i sisenditest on kaevandatud toormaterjalid ja ringlussevõetud BOF-i sisaldus on tavaliselt vahemikus 25–37%. Taaskasutatud sisalduse osa on oluline, sest toob endaga oluliselt vähenenud terase süsinikujalajälje.⁶

4 Carbon impact of concrete, <https://materialspalette.org/concrete/> (vaadatud 27.04.2022.)

5 M. Kuittinen, C. Zernicke, S. Slabik, A. Hafner, How can carbon be stored in the built environment? A review of potential options. – Taylor and Francis Group, 2021, lk 6.

6 Carbon impact of steel, <https://materialspalette.org/steel/> (vaadatud 27.04.2022.)

Väiksemad tehased kasutavad vanaraua ja terase sulatamiseks uueks teraseks tavaliselt elektrikaarahjusid (*electric arc furnaces - EAF*), mis ei suuda toorest rauamaaki töödelda. Selle tulemusena on EAF-idel toodetud terases kõrge ringlussevõetud materjali sisaldus. Konstruksiooniteras ei kaota ringlussevõetul ühtegi oma metallurgilistest omadustest (sulamite füüsikaline ja keemiline käitumine), mistõttu on ringlussevõetud terase omadused ja toimivusnäitajad samaväärsed nn. uue terasega. Samuti on oluline, et EAF-i toiteallikaks on elekter, mis puhul on võimalik kasutada taastuvaid energiaallikaid.⁷



Illustratsioon 3. Terase tootmine

2.1.3. Puit

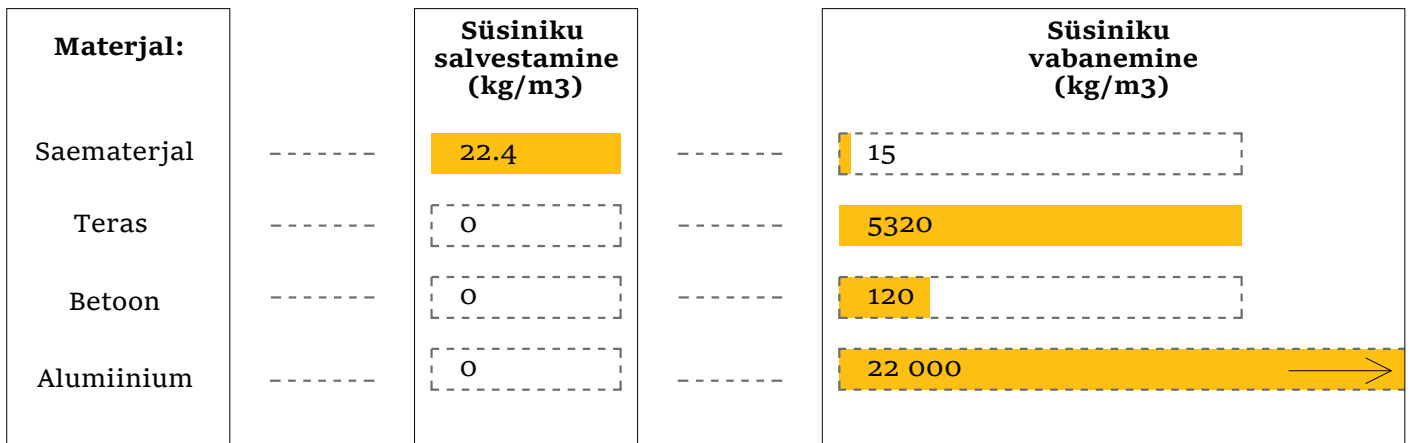
Puud seovad oma eluea jooksul süsinikku ladestades seda oma tüves, juurtes ja ümbritsevas pinnases. See säilib seal kuni puu põleb, laguneb või kui pinnast rikutakse, misjärel CO₂ uuesti õhku eraldub. Seetõttu on metsadel suur potentsiaal siduda atmosfääris olevat liigset süsinikku ning täita oluline roll keskkonnamõjude vähendamise osas. Kliimatundlik metsandus on süsinikdioksiidi heitkoguste vähendamise ja atmosfääri süsiniku sidumise võti.⁸

Erinevalt eelkäsitletud konkurentidest on puittooted osa süsinikuringest. Tänu sellele omadusele on puit ehituses hea ja teadlik valik, seda peamiselt tänu tootmisprotsessi käigus tekkivatele oluliselt madalamale energiakasutusele ning süsinikemissioonidele võrreldes terase ja betooniga.⁹

7 Carbon impact of steel, <https://materialspalette.org/steel/> (vaadatud 27.04.2022.)

8 Carbon impact of wood products, <https://materialspalette.org/wood/> (vaadatud 27.04.2022.)

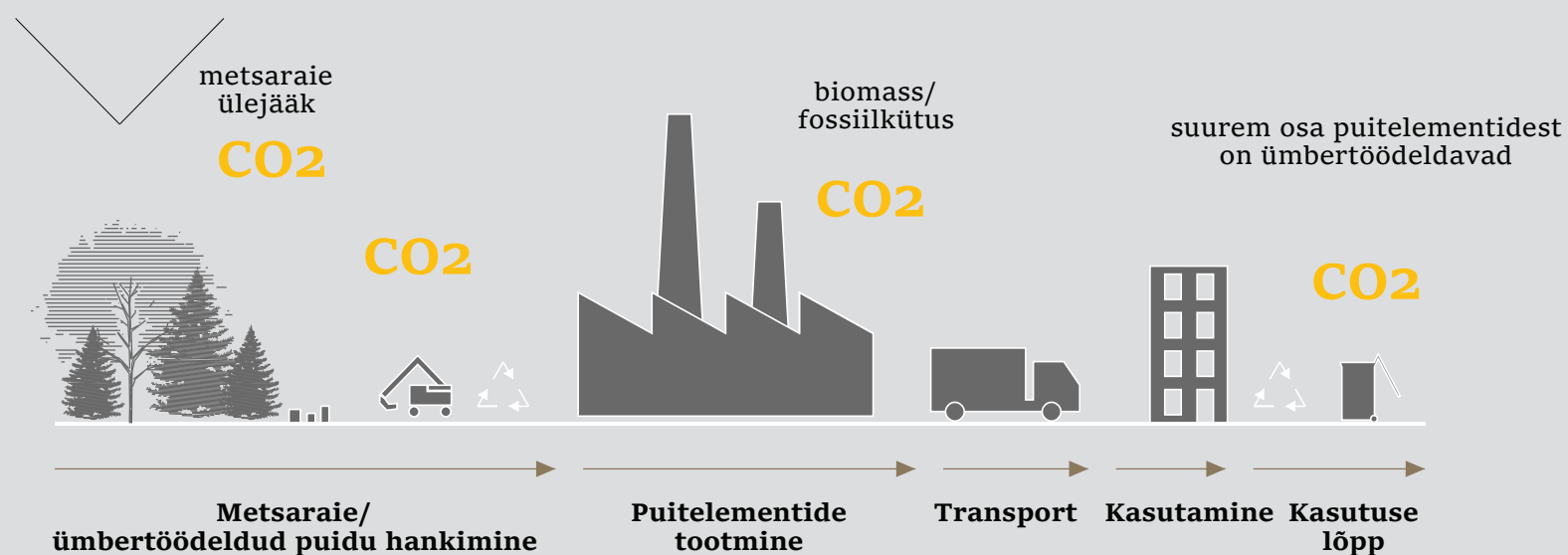
9 S. Adhikari ja B.Ozarska, Minimizing environmental impacts of timber products. – Environmental Systems Research, 2018, lk 7.



Illustratsioon 4. Ehitusmaterjalide süsiniku salvestamise ja vabastamise võrdlus

Puidu puhul tekivad süsinikuheitmed toodete transportimisel, freesimisel ja valmistamisel. Olulist rolli mängib energiaallika valik, mis kogu seda protsessi toidab.¹⁰ Kui tegemist on jätkusuutlikult majandatud metsadest pärit puiduga, on süsinikdioksiidi säilitamine elutsükli jooksul tasakaalustatud, kuna süsiniku salvestamine arvutatakse eluea lõpu etapis emissioonina. Siiski on see salvestatud nii kaua kuni hoone eksisteerib, ja seda saab pikendada järgmisele elutsüklile, kui tooteid taaskasutada või nende materjale ringlusse võtta ilma süsiniku sisaldust kaotamata.¹¹

SEOTUD CO₂



Illustratsioon 6. Puidu tootmine

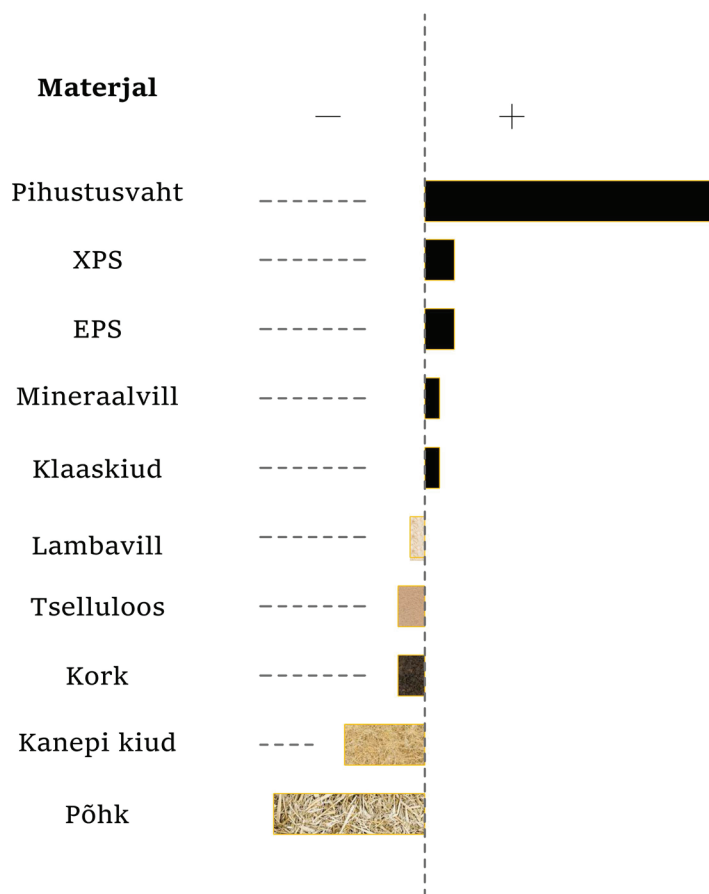
10 Carbon impact of wood products, <https://materialspalette.org/wood/> (vaadatud 27.04.2022.)

11 M. Kuittinen, C. Zernicke, S. Slabik, A. Hafner, How can carbon be stored in the built environment? – Taylor and Francis Group, 2021.

2.1.4. Soojustusmaterjalid

Soojustuse valimisel tuleks peale õhutiheduse jälgida ka teisi materjaliomadusi. Sageli osutub just see aga otsuse tegemisel määravaks. Kui vaadata aga materjali kogu jalajälge, võivad kõige energiatõhusamad materjalid olla kõige suurema keskkonnamõjuga.

Ka soojustusmaterjalide hulgas on neid, mis seovad süsinikku. Puit, põhk, savi, kanep, kork ja lambavill on sellised laialdasemalt kasutusel olevad soojustusmaterjalid. *Polystyrene (XPS)*, *expanded polystyrene (EPS)*, *spray foam*, *polyisocyanurate (Polyiso)* on kõik tooted, mis on valmistatud nafta baasil ning on sellest tulenevalt väga suure süsiniku jalajäljega.¹²



Illustratsioon 7. Soojustusmaterjalide võrdlus.

2.1.5. Vähem levinud biopõhised materjalid

Lisaks puidule kasutatakse ehituses ka palju muid orgaanilisi kiude. Tüüpilisemad näited on bambus, põhk ja kanep. Küll aga on suured ehitusmaterjalide tootjad osava turunduse kaudu tihtipeale lämmatanud huvi ja julguse kasutada looduslikke ehitusmaterjale. Keerulise olukorra loovad ka ehitusseadus ja paljud eeskirjad ning määrused, mis nõuavad ainult serditud materjalide tarvitust. Looduslikke materjale ja nende omadusi on aga raske standardiseerida.¹³

Bambus on kiiresti taastuv ning mitmekülgne ehitusmaterjal. Bambust saab kasutada nii postidel põhineva konstruktsiooni ehitamisel (tellingutena, katusel, karkasselementidena ja ka betooni tugevdusena) kui ka valmis toodetes. Valmis tooted hõlmavad erinevaid konstruktsiooni elemente, viimistlusi ning akustilisi ja konstruktsiooni paneele. Bambuse kasutamisel ehitusmaterjalina on palju eeliseid, sealhulgas selle head mehaanilised omadused, tõmbetugevus, elastsus ja kulutasuvus. Bambusel on suurem

12 E. Liiva, Kompensatsiooniruum.– Eesti Kunstiakadeemia, Tallinn: Eesti Kunstiakadeemia, juuni 2020, lk 42.

13 M.-J. Miljar, Looduslähedased materjalid ökoehituses. – Eesti Loodus, aprill 2019.

survetugevus kui betoonil ja ligikaudu sama tugevuse ja kaalu suhe kui terasel.¹⁴

Põhk on tüüpiline põllumajanduse jääk, mida on ehituses kasutatud juba ammu ajast. Kõige tüüpilisemad kaasaegsed ehituslikud kasutusalaad on põhuplokid, mis kinnitatakse kandva puitkarkassi vahele või põhu-savi segu, mida saab valada erinevatesse konstruktsioonidesse.¹⁵ Põhu kasutamisel on palju eeliseid, sealhulgas materjali süsiniku sidumine, madal hind, kättesaadavus, tulekindlus ja isolatsiooniväärtused.¹⁶

Kanepit kasutatakse piirkonniti rahvapärases arhitektuuris või ökoloogilises ehituses. Kanepikiude saab kasutada ka betooni või erinevate komposiitide valmistamiseks. Tööstusliku kanepi istanduse aastane süsiniku sidumise potentsiaal on ligikaudu 0,67 t/ha ning kanepi süsinikusisaldus ligikaudu 2 kgCO₂/kg.¹⁷ Kanep seob süsinikku nii enda varres kui ka seda mulda talletades. Seotud süsiniku hulk sõltub kanepi tüübist, selle kasvatamise kohast, viisist ning koristusmeetoditest.¹⁸

Üks väljakutse biopõhiste materjalide puhul on nende kuuluvus mitmetesse süsteemidesse, kus iga osapool saab väita, et tema etapis toimub süsiniku salvestamine, mida ilmestab järgnev:¹⁹

An example is a timber beam: a harvested wood product that can be integrated as an end product of forest industry and calculated as such in a forest LCA (Taverna et al. 2007). It is also a bio-based building material that can be taken as an input for the building industry (Head et al. 2020). Finally, at the building's end of life, this product may be used by the energy industry to generate heat or electricity (Müller et al. 2004). The same matter is produced and used in different technical systems through cascading logic (Mehr et al. 2018). If 'double counting' is to be avoided, then the multiple use of the same material requires clarity. An allocation to the different technical systems needs to be defined.²⁰

Seega on tähtis määratleda, millises eluetapis arvestatakse süsiniku salvestamist, et ei toimuks tulemuste dubleerimist ning mitmekordistamist. Infovahetus peab olema läbipaistev erinevate osapoolte vahel ning kõige selgem oleks kui süsiniku salvestamist arvestatakse planeeritava hoone etapis ehk süsiniku salvestamist arvutatakse hoone materjali koguste järgi.

Uuringud on võrrelnud viite erinevat seinatüüpi: põhkseina (puitkonstruktsiooniga), kanepiplokiseina, klaasvillaga puitseina, tellis- ning betoonseina. Tulemustelt oli betoonil suurim kahjulik mõju ning sellele järgnesid tellis- ning puitsein. Põhu- ja kanepiseinte mõju on kõige väiksem globaalsele soojenemisele, sest erinevalt metsasaadustest ei vaja nende tootmine pikki rotatsiooniperioode ja süsiniku salvestamise võime on kõrge kui see on kasutuses paksu soojustuskihina välisseinas. Näiteks on kanepiseina puhul juba üks aasta peale saagi koristust taastunud viljapõldudel täielikult toodetes sisalduv biogeenne süsinik, mis kompenseerib täielikult tootmisest ja ehitamisest tulenevad esialgsed kasvuhoonegaaside heitkogused.²¹ Seega annavad kiiresti kasvavad biopõhised materjalid, nagu põhk ja kanep, paljulubava võimaluse hoonete süsiniku jalajälje vähendamiseks. Puitseina aga ei saa pidada alati täielikult kliimanetraalseks, sest süsiniku sidumine puitelementides ei kompenseeri täielikult kasvuhoonegaaside väljasaatmist toote kasutusperioodi jooksul.²¹

14 Carbon impact of bamboo, <https://materialspalette.org/bamboo/> (vaadatud 27.04.2022.)

15 M. Kuittinen, C. Zernicke, S. Slabik, A. Hafner, How can carbon be stored in the built environment? – Taylor and Francis Group, 2021, lk 5.

16 Carbon impact of straw-bale, <https://materialspalette.org/straw-bale/> (vaadatud 27.04.2022.)

17 M. Kuittinen, C. Zernicke, S. Slabik, A. Hafner, How can carbon be stored in the built environment? – Taylor and Francis Group, 2021, lk 5.

18 Carbon impact of hempcrete, <https://materialspalette.org/hempcrete/> (vaadatud 27.04.2022.)

19 Hoxha, Endrit & Passer, Alexander & Saade, Marcella & Trigaux, Damien & Shuttleworth, Amie & Pittau, Francesco & Allacker, Karen & Habert, Guillaume. Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods - Buildings and Cities, 2020, lk 504

20 Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods - Buildings and Cities, lk 504.

21 Pittau, Francesco & Krause, Felix & Lumia, Gabriele & Habert, Guillaume. Fast-growing bio-based materials as an opportunity for storing carbon in exterior walls. Building and Environment. 2017. Lk 126

2.2 Ehitusega seotud viisid, kuidas keskkonnamõjusid vähendada

Keskkonnasõbralikemate materjalide kasutamine ei taga veel hoone jätkusuutlikkust ja väikest süsinikujalajälge. Isegi kui tegemist on puiduga, peab jälgima, et see pärineks jätkusuutlikult majandatud metsast, muidu pole ka see keskkonnasõbralik valik. Samuti tuleb silmas pidada, et materjale tuleb kasutada õiges kohas, ka betoonil ja terasel on oma koht - näiteks vundamendi puhul. Hoone jalajälje arvutamisel arvestatakse hoonet kui tervikut. See tähendab, et lõplikku tulemust mõjutavad kõik hoone komponendid, nende eluiga ning ka hoone energiatarbimine. Seega ei saa reeglina võtta, et alati peab kasutama kõige keskkonnasõbralikemaid materjale. Võib olla ka olukordi, kus väiksem kogujalajalg on võimalik saavutada, kui mõnes kohas on kasutatud näiteks puidu asemel betooni põhjendusega, et see tagab hoone pikema eluea. Sarnaseid kalkulatsioone peaks hoone projekteerimise käigus pidevalt läbi mõtlema.

Tulevased jätkusuutlikud linnad ja kogukonnad peaksid endale eesmärgiks seadma minimaalse tooraine tarbimise, ehitusjätmete säästva käitlemise ja ehitusprotsesside käigus tekkiva saaste vähendamise, hoonete toimimise ja nende kasutusea lõppemise stsenaariumid. Seda on võimalik saavutada ringmajandusel põhineva disainiga – kauakestev disain, mis eeldab piisavat hooldust ja remonti, taaskasutamist või ümbertöötlemist ehitatud keskkonnas.²²

Arhitektuuris on ringmajanduse põhimõtted seotud Cradle-to-Cradle disainikontseptsiooniga, mille eesmärk on käsitleda linnu, hooneid ja materjale pidevate bioloogiliste ja tehnoloogiliste ringluste osadena. Ringmajandusel põhinev disain kasutab selliseid kontseptsioone nagu Upcycling või Superuse, mille eesmärk on luua väärtust kasutuselt kõrvaldatud ehituselementidele ja materjalidele.²³

Näiteks tehases tootmine aitab vähendada materjali jääke ning neid on töö kõrvalt kerge kokku koguda. Nii saab jääke otse järgmise tehase/toote tarbeks kasutada. Puidu puhul nimetatakse taolist protsessi kaskaadkasutuseks. Ringmajandus ehitatud keskkonnas toob esile säästva ehituse põhimõtted nagu lahtivõtmisega arvestava disaini, olelusringi hindamise, ümber muudetava ehituse ning kohandatava, paindliku ja avatud arhitektuuri põhimõtteid.²⁴

22 U. Kozminska, Circular Economy in Nordic Architecture. Thoughts on the process, practices, and case studies. – IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020.

23 U. Kozminska, Circular Economy in Nordic Architecture. – IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, lk 2.

24 U. Kozminska, Circular Economy in Nordic Architecture. – IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, lk 2.

3. Kvantitatiivne analüüs

3.1 LCA arvutusmeetod

Kvantitatiivses analüüsis teostasime **LCA** (*Life Cycle Assessment*) ehk olelusringi hindamise kahele lasteaiaprojektile: ehitusse minev originaalprojekt ning võrdluseks loodud mustermaja lasteaiad.

Kasutatav LCA meetod on standardiseeritud tööriist, et hinnata toodete ja ehitussüsteemide keskkonna mõjusid. LCA koostamine põhineb toote keskkonnadeklaratsioonidel ehk EPD-l (*Environmental Product Declaration*). EPD-d omakorda järgivad konkreetseid standardeid ning reegleid. Lisaks on andmete usaldusväärsus tagatud kolmanda osapoole sõltumatu kinnitusega (verifitseerimisega).

EPD-d ja LCA abil saab ülevaate hoone keskkonnamõjude kohta kogu selle elukaare ulatuses. Arvutuste käigus hinnatakse hoone kujunemise tervet elukaart: toormaterjalist hoone lammutamiseni. LCA arvutamise etapid on jaotatud 4. peamisesse osasse:



Illustratsioon 8. LCA etapid.

A1-3 tooteetappi koondatakse toormaterjali peale kuluvad ressursid: toore ise, selle transport ning töötlemine.

A4-5 etapis kaardistatakse ehitusprotsessi kulutatavad ressursid: transport ja ehitus.

B1-7 etapis kujundatakse hoone tarbimismahud. Sinna alla loetakse hoone kasutamise ressursse, selle hooldust, parandamist ning uute elementide asendamist. Lisaks hinnatakse kui suureks võib kujuneda hoone energia- ja veekasutus.

C1-4 etapis vaadeldakse hoone elukaare lõppetappi: kui palju kulub ressursi hoone lammutamisele ning kõrvaldamisele.

3.1.1 LCA arvutused Eestis ja meetodi välja kujundamine

Nii olelusringi hindamine kui ehitusmaterjalide keskkonnadeklaratsioon on mitmetes Euroopa riikide ehitussektoris muutunud nõudeks. Näiteks muutus 2022. aastal Norras ja Rootsis kohustuslikuks, et ehitusmaterjalid oleksid EPD sertifikaadiga. Ka Soome on hetkel koostamas riiklikku regulatsiooni.²⁵ Eestis on hetkel käsil meetodi välja töötamine, et hinnata süsiniku jalajälje osakaalu ehitussektoris. Meetodit töötatakse välja TalTechi ehitusosakonnas. Eesti meetod põhineb ISO14040, EN15978 ja EN15804+A2 standarditel. Loodav meetod lähtub koostatavast ehitusmaterjalide nimistust, kus on kajastatud peamised ning enamkasutatavad materjalid Eesti ehitussektoris.

Meetodi eesmärgid on luua Eesti andmebaas ehitusmaterjalidest ning nende süsiniku emissioonidest.

Pakutatavad materjalirühmad on:

- Soojustus ja veekindlus;
- Ehitusplaadid;
- Betoone;
- Teras ja metall;
- Täispuit;
- Mineraal materjalid ja klaas;
- Põrandakate ja pinnamaterjalid;
- Kliimatehnika ja elektripaigaldised;
- Täiendavad tooted;
- Vundamendid.

Eesti meetodis plaanitakse vaadata kõiki hoone etappe, kuid olelusringi lõppfaasis (C1-4) kasutatakse lihtsustatud vaikimisi väärtused. Meetodi abil proovitakse luua regulatsioon, mis suunaks Eesti materjalitootjaid kasutama madalama süsiniku emissiooniga protsesse ning seeläbi populariseerida madala süsiniku jalajäljega materjale ja lahendusi ehitussektoris.

Eestis kujundatav meetod pakub selge ning lihtsustatud valikutega lähenemise, kuid selle probleemseks kohaks võib saada fikseeritud materjalide nimistu. Hetkel koostatud nimistus on kasutusel peamised ehitusmaterjalid, kuid valikusse võiksid jõuda ka teised biopõhised materjalid nagu näiteks puitfiiber, tselluloos, kanepikiud, hein, kork, lambavill või vahtklaas.

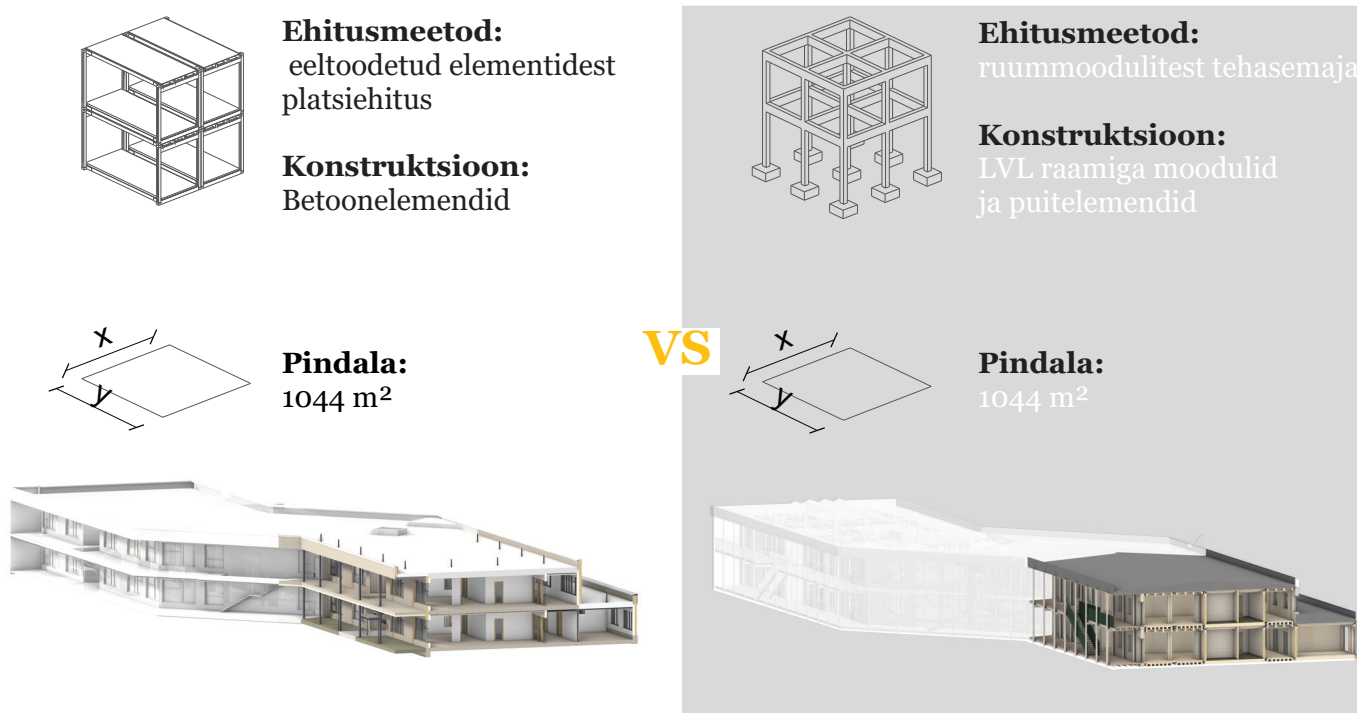
25 P. Pasanen, S. Tikka, Building Life-Cycle Carbon Regulation Benchmark for Selected European Countries. – OneClickLCA, 24 August 2021, Lk 4.

3.2 Rõõmupesa lasteaia projektide võrdlus

Kvantitatiivses analüüsis tegime võrdluse kahele lasteaia arhitektuursele projektile. Tegemist on Rõõmupesa lasteaia Mustamäel, mis on pilootprojekt Tallinna linna projektist renoveerida 2030. aastaks kõik linna lasteaiaid, kus selleks on vajadust. Kuna endine Rõõmupesa lasteaed ei vastanud kaa-saegsete ruumiprogrammi ja sisekliima nõuetele, on lammutatud olemasolev hoone ning pandud nurgakivi A-energiaklassiga hoonele (enda võrdluses käsitleme ehitusse minevat projekti originaalina). Ehitatav hoone on kavandatud ühe maa-aluse ja kahe maapealse korrusega, mis paikneb endise hoone asukohas. Projekt ehitatakse eeltoodetud elementidest platsil ning konstruktsiooniks on betoonelemendid.

Originaalprojekti kõrvutame samas mahus ja geomeetrias loodud lasteaia, mis on kavandatud mustermajana.²⁶ Hoone konstruktsiooniks on LVL raamidega moodulid ning puitelemendid. Ehitusmeetod on moodulitest tehasemaja. Mustermaja on kavandatud samuti ühe- ja kahekorruselisena, kuid hoonel puudub maaalune osa.

LCA võrdluse teostasime kahe hoone kõige sarnasemale hooneosale ning valisime selleks lasteaia 1044 m² hoone idaosa. Arvutatava hoone osa pindala on sama, kuid ruumide jaotus on erinev ning seetõttu on ka erinevus uste ja akende koguses.



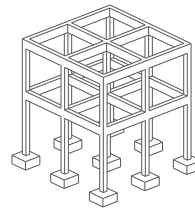
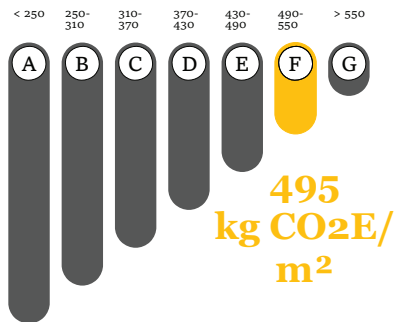
Illustratsioon 9. Originaalprojekti ja mustermaja võrdlus.

Hoonete arvutusperioodiks on määratud mõlemal 50. Aastat. Hoonete kasutusaegne energia tarbimine on võrdsustatud, eeldades, et piirdetarindite U-väärtused on mõlemal hoonel võrdsed. Siinkohal on aga suur potentsiaal, et sisetingimustes loodavatel tehasemaja elementidel on võimalik tagada suurem õhutihedus ning sellega langeb ka energiatarbimine. Antud katseid ei ole aga tegelikkuses läbi viidud ning sellega pole hoonete võrdluses arvestatud. Võrdlusesse ei ole ka arvestatud hoonete vundamente.

Võrdlusesse ei ole ka arvestatud hoonete vundamente.

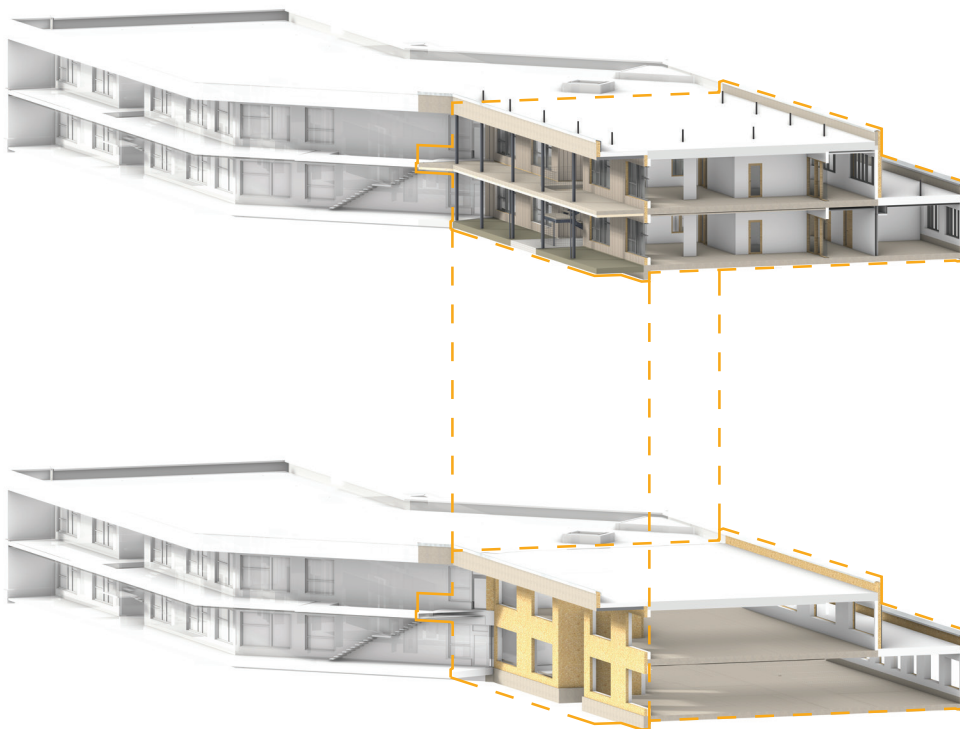
Rõõmupesa lasteaed: ORIGINAALPROJEKT

Originaalhoone projekt sai kehastunud süsiniku tulemuseks taseme F, tekitades 495 kg CO₂E ruutmeetri kohta.



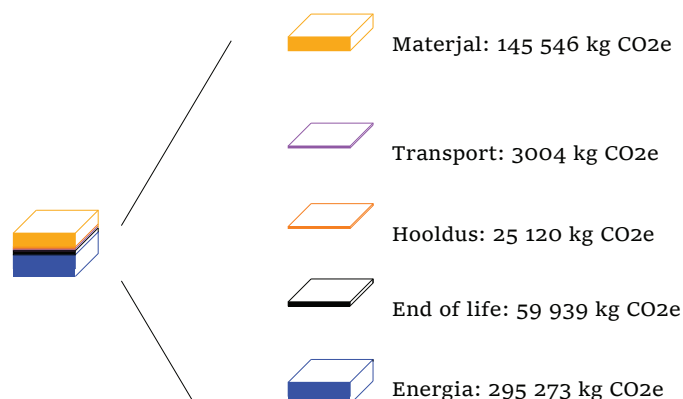
Ehitusmeetod:
eeltoodetud elementidest
platsiehitus

Konstruksioon:
Betoonelemendid



Illustratsioon 10. Originaalprojekti tulemused.

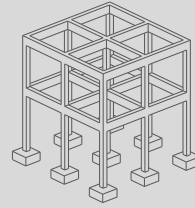
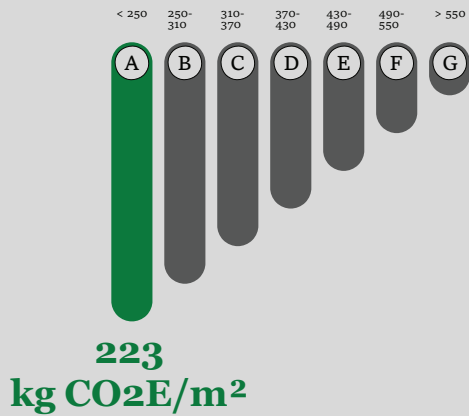
Originaal hoone kehastunud süsiniku suurim avaldumine väljendub hoone ehitusmaterjalide tootmis- es ning valikus. See moodustab 84% hoone tervest kehastunud süsinikujalajäjest.



Illustratsioon 11. Originaalprojekti kehastunud süsinik.

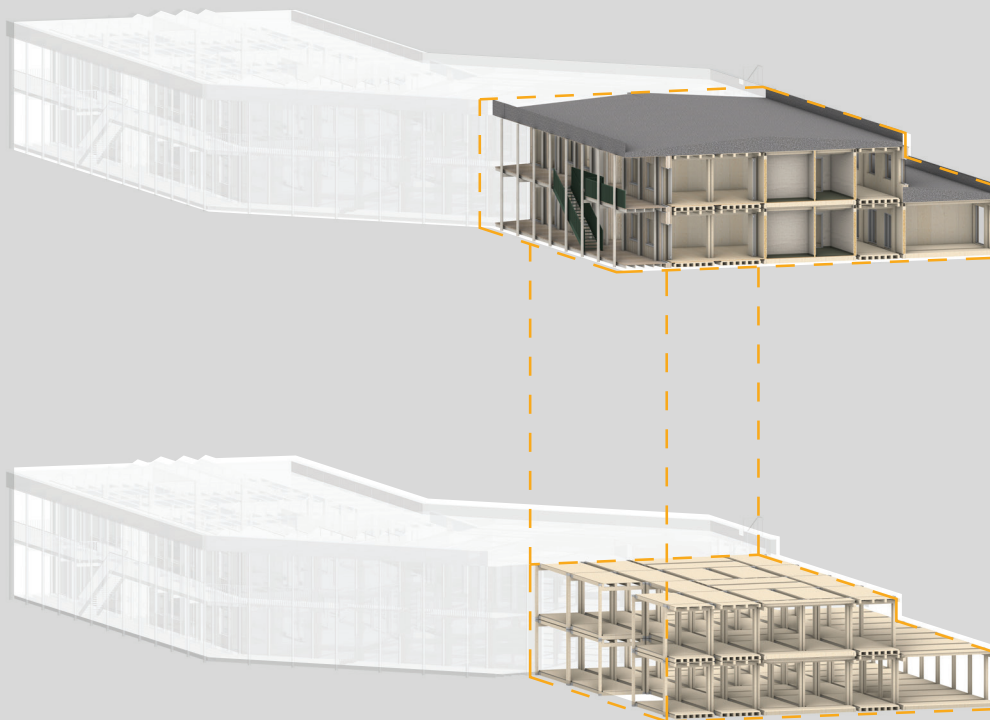
Rõõmupesa lasteaed: MUSTERMAJA

Mustermaja koond tulemuseks sai hoone A klassi, tekitades 233 kg CO₂E ruutmeetri kohta, olles poole võrra madalam kui originaal hoone.



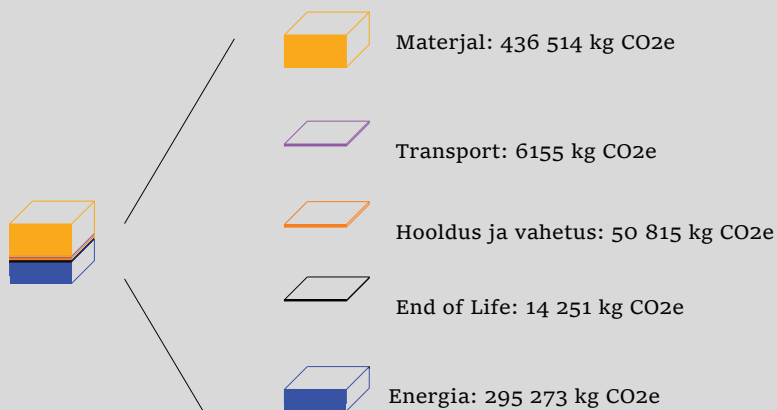
Ehitusmeetod:
ruummoodulitest tehaseaja

Konstruksioon:
LVL raamiga moodulid
ja puitelemendid



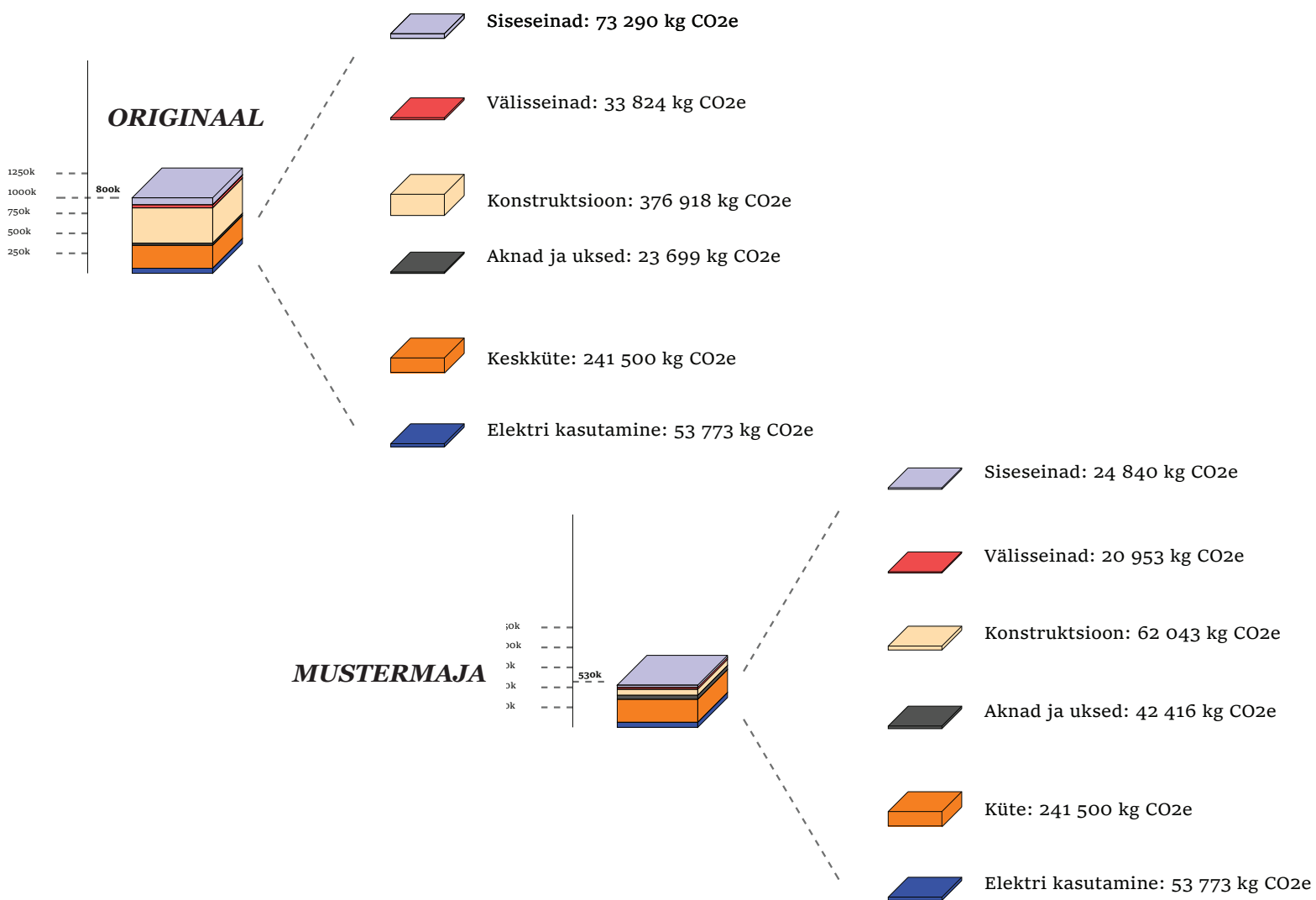
Illustratsioon 12. Mustermaja tulemused.

Ka mustermaja puhul moodustab suurima osakaalu ehitusmaterjalide ressursid, kuid see jääb 64%-ni. Lisaks sellele on kõrgem hoone olusringi lõppetappi võrreldes originaal lasteaiaiga.



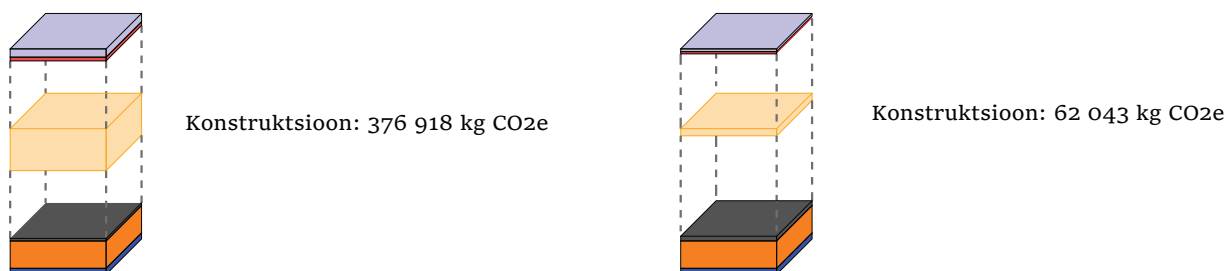
Illustratsioon 13. Mustermaja kehastunud süsinik.

3.2.1 Erinevate hooneosade proportsionaalne panus süsinikujalajälge

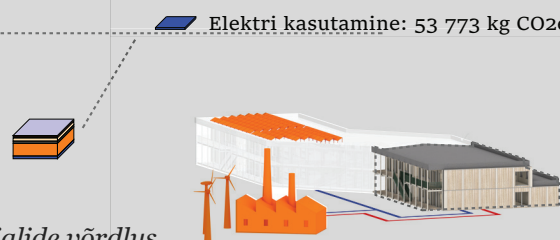
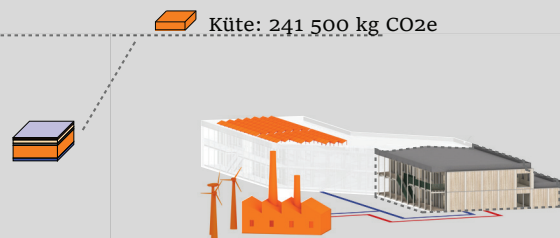
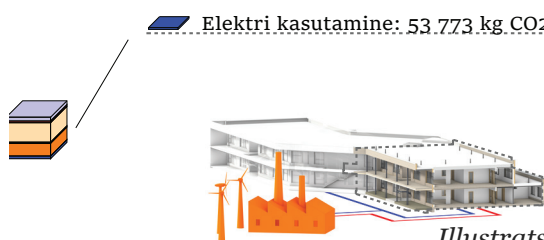
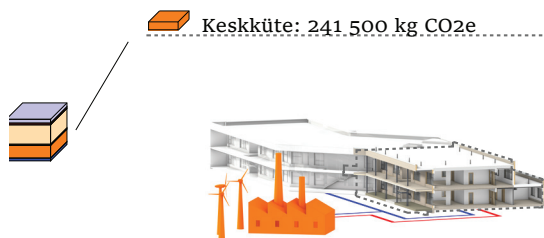
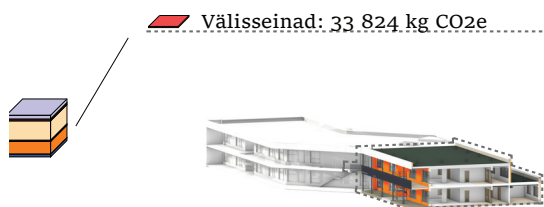


Illustratsioon 15. Materjalide võrdlus.

Lasteaia võrdlusest selgub, et suurim mõju on hoone konstruktsiooni materjali ja meetodi valikus. Võrdlusest ilmnes, et asendades betoonkonstruktsiooni LVL raamiga moodulite ja puitelementidega, on võimalik vähendada hoone konstruktsionides seotud süsiniku kogust 6 kordselt.



Illustratsioon 16. Konstruktsioonimaterjalide võrdlus.



Illustratsioon 14. Materjalide võrdlus.

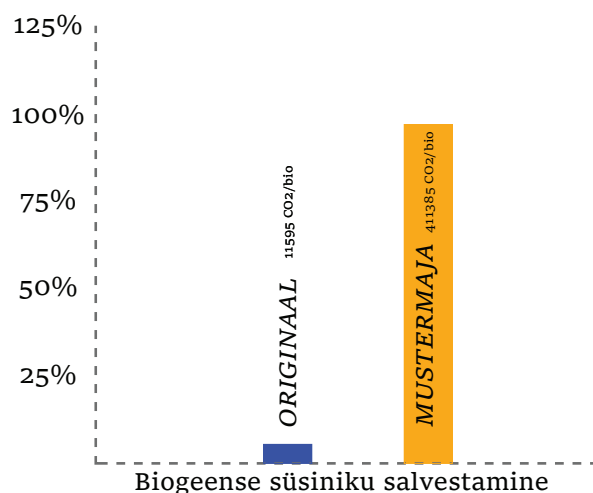
3.2.2 Puit kui süsiniku salvestaja/konstruksiooni materjal

Mustermaja puhul on konstruktsioonimaterjalina kasutatud lamineeritud vineerpuitu (LVL). LVL'i ehk liimkihtpuitu valmistatakse erinevate okaspuust kooritud, 3mm paksuste spoonkihtide kokku liimimisega. Tänu sellele on liimkihtpuitu võimalik valmistada väga erinevates pikkustes ja mõõtudes. Lisaks võimaldab selline tootmismeetod saavutada suure tugevuse ning kerge omakaaluga lõppmaterjali.²⁷

Ristkihtliimpuit (cross-laminated-timber ehk CLT) on alternatiivne võimalus, kuidas kasutada puitu hoone konstruktsioonis. CLT on ehitusmaterjal, mis esindab säästvat ja minimaalse keskkonnamõjuga ehitusviisi. CLT on end tõestanud tehnoloogia, mis võib paljudes hooneosades asendada keskkonda koormavamaid ehitusmaterjale.²⁸

CLT on ehituses laialdaselt tuntud puittoode, mida saab kasutada nii täissuuruses seina ja põranda elementidena kui ka kandva puidust osapoolena läbi ortogonaalse struktuuri. CLT on eelnevalt tehases valmis tehtud toode, mis koosneb vähemalt kolmest täispuidust saematerjali kihist. Ristkihtliimpuidu laudadest kihid on lapiti liimitud selliselt, et iga kihi puidusüü jääb risti eelmisega. Tänu sellele tehnoloogiale on tagatud suur koormustaluvus kahes suunas.²⁹

Lasteaedade analüüsi tulemusena nägime selget puidu kui konstruktsiooni materjali eelist.



Illustratsioon 17. Süsiniku salvestamine.

Võrdlusest ilmneb, et mustermajal on 35 korda suurem võimekus salvestada biogeenset süsinikku. See tuleneb hoone suurest puidu kasutusest salvestades endas sel viisil süsinikku. Peale puidu omaduse süsinikku siduda, on puit ka kerge konstruktsioonimaterjal, mis kokkuvõttes tähendab vähem emissioone materjali töötlemisel ja tootmisel. Ka analüüsis selgus, et originaalhoone on 5 korda raskem, kui on mustermaja.

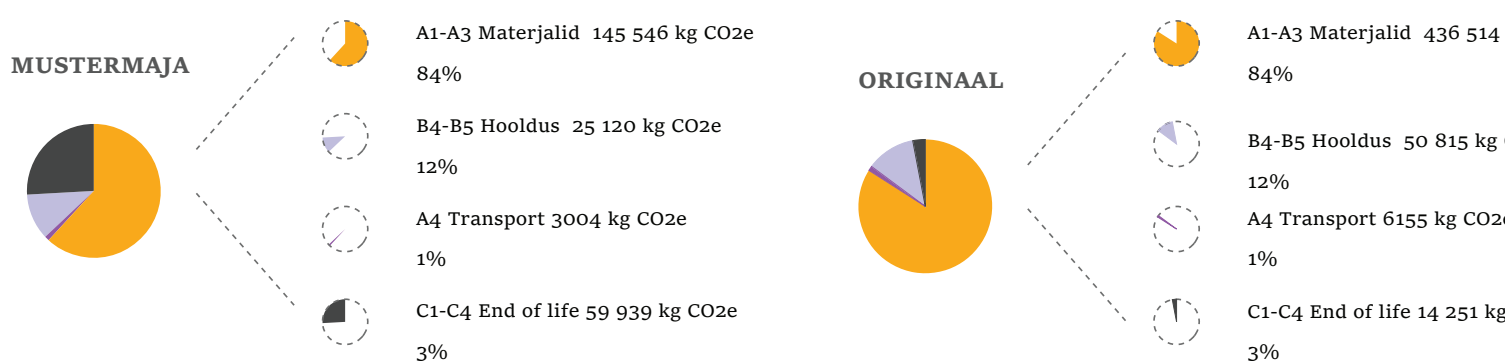
27 Liimkihtpuit, <https://puumarket.ee/tooteinfo/puitmaterjal/liimpuit/liimkihtpuit/> (vaadatud 02.05.2022)

28 R. Vanova, P. Stumpf, J. Stefko, J. Stefkova, Environmental impact of a Mass Timber Building - A Case Study. – Forests, MDPI, november 2021, lk 2.

29 R. Vanova, P. Stumpf, J. Stefko, J. Stefkova, Environmental impact of a Mass Timber Building. – Forests, MDPI, november 2021, lk 1.

LCA võrdluses joonistus välja puidu hea mõju süsinikku salvestastada, kuid antud teema probleem seisneb küsimuses, kuidas jälgida biogeense süsiniku salvestamist ja vabastamist elementide eluea jooksul.³⁰ Üheks kriitikaks traditsioonilisele LCA arvutusmeetodile ongi, et selles ei arvestata süsiniku emissiooni ajastamist ning biomassi kasvuga seotud rotatsiooniperioodide mõju. Kõik biopõhised tooted ei pruugi alati olla süsinikneutraalsed, sest nende pikk kasvuiga ei pruugi tasakaalustuda, kui materjali kasutatakse raiskavalt. Eriti võib see juhtuda puidust elementidega, millel on pikk roteerumisperiood tingitud puude aeglasest kasvuperioodist. Seega ei saa puitu alati lugeda süsinikneutraalseks lühikeses ajavahemikus. Vastupidiselt kiiresti kasvavatele biopõhistele materjalide nagu hein või kanepikiud, millel on lühike roteerumisperiood ja kasvuhoonegaaside heitkoguseid tõhusalt leevendav mõju.³¹

3.2.3 Olelusringi lõppetapp



Illustratsioon 18. Kehastunud süsinik.

Elmises peatükis käsitletud salvestatud süsinik kajastub olelusringi lõppfaasis, kus on arvesse võetud, et kogu seotud süsinik vabastub hoone elukaare lõpus. Siinkohal aga annaks märkimisväärselt parema tulemuse, kui arvutusmeetodisse oleks arvestatud, et ehitusmoodulid saavad peale hoone lammutamist jääda endiselt ringlusesse, kui need ei ole amortiseerunud. Seega tehes ka järgmisele hoonetele elukaare arvutusi, saaks jääda A1-A3 etappides antud materjalide süsiniku osakaal välja ning hoonete jalajälg muutuks märgatavalt madalamaks.

Siit ilmnebki, et ehitusmaterjalid on nii mitmete tööstusharude kui ka põlvkondade kontrolli all ning nende kaardistamiseks on tarvis läheneda neile väga süsteemselt:

“Therefore, the situation is reframed as different industrial sectors, one in charge of producing trees every year, the other of building houses every year and the last one of deconstructing and reusing/recycling the house. In this configuration the question of burden and benefits is not shared between generations, but between industrial sectors. Should it be to the forest industry to claim the carbon benefit of growing trees and to the facility management sector to absorb the burden of maintaining and dismantling buildings, while the construction industry would remain essentially neutral?”³²

30 Hoxha, Endrit & Passer, Alexander & Saade, Marcella & Trigaux, Damien & Shuttleworth, Amie & Pittau, Francesco & Allacker, Karen & Habert, Guillaume. Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods - Buildings and Cities, 2020, lk 504

31 Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods - Buildings and Cities, lk 507.

32 Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods - Buildings and Cities, lk 519.

Kokkuvõte

Keskkonnasõbralike hoonete projekteerimisel tuleb vaadata kogu ehitise olelusringi. Olelusring hõlmab endas nii materjali tooraine kogumisprotsessi, selle töötlemist, toodete valmistamist, hoone ehitus- ja lammutusprotsessi. Keskkonnasõbralik projekteerimine hakkab pihta säästva disaini põhimõtteid järgivast arhitektuurist ja teadlikust materjalivalikust. Oluline on läbi teha olelusringi hindamine, et välja selgitada kogu hoone jalajälg ning erinevate hoone osade mõju sellele.

Arhitektuursete otsuste puhul peab järgima säästva disaini põhimõtteid. Keskkonnasõbralik disain on selline, mida on vajaduse korral kerge lahti võtta, ümber muuta ning vastavalt hoone funktsiooni muutusele ümber ehitada. Lisaks peaksid ehitamiseks kasutatavad elemendid olema sellised, mida on kerge transportida ning piisavalt universaalse disainiga, et neid oleks võimalik ka uute ehitiste puhul kasutada. Arhitektuursete otsuste tegemisel tuleb arvestada ringmajanduse põhimõtetega ning lähtuda sellest, et elemendid, millest hoone valmistatakse, elavad kauem, kui hoone ise. See tagab tulevase loomuliku materjaliringluse.

Ringmajanduse toimimiseks on oluline omada ülevaadet kasutusel olevatest materjalidest, hoone elementidest ning ehitus- ja lammutusprotsessidest. Sel viisil on võimalik materjale teadlikult hoiustada, taaskasutada ja õigesse kohta suunata. Hooneid võiks käsitleda kui materjalipankasid. Selleks, et materjale saaks korduvkasutada ning tagada nende pikaealisuse, on oluline neid pidevalt õigesti hooldada ning parandada.

Hoone ehitamiseks kasutatud materjal mängib suurt rolli kogu hoone süsinikujalajäljes. Kuna hoone jalajälje sisse arvestatakse ka materjali töötlemisel ja tootmisel kasutatud energia, tuleb võimaluse korral valida neid materjale, mis on kohalikud ja energiatõhusalt ning taastuvate ressursside abil toodetud. Tuleb eelistada biopõhiseid materjale, mis seovad endas süsinikku ning mille tooraine on looduslik. Oluline osa on ka materjali eluea lõppfaasil - tuleb jälgida, et materjal oleks kergesti taaskasutatav ja/või ümber töödeldav.

Käesolevas uurimuses tehtud kvantitatiivse analüüsi käigus leitud tulemustest on näha, et puidu kasutamisel konstruktsioonimaterjalina on betooni ees suur võit. Puit on oma kaalult kergem, mis tähendab, et kulub vähem ressursi ning oma süsinikku siduva omaduse poolest annab betooniga võrreldes selge võidu. Oluline roll on ka soojustusmaterjali valikul. Tuleb tähele panna, et parem energiatõhususe marker võib hoopis negatiivselt mõjuda hoone kogu jalajäljele (kui materjali valmistamisel on tekkinud suur hulk emissioone).

Nii erinevatest teadustöödest kui ka kvantitatiivsest analüüsist tuleb välja, et keskkonnasõbraliku hoone projekteerimisel on oluline järgida materjali valikut, säästva disaini ning ringmajanduse põhimõtteid. Vaid nii on võimalik olelusringi igas etapis väikese keskkonnamõjuga tulemus saavutada.

Uurimus põhineb järgnevatel teadustöödel:

1. S. Adhikari ja B.Ozarska, Minimizing environmental impacts of timber products through the production process “From sawmill to Final Products”. – Environmental Systems Research, 2018.
2. Carbon impact of bamboo, <https://materialspalette.org/bamboo/> (vaadatud 27.04.2022.)
3. Carbon impact of concrete, <https://materialspalette.org/concrete/> (vaadatud 27.04.2022.)
4. Carbon impact of hempcrete, <https://materialspalette.org/hempcrete/> (vaadatud 27.04.2022.)
5. Carbon impact of steel, <https://materialspalette.org/steel/> (vaadatud 27.04.2022.)
6. Carbon impact of straw-bale, <https://materialspalette.org/straw-bale/> (vaadatud 27.04.2022.)
7. Carbon impact of wood products, <https://materialspalette.org/wood/> (vaadatud 27.04.2022.)
8. Hoxha, Endrit & Passer, Alexander & Saade, Marcella & Trigaux, Damien & Shuttleworth, Amie & Pittau, Francesco & Allacker, Karen & Habert, Guillaume. Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods - Buildings and Cities, 2020.
9. U. Kozminska, Circular Economy in Nordic Architecture. Thoughts on the process, practices, and case studies. – IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020.
10. M. Kuittinen, C. Zernicke, S. Slabik, A. Hafner, How can carbon be stored in the built environment? A review of potential options. – Taylor and Francis Group, 2021.
11. Liimkihtpuit, <https://puumarket.ee/tooteinfo/puitmaterjal/liimpuit/liimkihtpuit/> (vaadatud 02.05.2022)
12. E. Liiva, Kompensatsiooniruum: Mis jääb planeeringute ja regulatsioonide vahele. – Eesti Kunstiakadeemia arhitektuuri ja linnaplaneerimise osakonna magistr töö. Tallinn: Eesti Kunstiakadeemia, juuni 2020.
13. M.-J. Miljar, Looduslähedased materjalid ökoehituses. – Eesti Loodus, aprill 2019.
14. P. Pasanen, S. Tikka, Building Life-Cycle Carbon Regulation Benchmark for Selected European Countries. – OneClickLCA, 24 August 2021.
15. Pittau, Francesco & Krause, Felix & Lumia, Gabriele & Habert, Guillaume. Fast-growing bio-based materials as an opportunity for storing carbon in exterior walls. Building and Environment. 2017.
16. R. Vanova, P. Stompf, J. Stefko, J. Stefkova, Environmental impact of a Mass Timber Building - A Case Study. – Forests, MDPI, november 2021.