

Tartu Ülikool
Bioloogia-geograafiateaduskond
Geograafia instituut

Magistritöö keskkonnatehnoloogias

Eesti väike-elamute tarindite olelusringi hindamine

Tanel Esperk

Juhendajad: Prof. Valdo Kuusemets EMÜ
Vanemteadur Tõnu Mäuring TÜ

Kaitsmisele lubatud:

Juhendajad:

Instituudi juhataja:

Tartu 2007

Sisukord

Sisukord	2
1. Sissejuhatus.....	3
1.1 Keskkond ja ehitus.....	4
1.1.1 Ehitusmaterjalide energiasisaldus ja emissioonid.....	6
1.1.2 Materjalide taaskasutamine.....	8
1.2 Olelusringi hindamine.....	10
1.2.1 LCA ajalugu.....	11
1.2.2 LCA kasutamise võimalused	11
1.2.3 Olelusringi hindamise viisid ja põhimõtteline ülesehitus	14
1.2.4 Näiteid LCAs hinnatavate mõjude kategooriatest	19
2. Metoodika	21
2.1 Uurimuse eesmärk	21
2.2 LCA ulatus	21
2.3 Uurimisobjektide valik ja kirjeldused	23
2.4 Lähteandmete kogumine ja allikad	26
2.5 Emissiooni koguste arvutamine	27
3. Tulemused.....	29
3.1 Tarindite lammutusjäätmete käitlemine.....	43
4. Arutelu	44
4.1 Levinumate ehitusmaterjalide keskkonnamõjude analüüs.....	47
5. Kokkuvõte.....	50
6. Resume.....	53
7. Tänuavaldused	55
8. Kasutatud kirjandus	56
Lisad 1-10	61

1. Sissejuhatus

Üheks suurimaks inimseoseliseks keskkonna mõjutajaks võib pidada ehitustegevust. Vähendamaks koormust keskkonnale on vajalik hinnata ehitamisega kaasnevaid keskkonnamõjusid. Tähtis on hindamisel meeles pidada, et ehitis mõjutab keskkonda terve oma eluea jooksul. Üheks, kõiki hoone eluetappe arvestavaks keskkonnamõjude hindamise meetodiks on olelusringi hindamine ehk elutsükli analüüs.

Käesolev magistritöö on koostatud jätku-uurimusena minu 2005. aastal valminud bakalaureusetööle „Eesti väike-elamute välisseina elutsükli analüüsi võrdlus“. Magistritöö eesmärgiks on läbi viia elamu tarindite olelusringi hindamine Eesti eramajade näitel. Töö esimeses pooles pööran tähelepanu ehitusega kaasnevate negatiivsete keskkonnamõjude ning olelusringi põhimõtete uurimisele. Töö teises pooles viin läbi olelusringi hindamise Eesti väike-elamu kolme välisseina ja katuse tüüplahenduse ning kahe vundamendi tüüplahenduse kohta. Lisaks analüüsin ka erinevate ehitusmaterjalide tootmisega kaasnevaid keskkonnamõjusid. Töö lõpus on ära toodud lisad, mis sisaldavad tehnilisi andmeid töös käsitletud tehnika ja tarindite konstruktsiooni kohta.

1.1 Keskkond ja ehitus

Viimastel aastatel on ehitustegevus Eestis oluliselt kasvanud. Statistikaameti andmetel kasvas 2006. aastal kohaliku ehitusturumaht mullusega võrreldes 26%. Eelnevatel aastatel on tõus olnud mõnevõrra väiksem. Ehitusturu jätkuv kasv mõjutab oluliselt ka keskkonda.

Ehitusest tulenevate peamiste keskkonda mõjutavate teguritena toovad Häkkinen *et al* (1999) välja energia ja materjalide raiskamise ning tervisele ja keskkonnale kahjulike ainete emissioonid, näiteks süsinik- ja vääveldioksiid ning lämmastikoksiidid. Mainitud gaasidest on süsinikdioksiidil oluline roll kasvuhooneefekti tekitajana, samas vääveldioksiid ja lämmastikoksiidid on seotud teise globaalse keskkonnaprobleemi – hapestumise suurenemisega.

Ehitusest pärinevad emissioonid on otseselt seotud energia tarbimise hulgaga ja sõltuvad kütuse koostisest. Euroopa Liidu liikmesriikides moodustab ehitussektoris tarbitav energia keskmiselt 40% kogu tarbitavast energiast, seejuures kulutatakse elamutes (ehitamine ja kütmine/jahutamine) 63% kogu ehitussektoris tarbitavast energiast (Balaras *et al*, 2005). Riikidest võib näitena tuua Rootsi, kus ehitussektoris kulutatav energia moodustab 30-40% kogu lõpptarbimisest (Erlandsson & Borg, 2003), Inglismaal on see näitaja ligikaudu 50% lähedal (Harris, 1999). Oluline erinevus elamute energia tarbimise osas on Vene ja endise NSVL-i riikide ning arenenud lääne riikide vahel. Uurimused on näidanud, et Venemaa (Opitz *et al*, 1999) ja Leedu (Buinevicius, 2004) korterelamute (ehit. 1961-1990) kütmiseks kulutatav energiahulk on ligikaudu kaks korda suurem võrreldes samas kliimas asuvate EL riikidega. Seega energia tarbimise ja sellega kaasnevate emissioonide vähendamiseks on oluline käripida ehitistega kaasnevaid energeetilisi kulutusi, mida on võimalik saavutada parema ja läbimõeldud projekteerimise ning kvaliteetse ehitustegevusega.

Ühe lahendusena hoonete energeetiliste kulutuste vähendamiseks on alates 1995. a. hakatud Euroopas arendama nn. passiivmaja standardit. Idee seisneb mitmete ehitusviiside, tehnoloogiate ja materjalide õiges omavahelises kombineerimises, millega võib saavutada kuni 10 korda väiksema aastase küttekulu (Mauring & Meingast, 2006).

Seejuures on passiivmajasid edukalt kasutusele võetud nii Austrias (Mauring & Meingast, 2006) kui ka Rootsis (Wall, 2006).

Olulisteks keskkonna saastajateks ehitiste puhul on ka tekkivad jäätmed. Seda eelkõige tulenevalt suurest prügilasse ladestamise osakaalust ja väikesest taaskasutusse võtmisest. Eestis ladustatakse prügilatesse ca 99% (Leevik & Liiver, 2004), kogu Euroopa Liidus aga keskmiselt 75% jäätmetest (European Commission, 2000). Ehitussektorist pärinev jäätmete kogus Eestis moodustab 7% kogu riigis tekkivatest jäätmetest. Jäätmete tekke valdkondi arvestades on ehitussektor teisel kohal, järgnedes põlevkivi tootmise ja töötlemise sektorile, kust pärineb 75% Eestis tekkivatest jäätmetest (Leevik & Liiver, 2004).

Ehitistega kaasnevad keskkonnamõjud kaasnevad tinglikult kolmes hoone olelusringi etapis: ehitus-, kasutus- ja lammutusfaas. Ehitusfaasis tarbitava energia osakaal kogu olelusringist varieerub erinevatele kirjandusallikatele toetudes 6% (Blanchard & Reppe, 1998) kuni 15% (Adalberth, 1997b). Hoonete kasutamisel kulutatav energiahulk on kolmest olelusringi etapist kõige suurem. Näiteks Inglismaal ja USAs kulub keskmiselt 90% kogu hoonetes vajaminevast energiast kasutusfaasi jooksul (Harris, 1999; Blanchard & Reppe, 1998), Rootsis on vastav protsent 85 (Adalberth, 1997b). Lammutusfaasi mõju keskkonnale on mainitud etappidest kõige väiksem, näiteks Blanchard & Reppe (1998) leidsid oma uurimuses selleks väärtuseks ainult 0,2%. Tulenevalt hoonete kasutamisel vajaminevast suurest energiahulgast ongi vastavates uuringutes pikka aega pöhirõhk olnud ainult majade kasutusfaasi analüüsil (Blanchard & Reppe, 1998). Siiski tuleb arvestada, et maja iga olelusringi järk sõltub eelmisest järgust. Näiteks majade ehitamisel kasutatavate materjalide omadustest ja karkassi lahendustest sõltub nii hoone kasutusfaasis kütmiseks/jahutamiseks kui ka lammutusfaasis kulutatav energia kogus (Harris, 1999). Seetõttu tuleks põhjalikuma ülevaate saamiseks lisaks kasutusfaasile arvestada ka ehitusmaterjalide tootmise ja hoonete ehitamise ning lammutamisega kaasnevate mõjudega.

1.1.1 Ehitusmaterjalide energiasisaldus ja emissioonid

Mugavuse tagamiseks elamute kasutamise ajal on oluline arvestada ehitusmaterjalide omadustega juba projekteerimise käigus. Seega tekib küsimus, milliseid ehitusmaterjale siis eelistada? Loodussõbralikkuse vaatepunktist on olulisteks näitajateks materjalide madal energiasisaldus ehk primaarenergia, tootmisega kaasnevate emissioonide minimeerimine ning samuti materjalide taaskasutatavus.

Ehitusmaterjali primaarenergia all mõistetakse energiahulka, mis on vajalik materjali tootmiseks, hõlmates endas kogu energiakulu, alates toormaterjali saamiseks kulutatud energiast, lõpetades toote ehituspaika transportimisega (Spiegel, 1999: 299). Sõltuvalt vajaminevast täpsusest kasutatakse erinevat tüüpi primaarenergia hindamismeetodeid. Neist kaks levinumat on (Milne, 2002):

- Kogu Energia Vajadus (Gross Energy Requirement - GER) - meetod primaarenergia arvutamiseks kui hindamine viiakse läbi väga detailselt, arvestades nt tehase kütmiseks kulutatavat energiat, töötajate transporti tehasesse jne. Selline meetod on tavaliselt üsna ebapraktiline;
- Teine enamlevinud meetod on Tootmise Energia Vajadus (Process Energy Requirement- PER), mis arvestab ainult materjali tootmiseks kulutatud energiat. PER hõlmab endas ainult toormaterjali kaevandamise, tehasesse transportimise ja materjali tootmiskulusid, mitte aga lõpp-produkti ehitusplatsile viimist. Üldiselt moodustab PER 50-80 % Kogu Energia Vajadusest (Craighill & Powell, 1999).

Konkreetses materjali tootmiseks kulutatav energia kogus võib sõltuvalt kasutatava tehnoloogia efektiivsusest ja toormaterjali transportimise kaugusest varieeruda. Lisaks mõjutab materjali primaarenergia sisaldust ka taaskasutatavate materjalide hulk (Milne, 2002)

Eeltoodud faktorite väärtused erinevad, sõltudes konkreetsest tootest, tootmisviisist, tootjast ja seadmetest. Seetõttu varieerub ka samade ehitusmaterjalide energiasisaldus riigiti (Tabel 1).

Tabel 1. Ehitusmaterjalide energiasisalduse väärtused Austraalias, Hiinas ja Rootsis, ühik MJ/kg (allikad: Austraalia - <http://www.greenhouse.gov.au/yourhome/technical/pdf/fs31.pdf>, 1996; Hiina - Chen *et al*, 2000; Rootsi - Haraldsson, 1998).

Materjal/Riik	Austraalia	Hiina	Rootsi
Alumiinium	170	191	-
Betoon	1,9	1,2	0,6
Kips	2,9	8,6	5
Klaas	12,7	16,3	7
Klaasvill	-	14	11
Plastik	90	87	75
Puit	3,4	5,2	2
Puitlaastplaat	4,4	6,1	-
Tellis	2,5	2,5	2
Teras (taaskasut)	-	10,1	6
Tsement	5,6	7,8	-

Energia kasutamisega kaasnevad alati emissioonid, olgu need siis otsesed (nt nafta põletamine) või kaudsed (nt elektri tootmine). Meil *et al* (2002) leidsid oma uurimuses, et terase tootmine on energiamahukam ja tootmisel eraldub 73% CO₂ ja 10% NO_x rohkem kui puitmaterjali valmistamisel. Emissioonide kogused sõltuvad lisaks kasutatava kütuse hulgale ka kütuse koostisest. Näiteks puidu koostises on 49-50% süsinikku, samas põlevkivis 55-80%; puidus väävli sisaldus praktiliselt puudub, kuid põlevkivis on väävlit 0,5-4%; lämmastiku sisaldus on puidu puhul 0,9-1,3% ja põlevkivil 0,1-4% (Lepa *et al*, 2001). Seega emissioonide vähendamiseks on soovitatav kasutada vähem energiat nõudvaid ehitusmaterjale ja tarvitavatest kütustest keskkonnasõbralikumaid, nagu näiteks puit.

Tabel 2. Ehitusmaterjalide tootmisel tekkiva CO₂ kogused (allikas: Gielen, 1997).

Materjal (tonn)	CO₂ (gramm)
Alumiinium	7
Kiudmaterjal (paber jt)	2
Klaas	0,7
Puit	0,5
Puitlaastplaat	0,7
Tellis	0,15
Teras	1,3
Tsement	0,85

Tabelis 2 on toodud mõned näited ehitusmaterjalide tootmise käigus tekkiva CO₂ hulga kohta. Lääne - Euroopas läbi viidud uurimuse põhjal (Gielen, 1997. Andmed sisaldavad ainult tootmise (kaevandamine + tootmisprotsess) käigus tekkiva CO₂ keskmistatud hulka. Kuna eralduva CO₂ kogused on väikesed, on ühikuteks võetud materjalide puhul tonnid ja CO₂ puhul grammid.

1.1.2 Materjalide taaskasutamine

Taaskasutamise all mõeldakse üldjuhul materjalide korduvkasutamist, ümbertöötlemist ja/või kasutamist energia tootmiseks. Taaskasutamise peamiste eesmärkidenäena toovad erinevad autorid välja: energia (Harris, 1999; Thormark, 2000) ja looduslike ressursside kokkuhoiu, kahjulike emissioonide vähendamise ja prügilate alla jäävate maa-alade vähendamise (Thormark, 2000). Craighill & Powell (1999) väidavad oma uurimuses, et materjalide taaskasutamine mõjutab keskkonda vähem võrreldes uute materjalide kasutamisega.

Kõigist Eestis tekkivatest jäätmetest võetakse taaskasutusse ainult ca 1%. Samas ehitusjäätmete taaskasutusele võtmise näitajad on vähemalt mõningate materjalide puhul paremad. Näiteks kipsipõhistest ehitusmaterjalidest taaskasutatakse 60%, betoonist ja tellistest 50...70% (Statistikaamet). Siiski lähevad ka need materjalid taaskasutusse eelkõige täitematerjalina, ehitusmaterjalide korduvkasutamine on aga vähe levinud.

Väheste materjalide korduvkasutuse põhjustena toob Harris (1999) välja kalliduse ja lisaenergiakulu, mida põhjustavad sorteerimine ja puhastamine, aga ka kogumine ja transport (Briggs, 2001). Lisaks loob materjalide puhastamine täiendava vajaduse käidelda tekkivat reovett. Samuti tõstavad maksumust praktilised probleemid, näiteks on keeruline eraldada tellistest müürisegu, ilma telliseid kahjustamata. Veel üks probleem, miks ei julgeta materjale taaskasutada, on võimalik kvaliteedi langus. Keegi ei anna 100% garantiid, et näiteks 50 aastat kasutuses olnud tellised peavad veel sama kaua vastu. Siiski hoolimata mainitud raskustest on taaskasutamine oluline meetod vähendamaks ehitusest tulenevaid negatiivseid keskkonnamõjusid. Näiteks võrdles Thormark (2000) oma uurimuses taaskasutatavatest materjalidest ning uutest materjalidest valmistatud tüüppooneid ning leidis, et esimese puhul oli keskkonnale avaldatav surve ligikaudu poole väiksem.

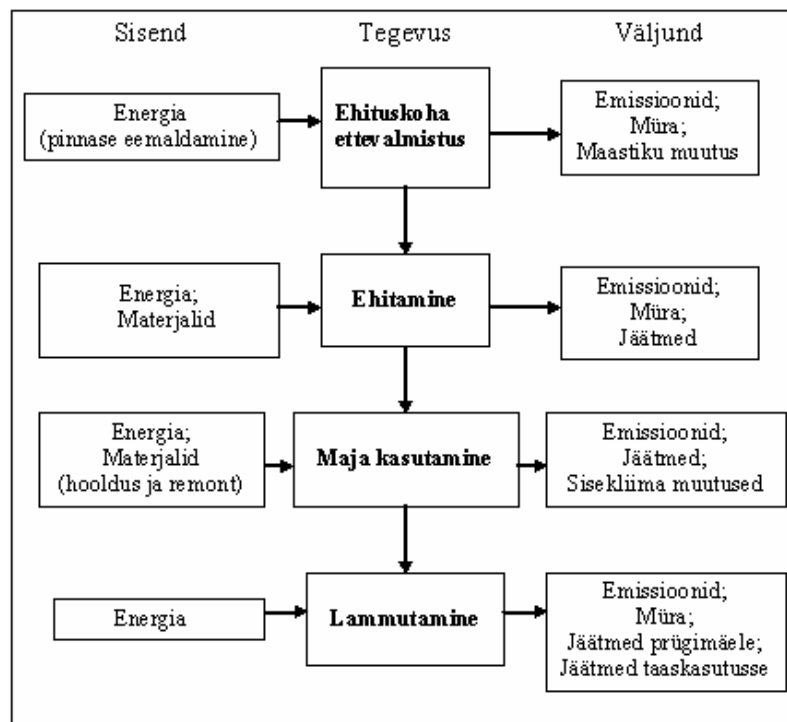
Taaskasutatavate materjalide kasutamise ja uute materjalide tootmise vaheline energia kokkuhoid varieerub, jäädes vahemikku 20-40% (Thormark, 2001), mõningatel andmetel aga 7-80% (Gao *et al*, 2001). Kõige suuremat energia kokkuhoidu saab metallide (teras, alumiinium) taaskasutusse võtmisest, kuid metallide osakaalud väikeelamutes on suhteliselt tagasihoidlikud. Seega mõjutavad metallid energia kokkuhoidu majas tervikuna suhteliselt vähe. Lisaks metallidele on olulised taaskasutatavad materjalid looduslikud kivid, tellised, kipsplaadid ja puit (Thormark, 2001). Puidu taaskasutus seisneb eelkõige põletamise käigus vabaneva soojusenergia kasutamises.

Vähendamaks olulisi mõjutegureid – kulutatavat energiat ja tekkivaid ainete emissioone, tuleks majad projekteerida nii, et hoone tarbiks kasutusfaasis vähe energiat (Adalberth, 1997b). Seda on võimalik saavutada, läbi efektiivsema küttesüsteemi kasutamise, aga ka piisava ja läbimõeldud soojustuse paigaldamisega. Erlandsson *et al* (1997) leidsid, et soojustusmaterjalide tootmisega kaasnevad emissioonid on tühised, võrreldes kasutusfaasis ärahoitud emissioonidega, sest väheneb küttekulu. Näiteks mitmepere-elamu soojustamiseks kasutatud 100 mm paksuse kivivilla tootmisega kaasnev CO₂ kogus võrdsustub soojustuse abil ära hoitud CO₂ kogusega juba kahe aastaga peale hoone kasutusele võtmist.

Hoonetega seotud negatiivsete keskkonnamõjude vähendamisel tuleks arvestada ka majanduslike kuludega ning leida optimaalne lahendus. Hindamaks üldist hoonete keskkonnamõju, tuleks analüüsida kõiki etappe maja eksisteerimise käigus, ehk siis läbi viia olelusringi hindamine ehk elutsükli analüüs.

1.2 Olelusringi hindamine

Olelusringi hindamine ehk elutsükli analüüs (ingl. k *life cycle analysis* – *LCA*) on vahend, hindamaks toodete keskkonnamõjusid kõigis etappides, alates toormaterjali saamisest ning materjalide tootmisest, lõpetades kasutamise ja käibelt kõrvaldamisega (Arena & de Rosa, 2002). Olelusringi hindamise käigus vaadeldakse mitmeid erinevaid keskkonda mõjutavaid tegureid nii piirkondlikul kui ka globaalsel tasandil, näiteks energiakulu ja õhusaaste poolt mõjutatud globaalne soojenemine jne. Detailsetes LCAs on esitatud mitmeid sisendeid (materjal, energia, vesi) ja väljundeid (õhu, vee ja pinnase saaste, jäätmed), mis kaasnevad toote kõigis eluea etappides (Blanchard & Reppe, 1998). Üldise ülevaate LCA põhimõttest annab joonis 1, kus on näidatud mõned hoonete rajamise, eksploateerimise ja lammutamisega kaasnevad keskkonnamõjud.



Joonis 1. Maja eluea jooksul kaasnevad keskkonnamõjud (Harris, 1999)

1.2.1 LCA ajalugu

Esimesed toote olelusringi puudutavad uurimused viidi läbi 1960te lõpus ja 1970te alguses. Need keskendusid peamiselt energia säästmisele ja toormaterjali tarbimisele. Näiteks 1969. aastal rahastas Coca-Cola Company uurimust võrdlemaks seost joogipurkides kasutatavate materjalide ja keskkonda sattuvate saasteainete vahel (Jensen *et al*, 1997).

Alates 1990. aastast on olelusringi hindamist kasutatud vahendina, hindamaks keskkonnamõjusid toote kõigis eluetappides. 1990. aastal võeti SETACi (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) poolt esmakordselt kasutusele termin “life cycle analysis” ja pandi paika üldised nõuded ning juhtnöörid (Arena & de Rosa, 2002). Möödunud kümnendi jooksul laienes olelusringi hindamise metoodika kasutusele võtmine erinevates valdkondades veelgi (Berkhout & Howes, 1997). Tänapäeval kasutavad LCA-d rutiinselt paljud suurkontsernid nagu BMW, Volvo, Motorola, Panasonic jt.

Tänapäeval on LCA metodoloogia standardiseeritud ISO (International Organization for Standardization) 14040 seeriaga, mis võimaldab ühtlustada erinevates riikides tehtavaid LCA uuringuid (Arena & de Rosa, 2002). Lisaks on väljatöötatud mitmeid tarkvara programme (ATHENATM, BEES, SimaPro) lihtsustamaks uurijate tööd (Jensen *et al*, 1997).

Eestis on olelusringi hindamise kasutamine veel vähelevinud. Hetkel Eestis teadaolevalt ainuke mahukas ja avalikustatud LCA viidi läbi 2003 - 2005. aastatel Eesti Energia poolt. LCA peamiseks eesmärgiks oli põlevkivielektri tootmisega kaasnevate keskkonnamõjude välja selgitamine (Eesti Energia, 2006).

1.2.2 LCA kasutamise võimalused

Olelusringi hindamise läbiviimise vajadus ei tulene tänapäeval enam ainult keskkonnakaitsjate soovist. LCA-d on hakanud üha enam kasutama suurtootjad. Viimane on tingitud peamiselt järgmistest asjaoludest:

- LCA tulemustest lähtuvalt on võimalik tuvastada energiakulukad tootmisprotsessid ning efektiivsema tehnoloogia kasutusele võtmisega vähendada tootmiskulusid;
- Negatiivseid keskkonnamõjusid võimaluse piires vähendades tagatakse suurem konkureerimisvõime turul, kus tarbija eelistab keskkonnasõbralikke tooteid.

Lisaks tööstusele on olelusringi tulemustest huvitatud veel järgmised osapooled (Berkhout & Howes 1997):

- Valitsus – olelusringi hindamine pakub võimalusi laiendada keskkonnapoliitika piire ja annab informatsiooni keskkonnaauditi arendamiseks;
- LCA koostajad – inimesed või organisatsioonid, kes tegelevad olelusringi hindamise koostamisega peamiselt majanduslikul motivatsioonil. Sealjuures tegelevad nad ka LCA meetodite ühtlustamisega;
- Keskkonnaorganisatsioonid – eesmärk jälgida toodete keskkonnamõjusid.

Valdavalt on olelusringi hindamist kasutatud hindamaks toote mõjusid keskkonnale (Azapagic, 1999) või siis erinevate toodete võrdlemiseks (Frühwald & Hasch, 1999). Näiteks üks peamisi järeldusi, milleni toote olelusringi hindamise ja majandusanalüüsi tulemusena jõutakse on, et parem toode võib küll olla kallim, kuid tänu pikemale elueale võivad hoolduskulud ja sellest tulenevad negatiivsed keskkonnamõjud olla keskmiselt väiksemad kui odavamal tootel.

Toodete hindamise ja võrdlemise kõrval on olelusringi hindamine tänapäeval kasutusel ka keskkonnajuhtimise ja –aruandluse korraldamise abivahendina. ISO 14001 sertifikaati omavad ettevõtted kasutavad oma ettevõtte keskkonnamõjude määramiseks vähesel või rohkemal määral LCAd.

Olelusringi hindamise kasutamise üldiste eesmärkidena võib kokkuvõtvalt välja tuua viis punkti (Berkhout & Howes, 1997):

1. Keskkonna säästmisega kaasnev surve toodetele – üha enam on ettevõtted silmitsi vajadusega muuta oma toodet ja tootmist keskkonnasõbralikumaks (tulenevalt näiteks saastemaksude suurenemisest või konkurentsist turul). Eelkõige

analüütilise vahendina ja ülevaate saamiseks ongi võimalik kasutada olulusringi hindamist, mis võimaldab ettevõttel leida lahendusi vastamaks kasvavatele nõudmistele.

2. Teadlikkuse tõus globaalprobleemidest – suurenev teadlikus keskkonnaprobleemidest nii globaalsel kui ka regionaalsel tasandil on loonud vajaduse pideva keskkonnasaastet puudutava informatsiooni järele. Selleks pakub olulusringi hindamine võimalust uurida ja võrrelda toodete globaalseid ja regionaalseid mõjusid.
3. Lokaalsete probleemide muutus laiaulatuslikemaks – kunagine lokaalne probleem nagu näiteks jäätmete ladestamine on muutunud laialdaselt levinud probleemiks. Mitmete riikide valitsused seisavad silmitsi sama probleemiga, otsides ladestamisele alternatiive. Seni on peamisteks lahendusteks olnud korduvkasutamine ja ümbertöötlemine. Olulusringi hindamine võimaldab analüüsida erinevaid jäätmekäitlusvõimalusi leidmaks optimaalset lahendust.
4. Informatsiooni vajadus – tarbijad ja tarbijakaitse näitavad üles suurenevat huvi toodete tervislikkuse kohta. Olulusringi hindamise käigus on võimalik käsitleda ühe osana eraldi inimese tervist, tuues välja näiteks toote kasutamisega kaasnevad kahjulikud emissioonid.
5. Vajadus abivahendi järele keskkonnajuhtimise korraldamiseks – lisaks keskkonnaalasele survele on mõned ettevõtted iseseisvalt hakanud otsima võimalikke lahendusi, näiteks tootmise käigus tekkivate jäätmete ümbertöötlemiseks. LCA abil on võimalik analüüsida tekkivaid koguseid ja hinnata võimalike lahenduste otstarbekust.

Olulusringi hindamist kasutatakse valdavalt keskkonda mõjutavate tegurite leidmiseks. Sisuliselt on aga võimalik elutsükli analüüsis võtta arvesse lõputu hulk tegureid, näiteks arvestada inimese tervist ja heaolu või majanduslikke aspekte. Seega sõltuvad LCAs hinnatavad väärtused otseselt tellija või koostaja soovist.

1.2.3 Olelusringi hindamise viisid ja põhimõtteline ülesehitus

Olelusringi hindamise detailsus ja usaldatavus sõltub hinnangu koostamiseks kasutada olevast ajast, lähteandmete kvaliteedist ja finantsilistest võimalustest aga samuti koostajate kogemustest. Lähtuvalt eelnevast võib põhiliste LCA viisidena välja tuua (Goedkoop & Oele, 2002):

1. ülevaate (ingl. k *screening*);
2. lühikese LCA (ingl. k *short internal LCA*);
3. põhjaliku LCA (ingl. k *extensive LCA*);
4. olelusringi informatsiooni süsteem (ingl. k *environmental life cycle information system (ELMIS)*). Alljärgnevalt kõigest pikemalt:

1. **Ülevaade** on eelkõige mõeldud ettevõtte sisese keskkonnateadlikkuse tõstmiseks, ehk siis teadvustamaks ettevõtet oma toote olulisematest keskkonnamõjudest. Näiteks on võimalik uurida, kas puidu asemel terast kasutades negatiivsed keskkonnamõjud suurenevad või kas toote keskkonnanäitajad on märkimisväärselt erinevad konkureeriva toote omadest.

Ülevaate koostamiseks (ajakulu 5 – 10 päeva) tarvitatakse üldjuhul kirjanduses avaldatud andmeid. Juhul kui andmed puuduvad, kasutatakse alternatiivseid või üldiseid vastavat tootegruppi iseloomustavaid väärtusi. Näiteks, kui on vaja alumiiniumi andmeid, kuid olemas on ainult üldised andmed metallide kohta, siis kasutatakse üldistusena viimaseid. Sageli pärinevad andmed erinevatest allikatest, mistõttu võib kannatada tulemuste usaldusväärsus.

2. **Lühikese olelusringi hindamise** eesmärgid on veidi ulatuslikumad võrreldes ülevaatega. Näiteks püütakse välja selgitada, milline faas toote elutsüklis omab suurimat mõju keskkonnale ning kas ettevõtet võib pidada üldjuhul säästlikuks. Lühikese olelusringi hindamise koostamisel viiakse läbi uurimus andmete saamiseks. Seetõttu nõuab koostamine ka rohkem aega, kestes 15 – 40 päeva.
3. **Põhjaliku LCA** peamiseks eesmärgiks on luua toote kohta detailne analüüs (võib aega võtta 75 – 200 päeva), mida tasuks avaldada ja millele toetudes saaks osaleda avalikes diskussioonides. Põhjaliku LCA koostamisel on oluline kaasata protsessi ka konsultant või teine olelusringi hindamise koostaja. Nii on suurem

tõenäosus avastada vigu ja teha parandusi õigeaegselt. Mitmed autorid (Blanchard & Reppe, 1998; Häkkinen *et al*, 1999; Peuportier, 2001; Meil *et al*, 2002) kasutavad oma uurimustes just seda olulusringi hindamise tüüpi.

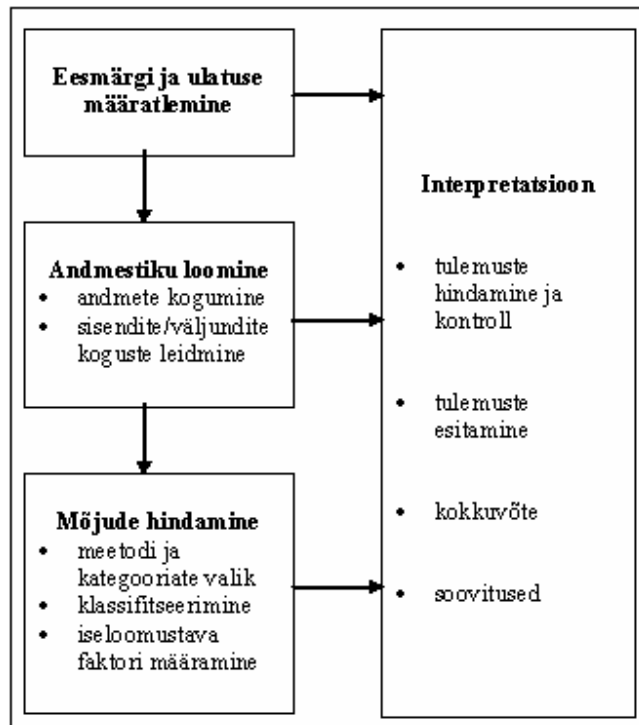
4. **Olelusringi informatsiooni süsteem** on kasulik luua, kui plaanis on pidev keskkonnamõjude jälgimine. Andmebaasi kasutades saab koostada kiiremini LCAsid (kui andmed ühest uurimusest on olemas puudub vajadus uue läbiviimiseks), samuti on võimalik kasutada andmebaasi keskkonnaaruandluse koostamisel. Siiski on andmebaasi haldamisel vajalik aeg-ajalt andmeid uuendada, näiteks uue tehnoloogia kasutusele võtmise järgselt.

Kõige lihtsam ja levinuim viis olulusringi hindamise tundma õppimiseks on läbi viia pilootuurimus, mis ei ole orienteeritud niivõrd tulemusele vaid pigem LCA metoodikaga tutvumisele (Goedkoop & Oele, 2002). Pilootuurimuse eesmärk võib olla näiteks lihtsa ülevaate loomine konkreetse toote keskkonnamõjudest. Olles tutvunud olulusringi hindamise põhitõdedega, on võimalus minna edasi järjest keerulisemate LCAd e koostamisega.

LCA ülesehitus

Sisuliselt sõltub olulusringi hindamise sisu, mida hinnata ja milliseid teemasid LCAs kajastada analüüsi koostaja soovidest. Siiski ühtlustamaks LCA metoodikat on ISO välja töötanud standardite seeria (Goedkoop & Oele, 2002): ISO 14040 (LCA üldine info ja põhimõtted), ISO 14041 (info LCA eesmärgi ja ulatuse definitsiooni ning andmestiku loomise kohta), ISO 14042 (informatsioon olulusringi mõjude hindamise kohta) ja ISO 14043 (interpretatsiooni põhimõtted).

Olelusringi hindamine koosneb vastavalt ISO standarditele neljast osast (Joonis 2) (Arena & de Rosa, 2002):



Joonis 2. Olelusringi hindamise ülesehitus ja tegevused (Arena & de Rosa, 2002)

1. **Eesmärgi defineerimine ja LCA ulatuse määratlemine** (ingl. k *Goal and Scope definition*; ISO 14 041) – etapis püstitatakse olelusringi hindamise eesmärk ja määratakse hindamise ulatus. Tulenevalt koostamise nõuetest on oluline eesmärgi seadmisel märkida, kas uurimuse andmed lähevad avalikustamisele või kasutatakse neid ainult ettevõtte siseselt. Hindamise ulatuse määramisel on põhirõhk piiride paika panemisel, ehk mida võetakse arvesse ja mida mitte. Viimane on oluline, kuna toodete valmistamine toimub läbi mitmete protsesside. Näiteks ehitusmaterjalide transportimiseks on vaja veoautosid, samas veoautod ise on tooted ja nende valmistamiseks on tarvis terast. Terasse toomiseks aga tarvitatakse energiaallikana kivisütt, mille kohale transportimiseks on tarvis veoautot jne. Niisiis on selge, et tuleb leida mingid mõistlikud piirid, mida saab paika panna lähtuvalt eesmärgist. Näiteks Peuportier (2001) võtab oma väikeelamute LCAs arvesse ainult ehitusega otseselt seotud energeetilised kulud (ehitusmaterjalide tootmine, transport ja paigaldamine, samas ei arvesta ta tööliste transporti tehasesse ega tehase ekspluatatsiooniks vajaminevaid kulutusi). Samas põlevkivielektri olelusringi hindamises (Eesti Energia, 2006) võeti arvesse

tegevusi alates metsa mahavõtmise ja lõhkeaine tootmisega kuni jaotusvõrgu kadudega kaasnevate keskkonnamõjudeni.

2. **Andmestiku loomine** (ingl. k *Life Cycle Inventory – LCI*; ISO 14041) – etapp hõlmab endas andmete kogumist ja sisendite ning väljundite koguste leidmist. Andmete kogumine on selle etapi üks tähtsamaid osasid, sest andmete kvaliteedist sõltub otseselt ka lõpptulemus (Koskela & Hiltunen, 2004). Seetõttu on oluline teada täpset uurimuse eesmärki.

Toote olelusringiga seotud sisenditena hinnatakse tavaliselt ressursside kulu ja väljunditena ainete emissioone õhku ning vee ja pinnase saastumist. Hindamise tulemusena saadakse teada tootmiseks vajaminevate ja tekkivate ainete kogused, mille põhjal on võimalik välja selgitada keskkonnale kõige enam mõju avaldavad tegurid. Negatiivsete keskkonnamõjude tuvastamiseks on erinevate autorite poolt välja pakutud mitmeid meetodeid: õhu- ja vee saaste indeks (Meil *et al*, 2002); ökotoksilisuse indeks (Lippiatt, 2000); globaalse soojenemise, hapestumise potentsiaal (European Commission, 1997). Azapagic'i (1999) andmetel on tootega kaasnevate keskkonnamõjude iseloomustamiseks kõige enam levinud meetod potentsiaalide (näiteks globaalse soojenemise, hapestumise, osoonikihi hõrenemise potentsiaal) kasutamine. Näiteks globaalse soojenemisega seotud gaasid CH₄ ja teised lenduvad orgaanilised ühendid (Volatile Organic Compounds – VOC) esitatakse globaalse soojenemise potentsiaalis CO₂ ekvivalentidena.

3. **Olelusringi mõjude hindamine** (ingl. k *Life Cycle Impact Assessment – LCIA*; ISO 14042) – toimub eelmises etapis leitud keskkonda mõjutavate tegurite hindamine ja jaotamine erinevatesse kategooriatesse. Antud faasi osadena võib välja tuua (Goedkoop & Oele, 2002) meetodi ja kategooriate valiku, klassifitseerimise ja iseloomustava faktori määramise (ingl. k *characterisation*) etapi.

Meetodi ja kategooriate valik sõltub uurimuse eesmärgist. LCA meetodid täienevad pidevalt, selle tõttu pole kehtestatud ka ühtset meetodit. Sama kehtib ka kategooriate kohta (European Commission, 1997). LCA praktikas on kasutusel

mitmeid kategooriaid (globaalne soojenemine, hapestumine, eutrofeerumine jt), kuid iga olulusringi hindaja otsustab ise, milliseid mõjude kategooriaid ta tarvitab.

Klassifitseerimise käigus toimub andmestiku loomise faasis leitud tegurite jaotamine kategooriatesse. Näiteks CO₂ ja CH₄ on mõlemad kasvuhoonegaasid, seega paigutatakse nad globaalse soojenemise kategooriasse, samas SO₂ ja NH₃ liigitatakse hapestumise kategooria alla. Kuna klassifitseerimise käigus paigutatakse ühte mõjukategooriasse mitmeid erinevaid tegureid, on oluline leida tegureid siduvad faktorid. Näiteks 100-aastaselt ajaskaalal omab 1 kg CH₄ 24 korda suuremat mõju globaalsele soojenemisele võrreldes 1 kg CO₂-ga (Lippiatt, 2000). Enamasti väljendatakse LCA praktikas globaalset soojenemist CO₂ ekvivalentidena, ehk CO₂ faktoriks võetakse 1 ning näiteks CH₄ puhul oleks see faktor 24.

Osades LCAdes jäetakse mõjude hindamise faas vahele ja lõpptulemustena esitatakse algandmete analüüsi tulemused. Sellist lähenemist kasutatakse kui soovitakse leida lahendusi saasteainete emissiooni (nt CO₂) vähendamiseks või tootmise efektiivsuse tõstmiseks (Lippiatt, 2000).

4. **Interpretatsioon** (ingl. k *interpretation*; ISO 14043) – toimub eelmiste faaside tulemuste hindamine ja kontroll. Hindamise tulemusena leitakse, millised materjalid või protsessid toote olulusringis omavad olulist keskkonnamõju ja millest see olulisus on tingitud. Sealjuures tuleks arvestada, et kõikide andmetega kaasnevad mõningad ebatäpsused, näiteks võivad andmed pärineda erinevatest allikatest, mistõttu ei pruugi nad olla üheselt võrreldavad. Eriti tuleks ebatäpsustega arvestada kvantitatiivse LCA koostamisel.

Interpretatsiooni faasi lõpus esitatakse olulusringi hindamise tulemused ja kokkuvõte. Olulusringi hindamise koostamise põhjuseks on sageli soov tuvastada toote negatiivsed keskkonnamõjud ning leida lahendusi mõjude vähendamiseks. Seetõttu esitatakse LCA lõpus ka soovitused, mille ellu viimisel on võimalik vähendada negatiivseid keskkonnamõjusid.

1.2.4 Näiteid LCAs hinnatavate mõjude kategooriatest

Hoonete keskkonnamõjude hindamiseks on mitmeid meetodeid, mis käsitlevad erinevaid keskkonnategureid. Mõjutegurid võib jagada kahte suurde kategooriasse: esiteks hoonete mõju väliskeskkonnale ja teiseks mõju sisekliimale (European Commission, 1997).

Euroopa Komisjoni raportis (European Commission, 1997) tuuakse välja 4 põhilist tegurit, mis mõjutavad globaalselt keskkonda:

- loodusressursside kasutamine (toormaterjal, energia, vesi);
- globaalne atmosfääri saaste (globaalne soojenemine, osoonikihi hõrenemine);
- vee ja pinnase saaste (hapestumine, eutrofeerumine);
- jäätmete teke.

Hoone sisekliimat mõjutavad faktorid võib jagada kolmeks (Kibert, 2005):

- füüsikalised tegurid (heli/müra, valguse kvaliteet, soojustingimused ja lõhnad);
- keemilised tegurid (lenduvad orgaanilised ühendid (VOC), radoon, asbest, põletamise kõrvalsaadused);
- bioloogilised tegurid (bakterid, seened, viirused, vetikad).

Mainitud mõjutegureid kasutatakse ka olulusringi hindamise käigus. Sõltuvalt eesmärgist ja hindamise ulatusest, kajastavad erinevad autorid olulusringi hindamises erinevaid kategooriaid. Hoone sisekliima kohta tehtavad LCAd on eelkõige suunatud konkreetse objekti elanike/omanike teadvustamiseks ega kuulu üldjuhul laiemale ringkonnale tutvustamiseks. Seevastu LCAd, mis käsitlevad toote või objekti mõjusid väliskeskkonnale, on just eelkõige suunatud laiemale ringkonnale avalikustamiseks. Mistõttu on ka enamustes avalikult kättesaadavates LCAdes käsitletud mõjusid väliskeskkonnale. Näiteks Wu *et al* (2004), Nicoletti *et al* (2002), Jönsson *et al* (1997), Arena & de Rosa (2002) hindavad LCAdes emissioonide mõjusid globaalsele soojenemisele, hapestumisele ja eutrofeerumisele. Olulusringi hindamist võib kasutada ka ettevõtte teadvustamiseks tema toote keskkonnamõjudest. Sellisel juhul pööratakse tähelepanu konkreetsete saasteainete (CO₂, SO₂, tuhk) koguste välja arvutamisele

(Briggs, 2001; Hassan, 2004). Toodete keskkonnanäitajate võrdluse koostamisel on kasutusel mõlemad mainitud hindamisviisid (Meil *et al*, 2002; Adalberth, 1997a). Kokkuvõtvalt kajastatakse olelusringi hindamises, mis kajastab toodete mõjusid väliskeskkonnale, põhiliselt 5 mõjukategooriat (Erlandsson *et al*, 2005): globaalne soojenemine, hapestumine, eutrofeerumine, osoonikihi hõrenemine ja fotokeemiliste oksüdantide teke.

Olelusringi hindamist on võimalik kasutada mitmetes valdkondades. LCA koostamise lihtsustamiseks on välja töötatud mitmeid meetodeid ja tarkvaraprogramme (SimaPro, ATHENATM, BEES). Sisuliselt pole LCA koostajatele seatud mingeid nõudeid, mistõttu on igalühel võimalus valida, millist meetodit kasutada. Oluline on seejuures püstitada konkreetne eesmärk ja panna paika hindamise ulatuse piirid.

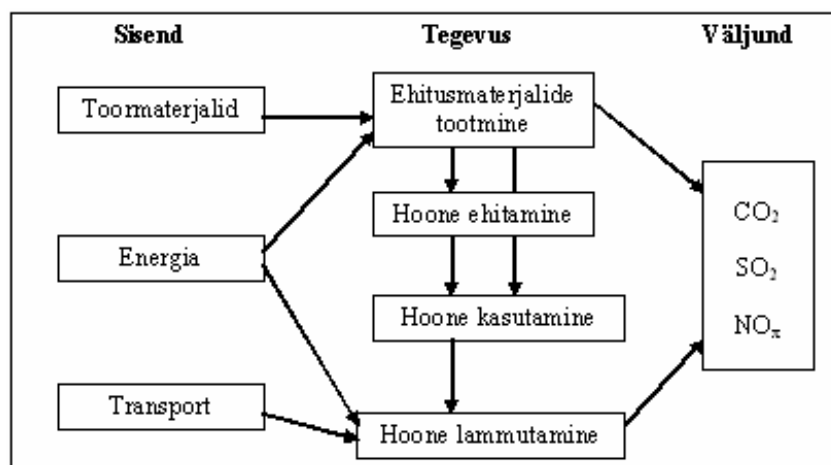
2. Metoodika

2.1 Uurimuse eesmärk

Käesolev töö on koostatud jätkuks minu bakalaureusetööle „Eesti eramajade kolme välisseina tüüplahenduse elutsükli analüüsi võrdlus” (Esperk, 2005). Magistritöö praktilise osa eesmärgiks on Eesti eramajade tarindite - kolme välisseina ja katuse tüüplahenduse ning kahe vundamendi tüüplahenduse olelusringi hindamine. Hinnatavateks parameetriteks valisin energiakulu ja sellega kaasnevad emissioonid (CO_2 , SO_2 ja NO_x) materjalide tootmise, tarindite kasutamise- ja lammutamisfaasi käigus, eelkõige tulenevalt energiakulu ja eralduvate emissioonide otsesest omavahelisest seotusest.

2.2 LCA ulatus

Olelusringi hindamise edukaks teostamiseks on oluline kindlaks määrata hindamise ulatus. Antud hindamise ulatus on toodud joonisel 3.



Joonis 3. Antud uurimuse elutsükli analüüsi komponendid

Käesolevas töös kasutasin lühikese LCA metoodikat (vt peatükk 1.2.3) võttes arvesse järgnevaid asjaolusid:

1. Uuritavate parameetrite leidmisel kasutasin ainult põhiehitusmaterjalide vastavaid väärtusi s.t arvesse ei ole võetud materjalide kinnitamiseks vajaminevaid lisamaterjale (naelad, kruvid);

2. Elektrienergia kasutamine kajastub ainult materjalide energiasisalduses, emissioonide hulga arvutamisel elektrienergia tootmisega kaasnevate emissioonidega arvestatud pole. Emissioonide hulga arvutamisel võtsin aluseks ainult otsesed kütuse põletamisest pärinevad heitgaasid. Lisaks kasutasin uurimuses Eesti andmete kõrval ka teiste riikide andmeid (riigiti kasutatakse elektri tootmiseks erinevaid energia- ja/või kütuseliike, mistõttu on ka emissioonide koostis ja hulk erinevad);
3. Suure töömahukuse tõttu ei ole CO₂ koguste leidmisel arvesse võetud, et:
 - puu seob fotosünteesi käigus süsihappegaasi, vähendades niiviisi puitmaterjali tootmisega kaasnevat summaarset CO₂ emissiooni;
 - seina viimistluseks kasutatav lubikrohv seob kõvenemise käigus CO₂-te.
4. Emissioonide paigutamine mõjukategooriatesse on otstarbekas vaid siis, kui ühe mõjukategooria jaoks arvutatakse välja mitme erineva heitgaasi kogused. Antud töös piirdun ainult kolme heitgaasi koguse välja arvutamisega, mille mõjukategooriatesse jagamine ei ole otstarbekas. Siinkohal toon välja vaid, et vastavalt Euroopa Komisjoni raportile (European Commission, 1997), kuulub CO₂ globaalse soojenemise, SO₂ hapestumise ja NO_x eutrofeerumise ja hapestumise kategooriasse;
5. Olulusringi hindamise käigus analüüsisin kolme etappi elamu tarindite olulusringi jooksul:
 - Tootmisfaas – arvesse võtsin ainult konkreetse materjali tootmisel (tooraine saamine (kaevandamine, puude maharaiumine) + tootmisprotsess) vajamineva energia hulga ja tekkivad CO₂, SO₂ ja NO_x emissioonid. Transpordi kulused pole antud faasis arvesse võetud, kuna Adalberth'i (1997b) andmete kohaselt on ehitusega seotud transpordi käigus kulutatav energia hulk minimaalne, moodustades ainult 1% kogu maja eluea jooksul vajaminevast energiast;
 - Kasutusfaas – toetudes erinevatele autoritele (Adalberth, 1997a; Blanchard & Reppe, 1998; Erlandsson & Borg, 2003) ja tarindite võrreldavuse saavutamiseks eeldasin, et hoone keskmine kasutusaeg on 50 aastat.

Kasutusfaasis tekkivad keskkonnamõjud on seotud tarindite hoolduse ja remondiga (värvimine, tõrvamine). Uurimuses eeldasin, et tarindites olevaid ehitusmaterjale kasutusaja jooksul välja vahetada ei tule, seega keskkonnamõjude hindamisel arvestasin ainult värvide tootmisel vajamineva energia koguse ja tekkivate CO₂, SO₂ ja NO_x emissioonidega;

- Lammutusfaas – energia hulga ja emissioonide hindamisel on aluseks võetud ekskavaatori töö (lammutusjäätmete veoauto kasti tõstmine) ja lammutusjäätmete transport 10 kilomeetri kaugusele prügilasse. Eelduseks on võetud, et ekskavaatori iga kopatäis on tihedasti täidetud lammutusjäätmetega, st kopp on maksimaalselt täidetud. Lammutusjäätmete transport prügilasse sõltub otseselt jäätmete massist. Seega on kõigi tarindite konstruktsioonitüüpide lammutusfaasi hindamisel tinglikult võetud prügila kauguseks 10 kilomeetrit. Ekskavaatori ja veoauto tehnilised näitajad ning töötamise käigus eralduvad emissioonid pärinevad Stripple'i (2001) uurimusest ja on ära toodud Lisas 1.

6. Põhjalikes LCAdes moodustab lammutusjäätmete käitlemise stsenaariumite analüüs väga mahuka osa. Käesolevas töös puudutan antud valdkonda üsna pealiskaudselt. Nimelt, toon kõigi analüüsitud tarinditüüpide kohta välja need ehitusmaterjalid, mida on võimalik taaskasutada (hõlmab materjalide korduvkasutust ja/või kasutamist täitematerjalina), põletada või komposteerida. Materjalide ümbertöötlemist pole antud uurimuses arvesse võetud, kuna antud juhul on tarvis materjalide töötlemiseks kasutada lisaenergiat.

2.3 Uurimisobjektide valik ja kirjeldused

Uurimisobjektideks on Eestis levinud kolm välisseina ja katuse tüüplahendust ning kaks vundamendilahendust. Uurimisobjektide valiku tegin lähtudes järgnevast:

- konkreetse konstruktsiooniga tarindid on Eestis kasutusel;
- konkreetne tarindikonstruktsioon sobib väike-elamu (118 m²) ehitamiseks;
- põhikarkassi ülesehitamiseks on kasutatud Eestis toodetud materjale.

Seejuures on üheks hoone terviklahenduseks (betoonvundament, kergsavisein ja kivikatus) reaalselt eksisteeriv elamu (Otepää kergsavimaja), mille ehitusjoonised on toodud LISAs 2. Kõikide uuritavate tarindite ehitusmõõdud pärinevad eelmainitud ehitusprojektist ning on järgmised: välisseina suurus 176 m², katuse pindala 258 m², hoone aluse maa pindala 118 m². Vundamendi pikkus vastab välisseina ümbermõõdule; sügavus 1,1 m (s.h 30 cm maapinnal); paksus sõltub konkreetse välisseinatüübi paksusest.. Tarindite energiasisalduse ja emissioonide määramiseks arvutasin erinevates konstruktsioonides kasutatavate materjalide kogused ning saadud väärtused korrutasin vastavate materjalide primaarenergiaga ja ühe kilogrammi tootmisel tekkiva CO₂, SO₂ ja NO_x hulga. Lõpptulemuseks summeerisin antud konstruktsioonis kasutatavate ehitusmaterjalide vastavad väärtused.

Järgnevalt valitud tarindite lühiiseloostused:

Välissein

1. Kergsavisein. Konstruktsiooni idee pärineb Ökoloogiliste Tehnoloogiate Keskuselt (www.ceet.ee). Puitkarkass täidetakse kergsaviga. Soojustuseks pannakse peale kahekordne roomatt, mis vooderdatakse 2-kordse linaõlivärviga kaetud laudisega. Täpsemad andmed materjalide ja seinakonstruktsiooni kohta on toodud Lisas 3.
2. Kergkruusaplokkidel põhinev välissein (edaspidi kergkruusaplokk-välissein). Antud projekti on välja töötanud kergkruusaplokkide tootmisega tegelev firma "Maxit Group OÜ" (www.maxit.ee). Kergkruusaplokkid kaetakse väljast poolt kahekordse soojustusega (klaasvill). Isolatsioonimaterjali paika panemiseks kasutatakse horisontaalset ja vertikaalset puitsõrestikku. Soojustuskihi peale kinnitatakse tuuletõkkeplaat, millest välja poole, 40 mm kaugusele, laotakse telliskivimüür. Täpsemad andmed materjalide ja seinakonstruktsiooni kohta on toodud Lisas 4.
3. Puitsein. Konstruktsiooni näidis pärineb puitehitiste projekteerimise ja rajamisega tegelevalt OÜ Matek'ilt (www.matek.ee). Puitkarkass on kaetud kahekordse soojusisolatsioonimaterjaliga (klaasvill), selle paigaldamiseks kasutatakse horisontaalset ja vertikaalset puitsõrestikku. Soojustuskihi peale paigaldatakse

puitlaastplaat, millele omakorda järgneb PE-kile (polüetüleenkile). PE-kile peale paigaldatakse kipskartongplaat ning lõpuks kaetakse hoone välissein voodrilaudadega. Täpsemad andmed materjalide ja seinakonstruktsiooni kohta on toodud Lisas 5.

Katus

Eestis kasutatakse väike-elamute katuseks valdavalt puitsarikatel põhinevat katusetüüpi. Seetõttu on kõigi antud uurimuses hinnatud kolme katusetüübi korral katuse kandvaks osaks puitsarikad. Kuna uurimuse aluseks oleval Otepää kergsavimajal on väljaehitatud ka teine korrus, siis on ka kõigi kajastatud katusetüüpide korral arvestatud soojustusega, mis on paigaldatud sarikate vahele. Keskkonnanäitajate erinevus erinevate katusetüüpide korral tuleneb peamiselt katusekattematerjalist ja selle tehnilistest näitajatest (erinevad kattematerjalid nõuavad erinevat roovitust).

1. Kivikatus. Puitsarikad on seest poolt soojustatud kahekordse roomatiga. Sarikatele kinnitatakse tuuletõkkeplaat, mis kaetakse polüetüleenist aluskattega, mis on mõlemalt poolt eraldatud tuulutusliistudega. Tuulutusliistudele kinnituvad roovlatid, millele omakorda kinnituvad savikatusekivid. Lahendus pärineb Lafarge-Roofing OÜ-lt (www.lafarge-roofing.ee; Lisa 6)
2. Plekk-katus. Puitsarikad on seest poolt soojustatud klaasvillaga. Sarikatele kinnitatakse tuuletõkkeplaat, mis kaetakse polüetüleenist aluskattega, mis on mõlemalt poolt eraldatud tuulutusliistudega. Tuulutusliistudele kinnituvad roovlatid, millele omakorda kinnitub alküüdvärviga kaks korda ülevärvitud katuseplekk. Lahendus pärineb Weckman OÜ-lt (www.weckman.ee; Lisa 7)
3. Puitkatus. Puitsarikad on seest poolt soojustatud klaasvillaga. Sarikatele kinnitatakse tuuletõkkeplaat, mis kaetakse polüetüleenist aluskattega, mis on mõlemalt poolt eraldatud tuulutusliistudega. Tuulutusliistudele kinnituvad roovlatid, millele omakorda kinnituvad männitõrvaga immutatud puitlaastud. Informatsioon pärineb Puitkatused OÜ-lt (www.puitkatused.ee, Lisa 8).

Vundament

1. Betoonvundament kergsavivälisseinale. Terasvarrastest armatuuriga betoonist vundamenditaldmik, millele toetub betoonist vundament. Hüdroisolatsioonina on kasutatud bituumen-mastiksit (lahendus pärineb Masso (1990) poolt avaldatud raamatust; Lisa 9).
2. Kergkruusaplokk-vundament. Terasvarrastest armatuuriga betoonist vundamenditaldmik, millele toetub Fibo kergkruusaplokkidest vundament (www.maxit.ee; Lisa 10).

2.4 Lähteandmete kogumine ja allikad

Saamaks teada konkreetsete materjalide energiasisaldust ja tootmisel tekkiva CO₂, SO₂ ja NO_x hulka, pöördusin e-kirja teel Eesti firmade poole, kes toodavad või vahendavad uurimuses käsitletavaid ehitusmaterjale. Kokku kirjutasin 30. firmale, kellest vastasid 21, kuid soovitud väärtusi oskasid edastada 14. ettevõtte esindajad. Saadud andmed on ka arvutamisel aluseks võetud. Ühe materjali (kergsavi) tootmisel kulutatava energia hulga ja eralduvate emissioonide kogused arvutasin välja ise. Kergsavi (88% hakkpuit, 6% savi, 6% vesi (http://ats.riik.ee/amphora/home/tartumaa/okoloogiliste_tehnoloogiate_keskus/Okoehitus/Kergsaviuuring.htm)) energiasisaldus hõlmab endas: ekskavaatori töö savi kaevandamisel, puiduhakkemasina kasutamisega seotud energiakulu ja elektrikulu segu valmistamiseks. Tehnilised andmed ekskavaatori kohta pärinevad Stripple'i (2001) uurimusest, puiduhakkemasina tehnilised näitajad aga LCA tarkvara SimaPro (ETH-ESU 96, 2003) andmebaasist. Vastavad näitajad on ära toodud Lisas 1.

Kuna Eesti firmadelt saadud informatsiooni kogus oli ebapiisav, tuli uurimuse läbiviimiseks kasutada ka teiste Euroopa riikide andmeid. Polüetüleenkile ja terase tootmise keskkonnanäitajad pärinevad LCA tarkvara SimaPro (BUWAL 250, 2001; Ecoinvent, 2003) andmebaasist, puitlaastplaadi andmed Frühwald & Hasch (1999) uurimusest ja alküüdvärvi näitajad Häkkinen *et al* (1999) uurimusest.

2.5 Emissiooni koguste arvutamine

Erinevate kütuseliikide põletamisest pärinevate emissiooni koguste leidmiseks kasutasin CO₂ ja SO₂ puhul Lepa *et al* (2001) andmeid ja NO_x puhul EV Keskkonnaministri 2004. aasta määrust (RTL, 2004, 108, 1724). Tekkiva süsinikdioksiidi (CO₂) koguse määrasin järgmise valemiga:

$$m_{\text{CO}_2} = 3,67C * m_{\text{kütus}}, \text{ kg}, \quad (1)$$

kus C - kütuse koostisesse kuuluva süsiniku kogus massiprotsentides;

$m_{\text{kütus}}$ - kütuse mass.

Eralduva vääveldioksiidi (SO₂) koguse leidsin järgmise valemiga:

$$m_{\text{SO}_2} = 20 * m * S_{\%} * (1 - \eta_{\text{SO}_2}), \text{ kg}, \quad (2)$$

kus m - kütuse mass tonnides;

$S_{\%}$ - kütuse väävlisisaldus %;

η_{SO_2} - tuhaga seotud vääveldioksiidi osa, mida ei paisata keskkonda.

η_{SO_2} väärtus soovitatakse võtta põlevkivile 0,5; turbale 0,2...0,3; söele 0,1...0,2; masuudile 0,02; gaasile 0. Lämmastikoksiidide (NO_x) hulga leidsin:

$$m_{\text{NO}_x} = 10^{-3} * B_1 * q_{\text{NO}_x}, \text{ kg}, \quad (3)$$

kus B_1 – kütusekulu GJ;

q_{NO_x} – lämmastikoksiidide eriheide g/GJ.

Erinevate kütuste süsiniku- ja väävlisisaldus ning lämmastikoksiidide eriheide (kütuste põletamisel 1 GJ energia saamisel eralduva aine mass grammides) on ära toodud tabelis 3. Arvutamisel aluseks võetud väärtused on esitatud sulgudes väärtusvahemike järel.

Tabel 3. Erinevate kütuste süsiniku- ja väävlisisaldus ning lämmastikoksiidide eriheide (Lepa *et al*, 2001; RTL, 2004, 108, 1724)

Kütus	Põlevaine koostis, %		Põlevaine eriheide, g/GJ
	Süsinik	Väävel	Lämmastikoksiidid
Diislikütus	86...89 (87)	0,1...1 (0,5)	100
Kivisüsi	75...91 (83)	1,1...1,3 (1,2)	200
Maagaas	72...77 (75)	-	100
Masuut	83...88 (85)	0,1...2 (0,8)	150
Puit	49...50 (50)	-	100
Põlevkivi	55...80 (68)	1,2...1,6 (1,4)	150
Turvas	50...63 (56)	0,2...0,5 (0,4)	300

3. Tulemused

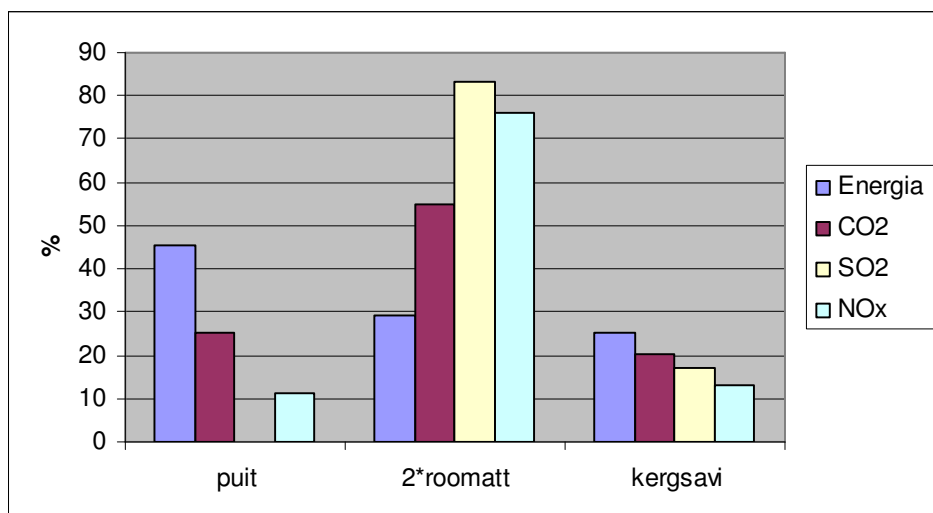
Erinevate tarindite energiasisalduse ja tootmisel tekkiva CO₂, SO₂ ja NO_x hulga leidmiseks summeerisin konkreetsetes tarindilahenduses kasutatud ehitusmaterjalide vastavad väärtused. Tulemused on esitatud alljärgnevalt tarindite kaupa. Iga tarinditüübi juures on toodud andmed kolme olulusringi etapi kohta (tootmine, kasutus ja lammutus). Tarindites kasutatavate materjalide kogused ja 1 kilogrammi materjalide tootmiseks kulutatav energia hulk (MJ) ning tootmisel eralduvate CO₂ (g), SO₂ (mg) ja NO_x (mg) kogused on ära toodud käesoleva töö lisades 3-10. Kõik väärtused tootmis- ja kasutusetapis on arvatud arvestades toormaterjali saamisel ja tootmisel vajaminevat energiahulka ning tekkivat CO₂, SO₂ ja NO_x kogust. Lammutusfaasi vastavad väärtused on leitud arvestades lammutamisel ja jäätmete transpordil 10 kilomeetri kaugusele kasutatavat energiahulka ning tekkivat CO₂, SO₂ ja NO_x kogust.

Välisseinatüübid

Kergsavivälisseina puhul pärineb üle poole kogu eluea jooksul kulutatavast energiast ning CO₂ ja NO_x emissioonidest tootmisfaasist, valdav enamus SO₂ emissioonist pärineb samuti tootmisfaasist (Tabel 4). Kergsavivälisseina energiasisaldusest moodustab puidu osakaal 45%, viimane on tingitud suurest kasutatavast puidu kogusest (Joonis 4). Huvitava asjaoluna tuleks ära märkida ka roomati suur energiasisaldus. Viimase põhjust võib otsida roomati tootmisel kasutatavast tsinktraadist. Nimelt tsinktraadi tootmine nõuab palju energiat ning seetõttu moodustab tsinktraadi energiasisaldus 2/3 kogu roomati energiasisaldusest. Tsinktraadi tootmisel kasutatakse peamiselt kivisütt, mistõttu on ka emissioonide kogused suured

Tabel 4. Kergsavivälisseina energiasisaldus ja tootmisel eralduva CO₂, SO₂ ja NO_x kogused.

Etapp	Materjal	kogu MJ	kogu CO ₂ kg	kogu SO ₂ g	kogu NO _x g
Tootmine	2*linaõlivärv	2387	29	69	286
	laudis	2927	103	0	98
	2*roomatt	8166	1059	5854	3148
	kergsavi	7078	389	1189	531
	puitkarkass	9854	380	0	361
	Kokku	28026	1931	7044	4138
Kasutamine	5*(2*linaõlivärv)	11935	145	347	1432
Lammutamine	lammutus+transport	627	369	120	2487
Kokku		40587	2446	7511	8058

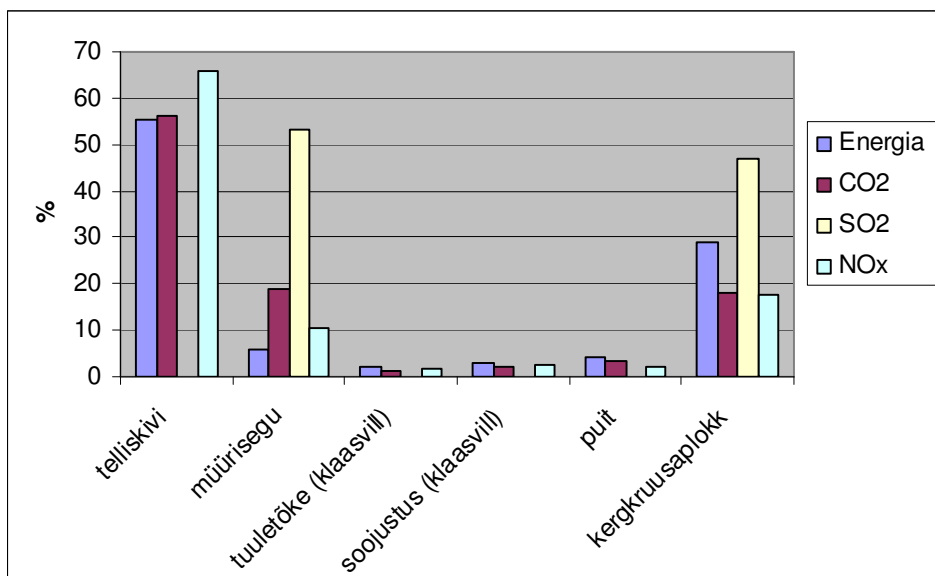


Joonis 4. Kergsavivälisseina energiasisalduse ja eralduvate emissioonide osakaalud (%).

Kergkruusaplokk-välisseina puhul (Tabel 5) pärineb enamus kogu eluea jooksul kulutatavast energiast ning eralduvatest emissioonidest tootmisfaasist. Kasutusfaasis täiendavat energiat ei kulutata, kuna puudub seina ülevärvimise vajadus. Kergkruusaplokk-välisseina kõige energiarikkamad materjalid on telliskivi, tsemendil põhinev müürisegu ja kergkruusaplokk (Joonis 5). See tuleneb nende materjalide suurtest tihedustest. Lisaks kasutatakse nende materjalide tootmises kõrgtemperatuuri, mis on energiakulukas. Põletamine tootmisprotsessi käigus on ka peamiseks emissioonide (CO₂, SO₂, NO_x) allikaks.

Tabel 5. Kergkruusaplokk-välisseina energiasisaldus ja tootmisel eralduva CO₂, SO₂ ja NO_x kogused.

Etapp	Materjal	kogu MJ	kogu CO2 kg	kogu SO2 g	kogu NOx g
Tootmine	välisvooder telliskivi müür	80995	3909	0	7008
	müürisegu	6827	1013	6133	854
	tuuletõke isover VKL	3303	102	0	182
	soojustus isover 575-KT	1502	47	0	84
	puidust horis. karkass s600	1798	69	0	66
	soojustus isover 575-KT	2991	93	0	167
	puidust vert. karkass s600	4434	171	0	163
	kergkruusaplokk Fibo3	42516	1265	7020	1887
	müürisegu	2048	304	1840	256
	Kokku	146415	6973	14994	10666
Kasutamine		0	0	0	0
Lammutamine	lammutus+transport	708	455	147	3055
Kokku		147123	7428	15141	13722



Joonis 5. Kergkruusaplokk-välisseina energiasisalduse ja eralduvate emissioonide osakaalud (%).

Energiasisalduse ja emiteeruvate heitgaaside osakaalude võrdlus (Joonis 5) näitab, et üldjoontes on energiakulu vastavuses tekkivate emissiooni kogustega. See tähendab, et mida rohkem kulutatakse energiat, seda enam eraldub CO₂, NO_x ja SO₂. Mitmete materjalide (telliskivi, klaasvilla tooted) puhul kasutatakse tootmisprotsessis maagaasi (väävlis sisaldus puudub või on minimaalne), mistõttu puudub ka antud materjalidel SO₂

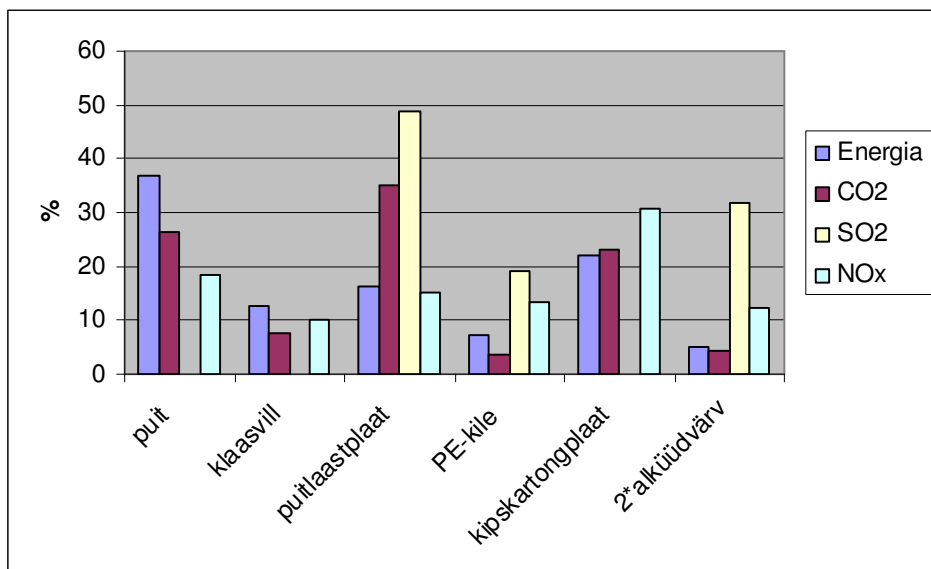
emissioon. Seoses tahkete fossiilsete kütuste (põlevkivi ja kivisüsi) põletamisega tootmisprotsessis on müürisegu emissioonide osakaal suurem kui energiasisalduse vastav väärtus.

Puitvälisseina puhul pärineb ca 75% kogu eluea jooksul kulutatavast energiast ning CO₂ emissioonidest tootmisfaasist, SO₂ emissioonist ca 50% pärineb aga kasutusfaasist (Tabel 6). Viimane on tingitud välisseina ülevärvimise vajadusest iga 10 aasta tagant. Suur SO₂ emissioon tuleneb tahkete fossiilsete kütuste põletamisest alküüdvärvi tootmise käigus.

Ka puitvälisseinas kasutatavate materjalide energiasisalduse ja emissioonide osakaalud tõestavad (Joonis 6), et suurema energiasisaldusega materjalidest eraldub suurem kogus heitgaase. Oluline on ka märkida, et heitgaaside osakaal võrreldes energiasisaldusega on suurem just nendes materjalides, mille tootmisel on kasutatud tahkeid fossiilseid kütuseid.

Tabel 6. Puitvälisseina energiasisaldus ja tootmisel eralduva CO₂, SO₂ ja NO_x kogused.

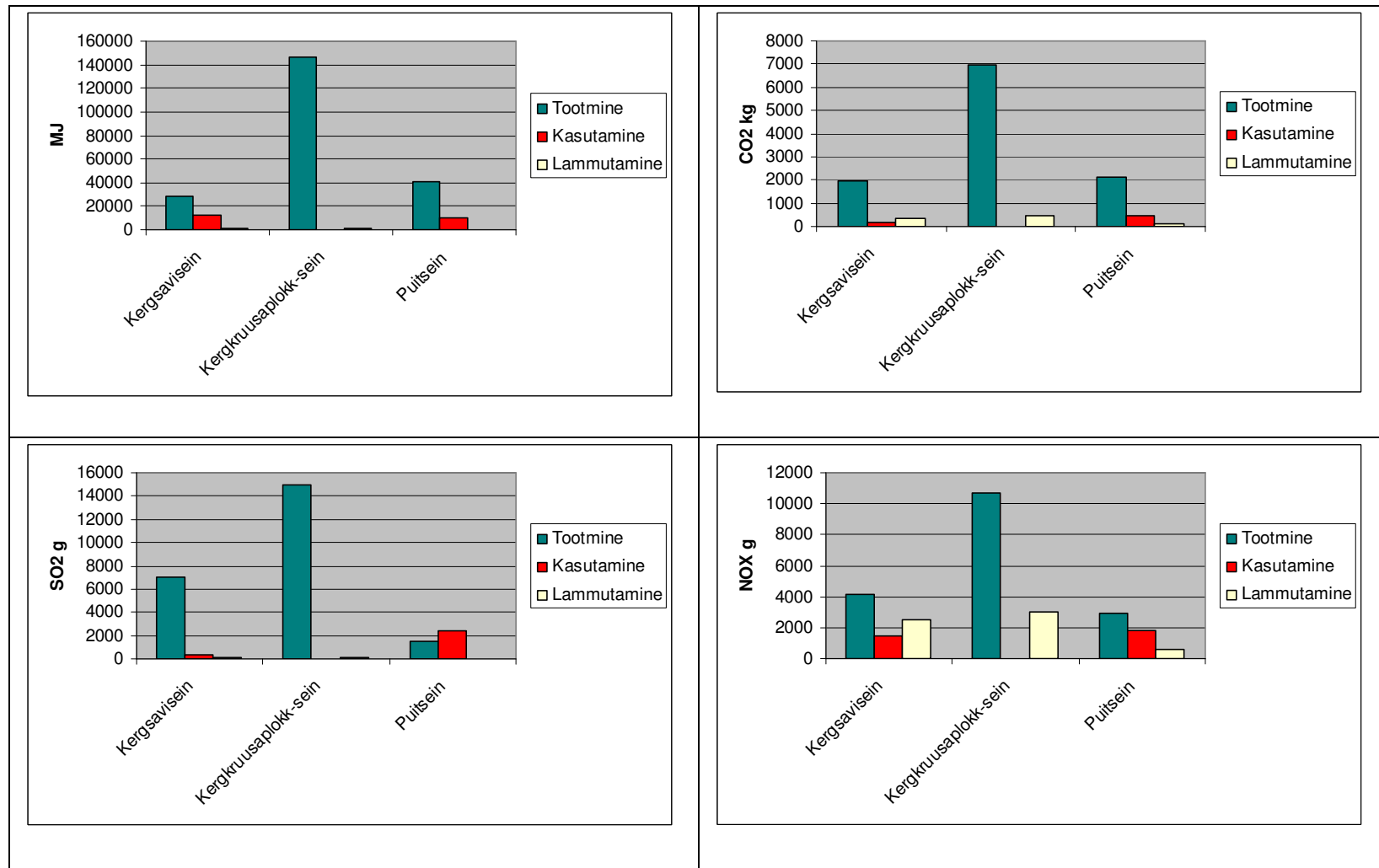
Etapp	Materjal	kogu MJ	kogu CO ₂ kg	kogu SO ₂ g	kogu NO _x g
Tootmine	2*alküüdvärv	2083	90	490	360
	laudis	2927	103	0	98
	puitkarkass	9854	380	0	361
	puidust horis. karkass				
	s575	2217	86	0	81
	soojustus isover 575-KT (75+100)	5185	162	0	290
	puitlaastplaat V20	6652	758	752	439
	PE-kile	2910	76	296	394
	kipskartongplaat	8915	499	0	892
	Kokku	40743	2154	1538	2915
Kasutamine	5*(2*alküüdvärv)	10415	450	2450	1800
Lammutamine	lammutus+transport	183	94	31	641
Kokku		51341	2699	4019	5356



Joonis 6. Puitvälisseina energiasisalduse ja eralduvate emissioonide osakaalud (%).

Kokkuvõtvalt on joonistel 7-10 toodud kolme välisseinatüübi olulusringi jooksul kaasnev energiakulu ja emissioonid. Ülemiselt vasakpoolsest jooniselt on näha, et kergkruusaplokk-välisseina ehitamisega kaasneb oluliselt suurem energiakulu kui teiste välisseinte korral. Samas kasutusfaasis pole kergkruusaplokk-välisseina puhul täiendavat energiat vaja kulutada (ülevärvimise vajadus puudub).

Eralduvate emissioonide osas tekib kõige enam emissioone kergkruusaplokkseina tootmise korral. Kasutusfaasi emissioonid tulenevad ülevärvimise vajadusest (suure väävlisisaldusega tahkete fossiilsete kütuste kasutamine alküüdvärvi (puitvälisseina välisviimistlus) toomiseks tingib ka suure SO₂ emissiooni puitvälisseina kasutusfaasi käigus). Lammutusfaasis eralduva NO_x emissioon tuleneb diislikütuse põletamisest lammutusjäätmete transportimise käigus. Kõige väiksema energiasisalduse ja eralduvate emissiooni kogustega välisseinatüüp tervet olulusringi arvesse võttes on antud juhul kergsavivälissein.



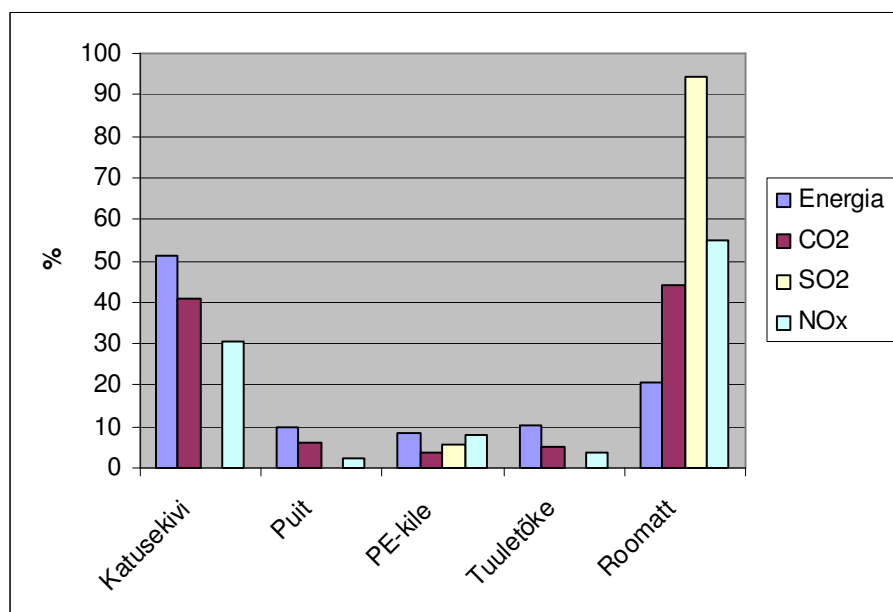
Joonis 7 - 10. Kolme välisseinatüübi olusringi jooksul kaasnev energiakulu ja emissioonid.

Katusetüübid

Kivikatuse puhul pärineb valdav enamus kogu eluea jooksul kulutatavast energiast ning eralduvatest emissioonidest tootmisfaasist (Tabel 7). Kivikatuse energiasisaldusest moodustab katusekivide osakaal 52%, viimane on tingitud suurest kasutatavast kogusest (Joonis 11).

Tabel 7. Kivikatuse energiasisaldus ja tootmisel eralduva CO₂, SO₂ ja NO_x kogused.

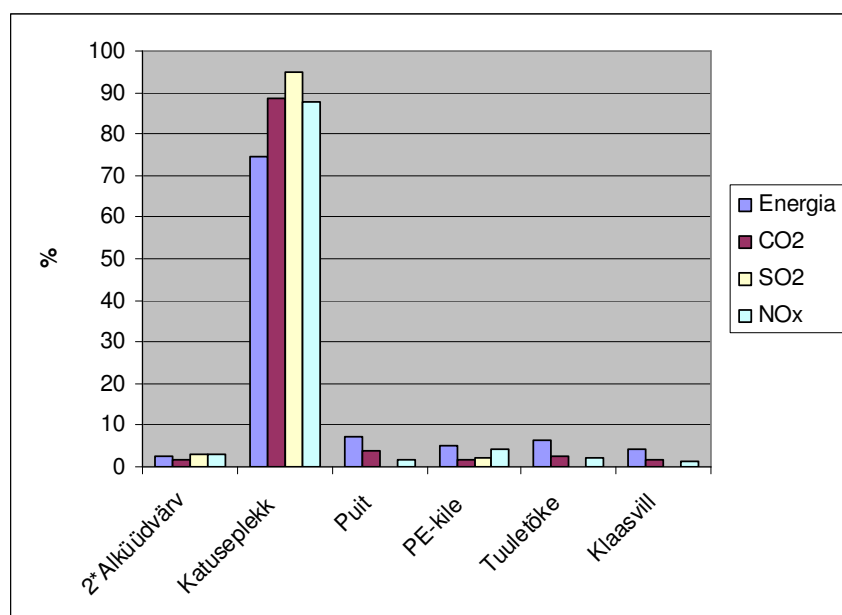
Etapp	Materjal	kogu MJ	kogu CO ₂ kg	kogu SO ₂ g	kogu NO _x g
Tootmine	Savikatusekivi	23734	1145	0	2053
	Puit (roovlatid)	1436	55	0	53
	Puit (tuulutusliistud)	272	11	0	10
	Polüetüleen (aluskate)	3934	103	400	533
	Tuuletõke	4798	148	0	264
	Puit (sarikad)	2044	79	0	75
	Puit (tuulekast)	790	30	0	29
	2*Roomatt	9567	1240	6858	3688
	Kokku	46575	2812	7258	6705
Kasutamine		0	0	0	0
Lammutamine	lammutus+transport	347	187	61	1267
Kokku		46922	2999	7319	7972



Joonis 11. Kivikatuse energiasisalduse ja eralduvate emissioonide osakaalud (%).

Tabel 8. Plekk-katuse energiasisaldus ja tootmisel eralduva CO₂, SO₂ ja NO_x kogused.

Etapp	Materjal	kogu MJ	kogu CO2 kg	kogu SO2 g	kogu NOx g
Tootmine	2*Alküüdvärv	2147	93	506	372
	Katuseplekk (Rannila)	58291	5069	16911	11197
	Puit (roovlatid) samm 200 mm	2436	94	0	89
	Puit (tuulutusliistud)	272	11	0	10
	Polüetüleen (aluskate)	3934	103	400	533
	Tuuletõke	4798	148	0	264
	Puit (sarikad) samm 605 mm	2044	79	0	75
	Puit (tuulekast)	790	30	0	29
	Klaasvill	3326	104	0	186
	Kokku	78039	5730	17817	12755
Kasutamine	5*(2*Alküüdvärv)	10733	464	2528	1858
Lammutamine	lammutus+transport	219	97	32	666
Kokku		88991	6292	20377	15279



Joonis 12. Plekk-katuse energiasisalduse ja eralduvate emissioonide osakaalud (%).

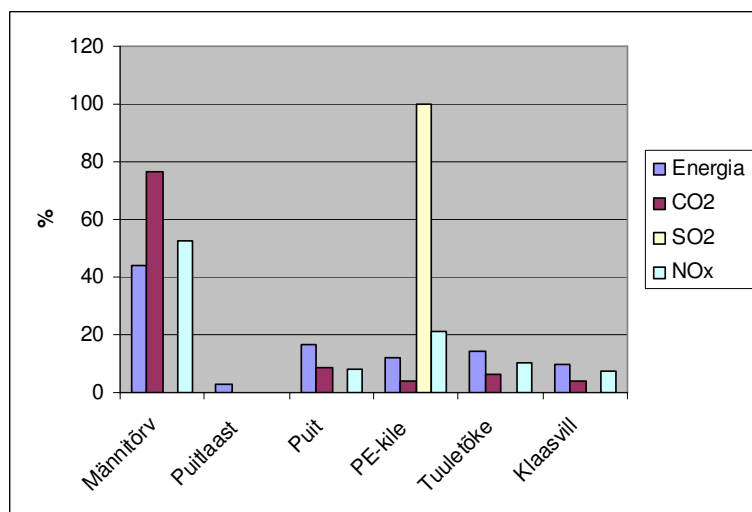
Plekk-katuse puhul pärineb valdav enamus kogu eluea jooksul kulutatavast energiast ning eralduvatest emissioonidest samuti tootmisfaasist (Tabel 8). Kasutusfaasi ülevärvimisest tulenev energiakulu moodustab kogu eluea jooksul kulutatavast energiast ca 12%. Plekk-katuse energiasisaldusest moodustab ca 75% katusepleki tootmiseks

kulutatav energia (Joonis 12). Viimane on tingitud asjaolust, et katusplekiks kasutatava terase tootmine on energiakulukas.

Puitlaastkatuse korral pärineb valdav enamus (87%) kogu eluea jooksul kulutatavast energiast ning eralduvatest emissioonidest kasutusfaasist (Tabel 9). Viimane on tingitud asjaolust, et puitlaastkatust tuleb tootja (Puitkatused OÜ) andmetele tuginedes iga 3 aasta tagant tõrvata. Seejuures on traditsioonilisel viisil (männikändude kuumutamise teel) tõrva tootmine väga energiamahukas protsess. Männitõrva tootmisel kasutatakse energia saamiseks puitkütust, mistõttu puuduvad SO₂ emissioonid (Joonis 13).

Tabel 9. Puitlaastkatuse energiasisaldus ja tootmisel eralduva CO₂, SO₂ ja NO_x kogused.

Etapp	Materjal	kogu MJ	kogu CO ₂ kg	kogu SO ₂ g	kogu NO _x g
Tootmine	2*Männitõrv	14740	1893	0	1321
	Puitlaast	894	0	0	0
	Puit (roovlatid) samm 175 r	2504	97	0	92
	Puit (tuulutusliistud)	272	11	0	10
	Polüetüleen (aluskate)	3934	103	400	533
	Tuuletõke	4798	148	0	264
	Puit (sarikad) samm 605 m	2044	79	0	75
	Puit (tuulekast)	790	30	0	29
	Klaasvill	3326	104	0	186
	Kokku	33303	2464	400	2509
Kasutamine	16*(2*Männitõrv)	235840	30294	0	21131
Lammutamine	lammutus+transport	221	97	32	667
Kokku		269364	32855	432	24308



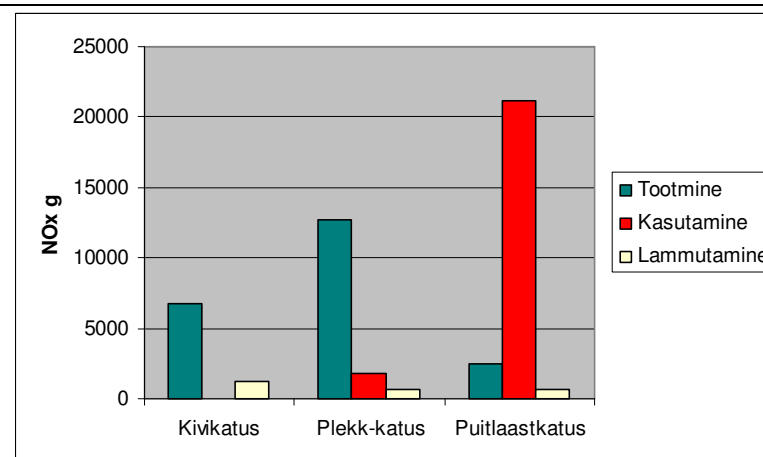
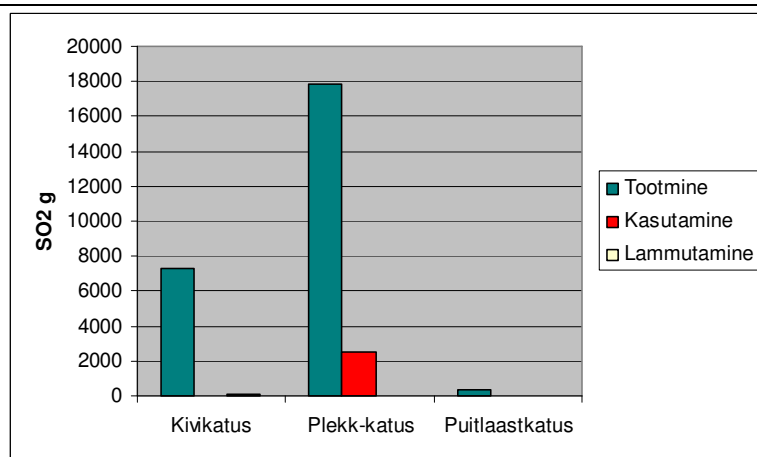
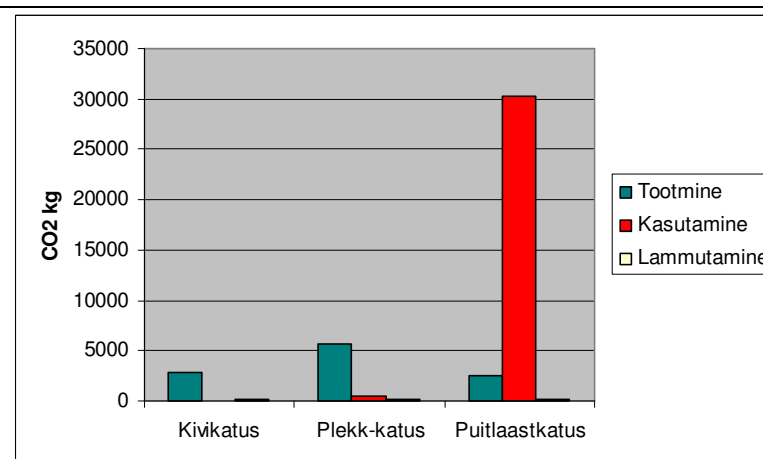
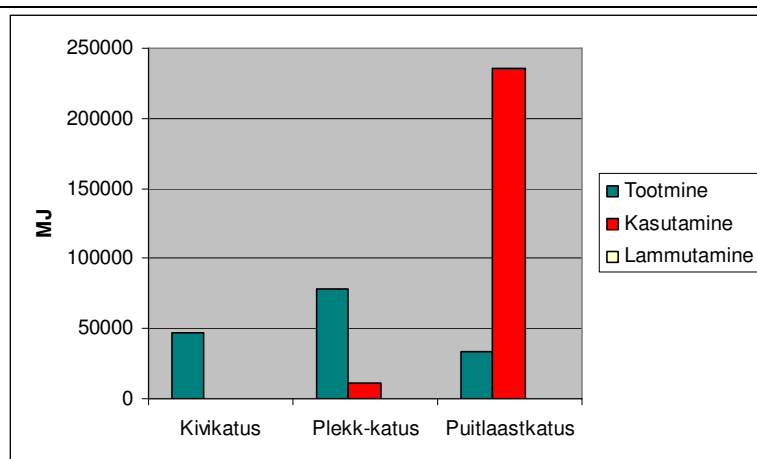
Joonis 13. Puitlaastkatuse energiasisalduse ja eralduvate emissioonide osakaalud (%).

Kokkuvõtvalt on joonistel 14-17 toodud kolme katusetüübi olelusringi jooksul kaasnev energiakulu ja emissioonid. Ülemiselt vasakpoolsest joonisest on näha, et plekkkatuse ehitamisega kaasneb 1,7 korda suurem energiakulu võrreldes teiste katusetüüpidega. Puitlaastkatuse ehitamiseks kulutatakse kolmest katusetüübist kõige vähem energiat, samas iga kolme aasta tagant tõrvamise vajadus muudab kasutusfaasi energiakulu teistest katusetüüpidest märgatavalt suuremaks.

Kogu olelusringi arvesse võttes on eralduvate CO₂ ja NO_x emissioon kõige suurem puitlaastkatuse puhul. Samas SO₂ emissioon puitlaastkatuse olelusringi jooksul praktiliselt puudub, kuna puitlaastkatuse materjalide tootmisel kasutatakse palju puitkütust, mille väävlisisaldus on väga minimaalne. Plekkkatuse puhul kasutatakse terase tootmisel valdavalt tahkeid fossiilseid kütuseid, mistõttu on ka katuse tootmisfaasis eralduv SO₂ kogus oluliselt suurem võrreldes teiste katusetüüpidega. Kõige väiksema energiasisalduse ja eralduvate emissiooni kogustega katusetüüp tervet olelusringi arvesse võttes on antud juhul kivikatus.

Vundamenditüübid

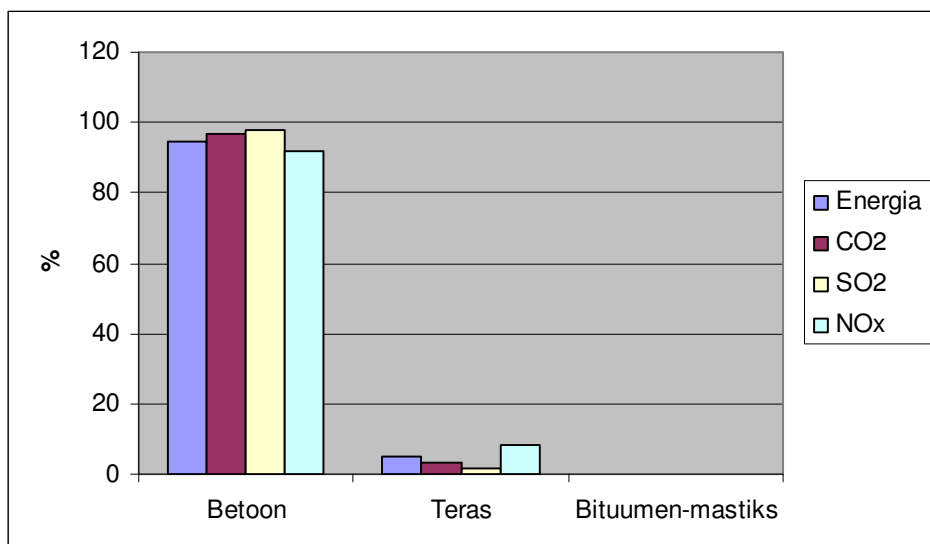
Betoonvundamendi (kergsavivälisseinale) korral pärineb enamus (98%) kogu eluea jooksul kulutatavast energiast ning eralduvatest emissioonidest tootmisfaasist. Kasutusfaasis täiendavat energiat ei kulutata, kuna hoolduse vajadus kasutaja jooksul puudub (Tabel 10). NO_x emissioonist ca 30% pärineb lammutusfaasist ja on tingitud diislikütuse kasutamisest lammutamise ja jäätmete transpordi ajal. Tulenevalt suurest kasutatavast kogusest on ka betooni osakaal vundamendi energiasisalduses suur (94%; Joonis 18).



Joonised 14 - 17. Kolme katuse tüübi olulusringi jooksul kaasnev energiakulu ja emissioonid.

Tabel 10. Betoonvundamendi energiasisaldus ja tootmisel eralduva CO₂, SO₂ ja NO_x kogused.

Etapp	Materjal	kogu MJ	kogu CO ₂ kg	kogu SO ₂ g	kogu NO _x g
Tootmine		8292	1159	6997	974
	Taldmik (betoon + teras)	2035	177	590	391
	Betoon	29951	4127	24993	3494
	Bituumen-mastiks	63	13	79	10
	Kokku	40342	5476	32660	4868
Kasutamine		0	0	0	0
Lammutamine	lammutus+transport	511	360	116	2405
Kokku		40853	5836	32775	7273

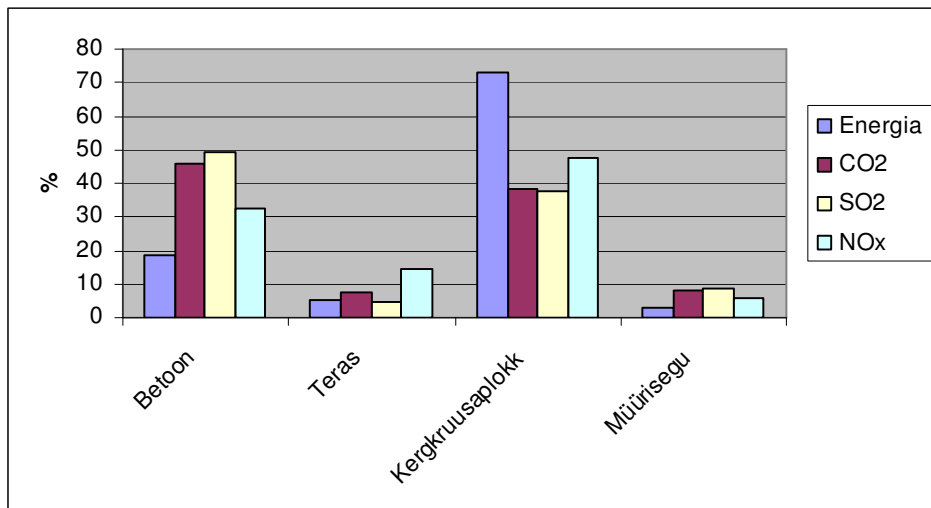


Joonis 18. Betoonvundamendi energiasisalduse ja eralduvate emissioonide osakaalud (%).

Kergkruusaplokk-vundamendi puhul pärineb samuti enamus (99%) kogu eluea jooksul kulutatavast energiast ning eralduvatest emissioonidest v.a NO_x tootmisfaasist, kuna hoolduse vajadus kasutusaja jooksul puudub (Tabel 11). Lammutusfaasi suur NO_x osakaal on tingitud diislikütuse kasutamisest lammutamise ja jäätmete transpordi ajal. Tulenevalt suurest kasutatavast kogusest on kergkruusaploki osakaal vundamendi energiasisalduses suur (73%; Joonis 19).

Tabel 11. Kergkruusaplokk-vundamendi energiasisaldus ja tootmisel eralduva CO₂, SO₂ ja NO_x kogused.

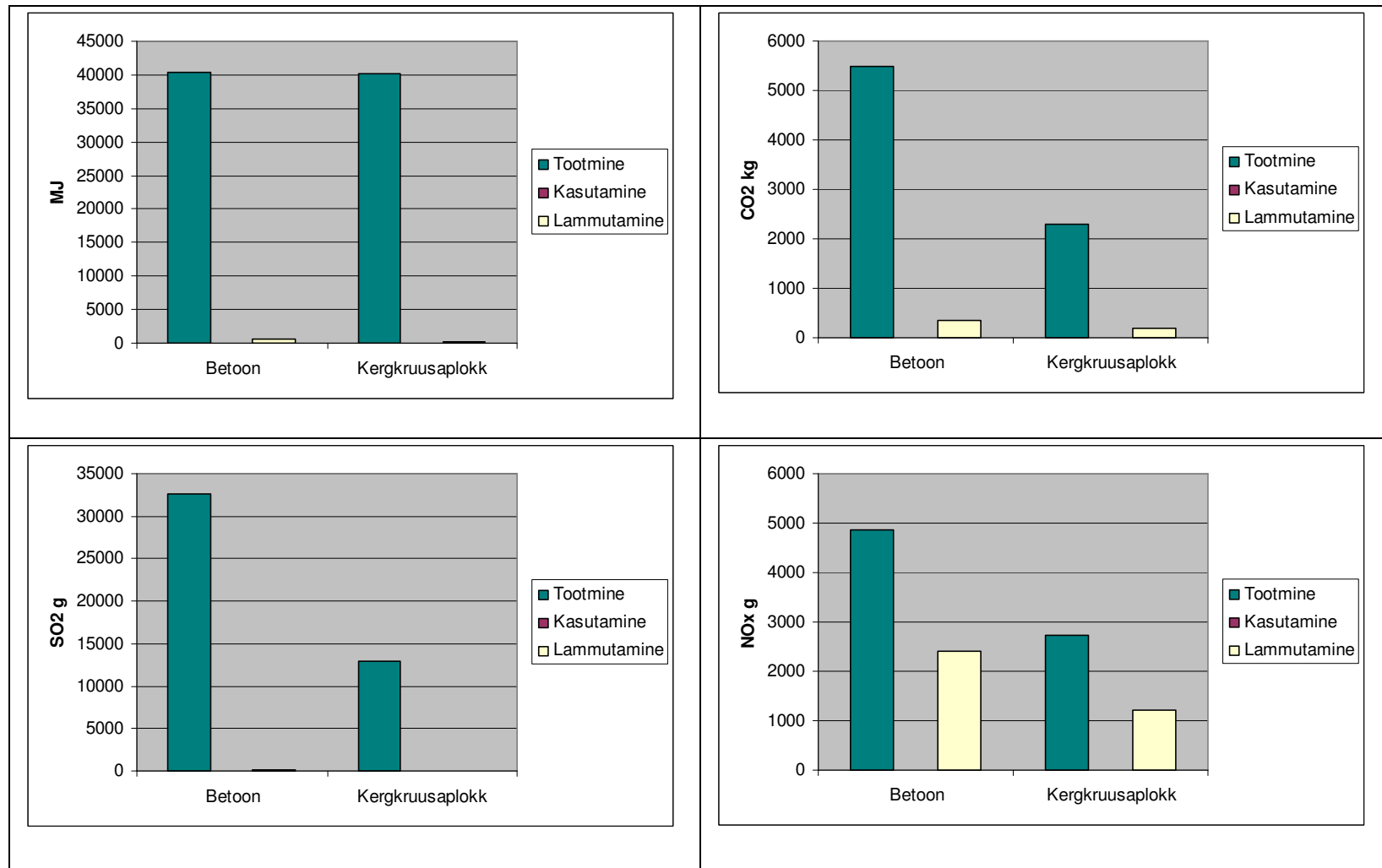
Etapp	Materjal	kogu MJ	kogu CO ₂ kg	kogu SO ₂ g	kogu NO _x g
Tootmine	Taldmik (betoon + teras)	7506	1049	6333	881
	Kergkruusaplokk	2035	177	590	391
	Kergkruusaplokk	29352	873	4847	1303
	Müürisegu	1247	185	1121	156
	Kokku	40140	2285	12891	2731
Kasutamine		0	0	0	0
Lammutamine	lammutus+transport	266	181	58	1210
Kokku		40406	2465	12949	3941



Joonis 19. Kergkruusaplokk-vundamendi energiasisalduse ja eralduvate emissioonide osakaalud (%).

Kokkuvõtvalt on joonistel 20-23 toodud kahe vundamenditüübi olelusringi jooksul kaasnev energiakulu ja emissioonid. Ülemiselt vasakpoolselt jooniselt on näha, et antud juhul, kui betoonvundament on rajatud kergsaviseina jaoks, siis erinevust energiatarbes võrreldes kergkruusaplokist vundamendiga praktiliselt ei esine.

Eralduvate emissiooni koguseid võrreldes on näha, et kergkruusaplokist vundamendi puhul eraldub olelusringi jooksul oluliselt vähem emissioone võrreldes betoonvundamendiga. Viimane on tingitud asjaolust, et kergkruusaploki tootmisel kasutatakse enamuses elektrienergiat, millega kaasnevaid emissioone ei ole käesolevas töös arvesse võetud (vt. ptk 2, lk 22).



Joonised 20-23. Kahe vundamendi olelusringi jooksul kaasnev energiakulu ja emissioonid.

3.1 Tarindite lammutusjäätmete käitlemine.

Peale lammutamist potentsiaalselt taaskasutatavate (täitematerjal), komposteeritavate, põletatavate ja/või prügilasse ladestavate ehitusmaterjalide osakaalud kogu tarindi massist on ära toodud tabelis 12. Tabelist on näha, et välisseina ehituseks kasutatud materjalidest on täitematerjalina taaskasutamise osakaal kõige suurem kergkruusaplokk-maja välisseinal (vastavalt 89% kogu seina massist), katusetüüpidest kivitakisel (63% kogu katuse massist).. Mõlemad vundamenttüübid on 100% taaskasutatavad täitematerjalina. Lammutusjäätmete põletamise osas sisaldavad kõige enam vastavaid materjale (valdavalt puit) välisseinatüüpidest puitsein (52%) ja katusetüüpidest puitlaastkatus (84%). Välisseintest sisaldab potentsiaalselt komposteeritavaid materjale ainult kergsavi (kergsavi, 83%), katusetüüpidest puitlaastkatus (tõrvatud puitlaast, 30%). Prügilasse ladestatavate materjalide osakaal on suurim puitseinal (32%) ja plekk-katusel (54%).

Tabel 12. Tarindite ehitusmaterjalide käitlusviis ja taaskasutamise, põletamise ning komposteerimise osakaalud pärast lammutamist.

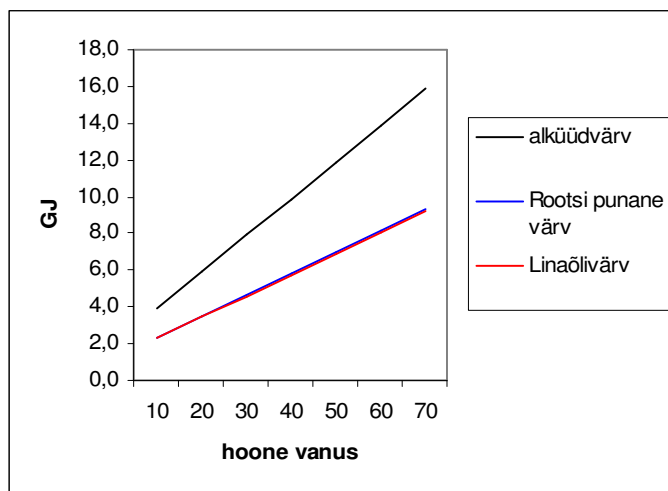
Tarindi tüüp	Lammutusjäätmete käitlusviis ja osakaal (%) kogu tarindi massist			
	Taaskasutamine	Põletamine	Komposteerimine	Ladestamine
Kergsavi	-	11	83	6
Kergkruusaplokksein	89	5	-	6
Puitsein	16	52	-	32
Kivitakatus	63	14	-	23
Plekk-katus	0	46	-	54
Puitlaastkatus	0	54	30	16
Betoonvundament	100	-	-	-
Kergplokk-vundament	100	-	-	-

4. Arutelu

Uurimustulemustest selgub, et kõige väiksema energiasisaldusega elamu väliskarkass kogu olelusringi arvesse võttes peaks koosnema kivikatusel ja kergsaviseinast. Siiski hakkab antud juhul olulist rolli mängima hoone vundamendi energiasisaldus. On teada, et vundamendi paksus sõltub otseselt välisseina paksusest. Kergsavivälisseina paksuseks on antud juhul 498 mm, samas puitvälisseina paksus (seejuures on soojuslähikandetegur U mõlemal seinatüübil $0,24 \text{ W/m}^2\text{C}$) on ainult 212 mm. Mõlema välisseinatüübi juures kasutatakse sarnase ülesehitusega betoonvundamenti. Seetõttu on puitvälisseinale mõeldud vundamendi energiasisaldus ca 1,8 korda suurem puitseinale mõeldud vundamendi energiasisaldusest (vundamendi kogu olelusringi energiasisaldus puitseina korral 22633 MJ, kergsaviseinal 40853 MJ). Kui lisada vundamendi energiasisaldusele ka vastava välisseina energiasisaldus saame koondtulemuseks (vundament + välissein) puitvälisseina korral 73974 MJ ja kergsaviseina korral 81440 MJ. Seega terve olelusringi energiasisalduse osas on väikseima energiasisaldusega elamu karkassi lahenduseks hoopis betoonvundamendile toetuv puitvälissein ning kivikatus. Keskkonnasõbralikkuse hindamise seisukohast on oluline arvestada ka lammutusjäätmete edasise saatusega. Siinkohal on eelistatud kergsavivälissein, kuna potentsiaalselt prügilasse ladestatavate jäätmete osakaal võrreldes puitvälisseina materjalidega on oluliselt väiksem (Tabel 12, lk 43).

Tulemustest järeldub, et suur osa puitmaja välisseina keskkonnamõjust on seotud just kasutusfaasiga ehk otseselt ülevärvimisega. Antud töös analüüsitud puitmaja välisseina värviti üle alküüdvärviga. Alküüdvärvi tootmine on küllaltki energiamahukas ja kaasnevate emissioonide rikas (Lisa 5). Palju keskkonnasõbralikum värv võrreldes alküüdvärviga on rootsi punane värv (Häkkinen *et al*, 1999). Kui puitmaja välissein värvida alküüdvärvi asemel üle rootsi punase värviga, siis väheneks kogu seina energiasisaldus terve olelusringi jooksul 16% võrra ja emissioonidest CO_2 puhul 16% võrra, SO_2 puhul 61% võrra ja NO_x puhul 37% võrra. Teine keskkonnasõbralik värv on linaõlivärv. Tema tootmine on küll energiamahukam võrreldes rootsi punase värviga (Häkkinen *et al*, 1999), kuid pinnakatvus on parem ning seega ka värvikulu väiksem. Kasutades puitmaja välisseina värvimiseks alküüdvärvi asemel linaõlivärvi, siis väheneks

kogu seina energiasisaldus terve olelusringi jooksul samuti 16% võrra ning emissioonidest CO₂ puhul 25% võrra, SO₂ puhul 77% võrra ja NO_x puhul 37% võrra (mõlema värvi – rootsi punase ja linaõlivärvi - arvutamise aluseks on võetud Häkkinen *et al* (1999) andmed). Kokkuvõtvalt on joonisel 24 toodud erinevate värvide kasutamisega hoone eluea jooksul lisanduv energiahulk puitvälisseina korral. Niisiis on puitvälisseina energiasisaldust võimalik vähendada ja seda lihtsalt keskkonnasõbralikumat värvi eelistades.



Joonis 24. Erinevate värvide kasutamisega lisanduv energiahulk puitvälisseina korral.

Teine näide kasutusetapi hooldusega seotud energiasisalduse vähendamise kohta on seotud puitlaastkatusega. Antud uurimuses on puitlaastkatus viimistletud männitõrvaga, mis vajab iga kahe aasta tagant ületõrvamist. Puitkatuste tõrvamisel on Eestis pikaajaline traditsioon. Samas on Muinsuskaitseameti andmetel (restaureerimismõuded) alates 18. sajandist puitkatuste viimistlemiseks kasutatud edukalt ka linaõlivärvi. Kui käesolevas uurimuses kajastatud puitlaastkatus tõrvamise asemel värvida üle hoopis linaõlivärviga (kahekordne kiht iga viie aasta tagant), siis väheneks puitkatuse kogu olelusringi energiasisaldus 7,2 korda (tõrvatud katuse kogu energiasisaldus on 269364 MJ ja linaõliga värvitud katuse kogu olelusringi jooksul kulutatav energia 37346 MJ). Männitõrva asendamine linaõlivärviga muudaks kogu olelusringi arvesse võttes puitkatuse kõige väiksema energiasisaldusega katusetüübiks (võrreldes kivi- ja plekk-

katusega). Seega kõike eelnevat arvesse võttes on keskkonnasõbralikkuse hindamisel oluline vaadelda võimalikult palju erinevaid aspekte ja kindlasti kogu olelusringi jooksul. Samuti võib väita, et keskkonnasõbralikke viimistlusvahendeid eelistades on võimalik olulisel määral kokku hoida energiat ja ühes sellega vähendada ka atmosfääri jõudvate emissioonide koguseid.

Uurimusest selgus ka, et kõige suurema energiasisaldusega välisseinatüüp on kergkruusaplokk-sein. Siiski on võimalik ka selle seinatüübi energiasisaldust vähendada. Antud uurimuses on kergkruusaplokk-maja välisvoodriks kasutatud telliskivimüüri, mille tootmine on energiamahukas. Samas on telliskivimüürile alternatiiviks laudis, mis värvitakse üle näiteks linaõlivärviga (peale ehitust + iga 10 aasta tagant 50 aasta jooksul). Laudist kasutades väheneb terve olelusringi jooksul seina energiasisaldus üle 2 korra ja eralduvate emissioonide kogus väheneks keskmiselt 3 korda. Kahjuks kaasneb laudise kasutamisega telliskivimüüri asemel seina soojuslähikandeteguri ehk U-arvu väärtuse suurenemine 0,24-lt 0,25-le $\text{W/m}^2\text{C}$. U-arvu väärtuse suurenemine 0,01 võrra põhjustab kasutusetapi jooksul küttekulu suurenemise 1 GJ võrra aasta kohta (Kõiv, 2003; Ingermann, 2003). Vaatamata küttekulu suurenemisele on võimalik laudise kasutamisega siiski vähendada energiakulu 1,5 korda. Emissioonide vähenemise leidmine on keerulisem protsess, sest kõik sõltub kasutusajal kütteks kasutavast energia- ja kütuseliigist, näiteks võib kütteks kasutada elektrit, puitu, kivisütt, turvast jne.

Hoonete keskkonnasõbralikumaks muutmiseks on soovitatav kasutada väikese energiasisaldusega materjale. Sageli aga kasutatakse väikese energiasisaldusega materjale suurtes kogustes ja suure energiasisaldusega materjale väikestes kogustes. Seetõttu tuleks energiasisalduse vähendamisel arvestada ka vajaminevate materjali kogustega. Negatiivsete keskkonnamõjude vähendamiseks on oluline ka kasutada materjale, mida on võimalik korduvkasutada või tarvitada täitematerjalina.

Kokkuvõtvalt võib uurimuse tulemustele ja arutelule tuginedes välja tuua nn. ideaalse elamu väliskarkassi lahenduse. Kogu olelusringi arvesse võttes kulutataks kõige vähem energiat (seejuures eralduks ka kõige vähem emissioone) betoonvundamendile rajatud puitvälisseina ning kivikatusega karkassi lahenduse korral.

4.1 Levinumate ehitusmaterjalide keskkonnamõjude analüüs.

Ehitusmaterjalid võib jagada: põhi- ehk üldmaterjalid, soojustus-, hüdroisolatsioon-, viimistlusmaterjalid ning lähtematerjalid (materjalid, mida kasutatakse uute materjalide tootmisel). Ehitusmaterjalide tootmisega kaasnevaid keskkonnamõjusid vaadeldes (Tabel 13, lk 49, valdavalt on tegemist käesoleva uurimuse raames arvutatud arvväärtustega) on näha, et erinevates materjaligruppides mingit selgesti eristatavat seaduspärasust ei esine. Kõikides materjaligruppides esineb nii suure kui ka väikese energiasisaldusega materjale. Seejuures on materjalide energiasisaldus suurem kui materjalide tootmisprotsess ise on keeruline ning materjali tootmiseks kasutatakse palju erinevaid lähtematerjale. Siiski jääb enamiku ehitusmaterjalide energiasisaldus alla 10 MJ/kg. Teistest materjalidest oluliselt suuremate energiasisaldusega on mitmesugused viimistluseks kasutatavad pinnakatted (värvid, tõrv). Tabelist 13 on näha, et valdava osa ehitusmaterjalide tootmise käigus kaasnevatest emissioonidest moodustab süsihappegaas, mis on aga üks olulisemaid kasvuhooneefekti tekitajaid. Teiste gaaside (SO_2 , NO_x) kogused on võrreldes CO_2 kogustega kordades väiksemad. Materjalide tootmisel kasutatakse sageli kütusena maagaasi, mis on keskkonnasõbralikum kütus võrreldes tahkete fossiilsete kütustega, kuna põletamisel ei eraldu või siis eraldub väga minimaalsetes kogustes vääveldioksiidi (hapestumise põhjustaja). Valdava enamiku materjalide tootmisel kasutatakse ka elektrienergiat. Elektri tootmisega kaasnevad emissioonid erinevates riikides on väga erinevad, sõltudes konkreetsest energiaallikast, näiteks Põhjamaades saadakse elektrit nii hüdro-, tuule- kui ka tuumaenergia baasil. Viimati mainitud energiaallikate kasutamisega ei kaasne otseseid emissioone. Samas aga kasutatakse elektri tootmiseks laialdaselt nii Euroopas kui ka mujal maailmas tahkeid fossiilseid kütuseid, mille põletamisega kaasnevad suured emissioonid. Seega on materjalide tootmiseks soovitatav kasutada võimalikult palju alternatiivenergiat (vee-, tuule ja päikeseenergia) või siis loodussõbralikumaid kütuseid nagu puit ja maagaas.

Eestis laialt levinud ehitusmaterjalide hulgas on palju selliseid materjale, mis ei ole toodetud Eestis ega Eestist kättesaadava toormaterjali baasil (nt kipskartongplaati tuuakse meile Saksamaalt, klaasvill Soomest, samuti imporditakse Eestisse enamik värve). Kuigi transpordi osakaal kohapeal toodetud materjalide energiasisalduses on üsna tagasihoidlik

(ca 5%), hakkab transport mõjutama just imporditavate ehitusmaterjalide energiasisalduse suurust. Tuginedes Stripple (2001) andmetele lisandub mööda maad veoautoga transportimisel kilogrammi materjali energiasisaldusele ligikaudu 1 MJ 1000 kilomeetri kohta, samas laevaga transportimisel ca 0,2 MJ 1000 kilomeetri kohta. Erinevus veoauto ja laevaga transportimise vahel on tingitud asjaolust, et laevaga on võimalik tuua korraga suurem kogus ning laeva liikumisviis on stabiilsem ja seega ka kütusekulu ühtlasem. Samas tuleb transpordi valikul arvestada vahemaad, sest enamikel juhtudel ei ole vahemaad mööda maad ja mööda merd sõites võrdsed. Samuti on transpordi valikul oluline arvestada soovitatavate kogustega. Kuigi täislastis laevaga on materjalide transport ökonoomsem, puudub sageli vajadus nii suurte ühekorraga toodavate koguste järele. Sageli ilmneb materjalide transportimisel ka asjaolu, et üks ots sõidetakse ilma koormata, mis on keskkonnaseisukohast ja ka majanduslikust aspektist halb näitaja. Seetõttu on oluline kui vähegi võimalik vältida tühjalt sõite.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et saavutamaks väiksemaid ehitusmaterjalide tootmisega kaasnevaid keskkonnamõjusid, on oluline kasutada võimalikult palju kohalikku ja vähetöödeldud materjale. Siiski on majanduslikult kasulik osasid materjale importida, seejuures aga tuleks transpordi valikul leida optimaalne lahendus ja planeerida transport nii, et oleks võimalikult vähe tühjalt sõitmist.

Käesolevas magistritöös kajastasin ainult mõnda olulusringi hindamisega seotud aspekti. Siiski on saadud tulemused olulised, kuna annavad ülevaate olulusringi hindamise tähtsusest ning Eestis kasutatavate ehitusmaterjalide keskkonnamõjust.

Tabel 13. Levinud ehitusmaterjalide tootmisega kaasnevad keskkonnamõjud (allikas: vt tabeli all olevaid märkusi)

Materjal	prim. energia MJ/kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ mg/kg	NO _x mg/kg	soojuseri juhtivus W/m°C	Keskmine tihedus kg/m ³	Põhiline kasutatud kütus/energia
Üldehitusmaterjalid							
Betoon (1:3:3, tsement:liiv:killustik)	0,89	124,4	751	104,5	1,3	2100	põlevkivi, kivisüsi, diisel, elekter
Keraamiline katusekivi	2,3	111	0	199	0,9	1900	maagaas, elekter kivisüsi, turvas, masuut
Kergkruusaplokk	4,1	122	677	182	0,2	650	diisel, elekter
Kergsavi	0,2	11	34	15	0,17	600	maagaas
Kipskartongplaat ¹	5,0	280	0	500	0,23	700	põlevkivi, kivisüsi, diisel, elekter
Müürisegu (1:3, tsement:liiv)	0,97	143,9	871,4	121,3	0,8	1800	puit, elekter
Puit	2,1	81	0	77	0,12	450	kivisüsi, masuut
Puitlaastplaat ²	3,9	445	441	258	0,29	950	maagaas, elekter
Telliskivi	2,3	111	0	199	0,85	1900	
Soojustusmaterjalid							
Klaasvill (tuuletõke) ¹	11	339	0	605	0,037	130	maagaas, elekter
Klaasvill (soojustus) ¹	10	312	0	559	0,036	17	diisel, kivisüsi
Roomatt	2,9	376	2079	1118	0,06	200	
Hüdroisolatsioonmaterjalid							
Bituumen-mastiks	7,2	1497	9000	1080	0,16	-	põlevkivi, elekter kivisüsi, masuut, maagaas
PE-kile ²	88,6	2320	9000	12000	0,32	920	
Viimistlusmaterjalid							
Alküüdvärv ²	41,6	1800	9800	7200	-	1100	-
Laudis	2,3	81	0	77	0,12	450	puit, elekter
Linaõlivärv ²	55	670	1600	6600	-	1600	-
Lubikrohv	2,9	160	0,226	285	0,67	1800	maagaas, diisel, elekter
Männitõrv	100	12845	0	8960	-	-	puit, diisel
Puitlaast (tootmine)	0,68	0	0	0	0,12	450	elekter
Rootsi punane värv ²	13,8	410	1400	1600	-	-	-
Lähtematerjalid							
Killustik	0,022				-	-	elekter
Liiv (kaevandamine)	0,0019	0,139	0,43	0,19	2	1600	diisel
Lubi (kustutatud)	5,7	320	0	570	-	-	maagaas
Savi (kaevandamine)	0,0016	0,117	0,36	0,16	1,5	1800	diisel
Tsement	5,8	866	5250	730	-	1200	põlevkivi, kivisüsi

Märkused: Tabelis toodud keskkonnanäitajad ja põhiline tootmisel kasutatav kütuseliik on valdavalt (kui ei ole teisiti viidatud) saadud käesoleva töö tulemusena. Ehitusmaterjalide füüsikalised näitajad (soojaerijuhtivus ja tihedus) on saadud Eesti Projekteerimisnormidest EPN 12.1 ja vastavate materjali tootjafirmade infolehtedelt.

¹ Ehitusmaterjalide keskkonnanäitajad on saadud vastavate materjalide Eesti edasimüüjatelt, materjale Eestis ei toodeta (klaasvill – ISOVER AS, toodetud Soomes, kipskartongplaat – KNAUF OÜ, toodetud Saksamaal);

² Puitlaastplaadi andmed Frühwald & Hasch (1999) uurimusest, polüetüleenile tootmise keskkonnanäitajad pärinevad LCA tarkvara SimaPro (BUWAL 250, 2001) andmebaasist ja alkalüüdvärvi, linaõlivärvi ning Rootsi punase värvi näitajad Häkkinen et al (1999) uurimusest.

5. Kokkuvõte

Ehitustegevus on oluline keskkonnasaaste allikas. Ehitamisega kaasnevate negatiivsete keskkonnamõjude vähendamiseks on oluline kasutada väikese energiasisaldusega ja taaskasutatavaid ehitusmaterjale. Üheks võimaluseks, ehitusmaterjalide tootmise ja kasutamisega kaasnevate keskkonnamõjude tuvastamiseks ja hindamiseks, on koostada olelusringi hinnang (Life Cycle Analysis/Assessment - LCA). LCA koostamise lihtsustamiseks on välja töötatud mitmeid meetodeid ja tarkvaraprogramme. Sisuliselt pole LCA koostamiseks väljatöötatud ühtset metoodikat, mistõttu on igalühel võimalus valida, millist meetodit kasutada. Oluline on seejuures püstitada konkreetne eesmärk, mida püütakse LCA tulemusena saavutada.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on läbi viia elamu tarindite olelusringi hindamine Eesti eramajade näitel. Olelusringi hindamises keskendun hoone tarindite kolmes olelusringi etapis – ehitamine, kasutamine ja lammutamine – kulutatava energia ja sellega kaasneva CO₂, SO₂ ja NO_x koguste leidmisele. Samuti esitan kolme välisseina- ja katusetüübi ning kahe vundamenditüübi kohta taaskasutatavate ja/või komposteeritavate ehitusmaterjalide osakaalud. Uuritavate tarindite ehitusmöödud on järgmised: välisseina suurus 176 m², katuse pindala 258 m², hoone aluse maa pindala 118 m². Seejuures on elamu elueaks arvestatud 50 aastat. Uuritavateks tarinditeks on: kergkruusaplokk-, puit- ja kergsavivälissein; kivi-, puit- ja plekk-katus ning betoon- ja kergkruusaplokk-vundament. Ehitusmaterjalide keskkonnamõjude analüüsis keskendun materjalide tootmiseks kulutatava energiahulga ja sellega kaasnevate CO₂, SO₂ ja NO_x koguste leidmisele.

Uurimustulemustest selgub, et kõige väiksema energiasisaldusega (ja eralduvate emissiooni kogustega) majalahendus on betoonvundamendile toetuva puitvälisseina ja kivikatusega maja. Puitmaja energiasisaldus on väiksem võrreldes kergsavimaja energiasisaldusega. Viimane on tingitud puitvälisseina väiksemast paksusest, mistõttu kulub ka vähem materjali vundamendi rajamiseks. Puitlaastkatuse energiasisaldus on kivikatuse energiasisaldusest suurem, kuna puitkatust on kasutusfaasis vaja regulaarselt üle tõrvata, kivikatusel aga otsene hoolduse vajadus puudub. Samas kui puitlaastkatuse viimistluseks kasutatav tõrv asendada linaõlivärviga, väheneks puitlaastkatuse

energiasisaldus oluliselt ning ühes sellega muutuks puitlaastkatus tervet olelusringi arvesse võttes kõige väiksema energiasisaldusega katusetüübiks (võrreldes kivi- ja plekkkatusega). Seega nn. ideaal elamu väliskarkass (arvestades energiakulu ja eralduvaid emissioone) oleks betoonvundamendile toetuv linaõliga viimistletud puitsein ja puitlaastkatus.

Väike-elamute ehitamiseks kasutatavate materjalide võrdlusest selgus, et suur osa ehitusmaterjalide energiasisaldust jääb alla 10 MJ/kg. Paljud Eestis kasutatavatest materjalidest imporditakse, millega kaasneb täiendav energiakulu. Sõltuvalt transportimise kaugusest ja viisist võib materjalide importimine hakata oluliselt mõjutama ka materjalide energiasisaldust. Uurimusest tulenevad põhijäreldused on:

1. Olelusringi hindamise koostamisel tuleks hinnata materjalide keskkonnamõjusid igas olelusringi etapis;
2. Materjalide keskkonnasõbralikkuse hindamisel tuleb arvesse võtta võimalikult palju erinevaid aspekte;
3. Keskkonnasõbraliku majatüübi leidmisel tuleb arvestada erinevate tarindite koosmõjust tulenevaid keskkonnamõjusid.
4. Väikese energiasisaldusega ehitusmaterjalide kasutamisel on oluline arvestada ka vajaminevate kogustega;
5. Imporditavate ehitusmaterjalide energiasisalduses tuleks arvestada ka transpordi tähtsust.

Töö tulemustest lähtuvalt annaksin mõned soovitusel ehitusmaterjalide tootmise ja kasutamise ning hoonete kasutamisega kaasnevate negatiivsete keskkonnamõjude vähendamiseks:

- Keskkonnasõbralike ehitusmaterjalide tootmisel vältida suure negatiivse keskkonnamõjuga lisamaterjalide kasutamist (näiteks pilliroomatis tsinktraadi asemel kasutada mõnda taimsest materjalist sidumisvahendit);
- Ehitusmaterjalide tootmisel eelistada alternatiivenergiat ja/või keskkonnasõbralikke kütuseid (puit, maagaas);

- Ehitusmaterjalide tootmisega kaasnevate keskkonnamõjude minimeerimiseks on oluline kasutada kohalikku ja vähetöödeldud materjale;
- Hoonete ehitamiseks kasutada väikese energiasisaldusega ja taaskasutatavaid/komposteeritavaid ehitusmaterjale;
- Majade viimistlemiseks eelistada keskkonnasõbralikke värve (linaõlivärv, rootsi punane värv).
- Materjalide impordiga kaasneva transpordi keskkonnamõjude minimeerimiseks tuleb transport planeerida nii, et oleks võimalikult vähe tühjalt sõitmist.

6. Resume

Life cycle analysis of envelope types of single-family houses in Estonia

Building is an important source of environmental pollution. Therefore, it is important to use low-embodied energy and recyclable building materials for reduction of environmental impact of building. Life Cycle Analysis (LCA) presents a promising method for identifying and assessing impact of production and use of building materials. There are several methods and software programs evolved for LCA (ATHENATM, SimaPro, BEES). Choosing of the particular method depends directly on the aims of the study.

The main goal of present M.Sc. thesis was to compare the results of life cycle analyses of building envelope types used in Estonian single-family houses. Current LCA focuses on energy demand and CO₂, SO₂ and NO_x emissions related to three life cycle phases (construction, exploitation and demolition) of building envelopes. Recyclability (reuse and/or infilling material) of building materials is also considered. The functional unit in the current LCA comprises of 176 m² of external wall and 258 m² of roof. Life span of houses was assumed to be 50 years. Present thesis compares life cycles of walls made of expanded clay block, light clay and wood, roofs consisted of stone, wood and steel, as well as basements made of concrete and expanded clay blocks.

Results of the present paper indicate that wooden wall with concrete basement and stone roof has the lowest environmental impact compared with other house types. Wooden house has lower environmental impacts because it is thinner than light clay wall and less material is needed to construct the basement. An important part of environmental impact of the wooden roof is associated with repainting (tarred) in the exploitation phase of building. Stone roof has the lowest environmental impacts compared with other roof types because it has no repainting needs in the exploitation phase of building. When wooden roof could be repainted with linseed oil paint instead of tar then it could have the lowest environmental impact compared with other roof types.

Primary energy of building materials used for construction of single-family houses is below 10 MJ/kg. Many building materials are imported to Estonia. As import needs extra

energy for transportation, imported materials contain higher embodied energy when compared to local building materials.

The main conclusions associated with the results of the present study were as follows. It is important to:

1. Assess environmental impacts of building materials in every phase during its life cycle;
2. Consider as many aspects as possible for environmental impact assessment;
3. Consider cumulative environmental impacts of parts of building envelope;
4. Consider amounts of low-embodied energy building materials when using these materials for construction;
5. Consider energy of transportation when focusing on embodied energy of imported building materials.

Finally some recommendations about possibilities for lowering environmental impacts of building materials production and house exploitation:

- Materials which have high environmental impact should be avoided in production of green building material (e.g zinc wire in strawmatts should be replaced with string made of plant material);
- Alternative energy and/or green fuels (wood, natural gas) should be preferred in production of building materials;
- Environmental impacts of building materials can be lower when local and less-treated materials are used;
- Low-embodied energy and recyclable building materials should be used in the construction of buildings;
- “Green” paints (e.g linseed oil paint and Swedish red paint) should be used for house painting;
- “Empty drives” should be avoided to lower environmental impacts of transportation related with import of building materials.

7. Tänuavaldused

Soovin tänada oma juhendajaid Valdo Kuusemetsa ja Tõnu Muringut ning firmade Isover, Knauf, Stora Enso Mets, Rait, Wienerberger, Kunda Nordic Cement, Maxit Group, Nordkalk, Öko-Projekt, Puitkatused, Saare Tõrv, Viru Liimid esindajaid, kes aitasid kaasa käesoleva töö valmimisele.

8. Kasutatud kirjandus

a. Ajakirjad ja muud perioodilised väljaanded

Adalberth, K., 1997a. Energy use during the Life Cycle of Buildings: a Method. *Building and Environment* 32: 317-320

Adalberth, K., 1997b. Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: Examples. *Building and Environment* 32: 321-329

Arena, A. P. & de Rosa, C., 2002. Life cycle assessment of energy and environmental implications of the implementation of conservation technologies in school buildings in Mendoza—Argentina. *Building and Environment* 38: 359-368

Azapagic, A., 1999. Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimisation. *Chemical Engineering Journal* 73: 1-21

Balaras, C.A., Gaglia, A.G., Georgopoulou, E., Mirasgedis, S., Sarafidis, Y., Lalas, D.P., 2005. European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings. *Building and Environment* 42: 1298-1314

Berkhout, F. & Howes, R., 1997. The adoption of life-cycle approaches by industry: patterns and impacts. *Resources, Conservation and Recycling* 20: 71-94

Chen, T. Y., Burnett, J., Chau, C. K., 2000. Analysis of embodied energy use in the residential building of Hong Kong. *Energy* 26: 323 – 334

Erlandsson, M. & Borg, M., 2003. Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services—today practice and development needs. *Building and Environment* 38: 919-938

Erlandsson, M., Levin, P., Myhre, L., 1997. Energy and environmental consequences of an additional wall insulation of a dwelling. *Building and Environment* 32: 129-136

EV Keskkonnaministri määrus nr 99, 2004. Põletusseadmetest välisõhku eralduvate saasteainete heitkoguste määramise kord ja määramismeetodid. *Riigiteataja* Lisa 108: 1724

Gao, W., Ariyama, T., Ojima, T., Meier, A., 2001. Energy impacts of recycling disassembly material in residential buildings. *Energy and Buildings* 33: 553-562

Harris, D. J., 1999. A quantitative approach to the assessment of the environmental impact of building materials. *Building and Environment* 34: 751-758

Hassan, O. A. B., 2004. Application of value—focused thinking on the environmental selection of wall structures. *Journal of Environmental Management* 70:181-187

Jensen, A. A., Hoffman, L., Moller, B. T., Schmidt, A., 1997. Life Cycle Assessment (LCA). A guide to approaches, experiences and information sources. *Environmental Issues Series No. 6*, 116 pp

Jönsson, A., Tillman, A. M., Svensson, T., 1997. Life Cycle Assessment of Flooring Materials: Case Study. *Building and Environment* 32: 245-255

Nicoletti, G. M., Notarnicola, B., Tassielli, G., 2002. Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles. *Journal of Cleaner Production* 10: 283-296

Opitza, M.W, Norford, L.K, Matrosov, Yu.A., Butovsky, I.N., 1999. Energy consumption and conservation in the Russian apartment building stock. *Energy and Buildings* 25: 75-92

Peuportier, B. L. P., 2001. Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context. *Energy and Buildings* 33: 443-450

Thormark, C., 2001. Conservation of energy and natural resources by recycling building waste. *Resources, Conservation and Recycling* 33: 113-130

Thormark, C., 2000. Environmental analysis of a building with reused building materials. *International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings* 1: 18 pp

Wall, M., 2006. Energy - efficient terrace houses in Sweden. Simulations and measurements. *Energy and Buildings* 38: 627-634

Wu, X., Zhang, Z., Chen, Y., 2004. Study of the environmental impacts based on the “green tax”—applied to several types of building materials. *Building and Environment* 40: 227-237

b. Raamatud, raportid ja muud monograafiad

Blanchard, S. & Reppe, P., 1998. Life Cycle Analysis of a Residential Home in Michigan. Center for sustainable systems report. University of Michigan, 60 pp

Briggs, D., 2001. Research Guidelines For Life Cycle Inventories. CORRIM report, Seattle, 45 pp

Buinevicius, K., 2004. Assessment of Energy Saving Potential in Residential Buildings in Kaunas City on an Example of Typical Multi-Storey Building. Kaunas Regional Energy Agency, Lithuania, Case study nr 218

BUWAL 250, 2001. SimaPro database

Craighill, A. & Powell, J. C., 1999. A lifecycle assessment and evaluation of construction and demolition waste. CSERGE Working Paper WM 99-03, London, 49 pp

Ecoinvent, 2003. SimaPro database

Eesti Projektierimisnormid (EPN 12.1), 1996. Hoone piirdetarindi soojajuhtivuse arvutusjuhised. Eesti Ehitusteave, ET-1 0404-0129, 12 lk

Erlandsson, M., Lindfors, L. G., Ryding, S. O., 2005. Product category rules (PCR) for building products on an international market – a draft based on life cycle assessment (LCA) methodology in compliance with ISO 14025. IVL report, Stockholm, 55 pp

Eesti Energia, 2006. Oletusliku hindamise meetodika juurutamine Eestis: Põlevkivielektri mõju toodete keskkonnaomadustele. Lühikokkuvõte

Esperk, T., 2005. Eesti eramajade kolme välisseina tüüplahenduse elutsükli analüüsi võrdlus. Bakalaureusetöö, Tartu Ülikool, 43 lk

ETH-ESU 96, 2003. SimaPro database

European Commission, 2000. Management of Construction and Demolition Waste. Working Document N°1, Brussel, 26 pp

European Commission, 1997. European methodology for the evaluation of environmental impact of buildings - Life cycle assessment. Final report of Regener project, Brussel, 145 pp

Frühwald, A. & Hasch, J., 1999. Life Cycle Assessment of Particleboards and Fibreboards. Research report, University of Hamburg, 13 pp

Gielen, D.J., 1997. Building materials and CO₂: Western European emission reduction strategies. The Netherlands Energy Research Foundation.

Goedkoop, M. & Oele, M., 2002. User manual. Introduction into LCA methodology and practice with SimaPro. PRe Consultants report, Amersfoort, 60 pp

Haraldsson, H., 1998. Is ecological living in Sweden different from conventional living? Master Thesis. University of Lund, 62 pp

Häkkinen, T., Ahola, P., Vanhatalo, L., Merra, A., 1999. Environmental Impact of Coated Exterior Wooden Cladding. VTT Building Technology report, Espoo, 84 pp

Ingermann, K., 2003. Soojusvarustussüsteemid. Tallinna Tehnikaülikool, 71 lk

Kibert, C. J., 2005. Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery. John Wiley & Sons, 434 pp.

Koskela, S. & Hiltunen, M. R., 2004. A guide to the utilization of LCI/LCA databases for Estonian enterprises. Finnish Environment Institute report, Helsinki, 37 pp

Kõiv, T. A., 2003. Hoonete tehnovõrgud ja –seadmed. Küte ja ventilatsioon. Tallinna Tehnikaülikool, 27 lk

Leevik, M. & Liiver, M., 2004. 2003. aasta Eesti jäätmekäitluse ülevaade. Keskkonnaministeeriumi Info- ja Tehnokeskus, Tallinn, 87 lk

Lepa, J., Jürjenson, K., Normak, A., Hovi, M., 2001. Kütused soojusenergia tootmiseks. Käsiraamat, Tartu, 24 lk

Lippiatt, B. C., 2000. BEES 2.0. Building for Environmental and Economic Sustainability Technical Manual and User Guide. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 154 pp

Masso, T., 1990. Väikemajad. "Valgus", Tallinn, 240 lk

Mauring, T. & Meingast, R., 2006. Savi-passiivmaja moodulehitisena. Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis 99 (2005) 96–101

Milne, A., 2002. Embodied energy. Your home technical manual. Australian Greenhouse Office

Meil, J., Lippke, B., Perez-Garzia, J., Bowyer, J., 2002. Environmental impacts of a single family building shell – from harvest to construction. CORRIM report, Seattle, 37 pp

Muinsuskaitseamet, 2006. Restaureerimisnõuded.

Spiegel, R., 1999. Green building materials. A guide to product selection and specification. John Wiley & Sons Inc, New York, 322 pp

Strippel, H., 2001. Life cycle assessment of Road. A Pilot Study for Inventory Analysis. IVL report, Gothenburg, 182 pp

c. interneti lehed

Statistikaamet. <http://www.stat.ee>, 15.02.2007

http://ats.riik.ee/amphora/home/tartumaa/okoloogiliste_tehnoloogiate_keskus/Okoehitus//Kergsaviuuring.htm, 30.03.2005

<http://www.ceet.ee>, 28.03.2005

<http://www.dagoplast.ee>, 21.01.2005

<http://www.isover.ee>, 05.01.2005

<http://www.knauf.ee>, 12.12.2004

<http://www.knc.ee>, 05.01.2005

<http://www.lafarge-roofing.ee>, 14.09.2006

<http://www.matek.ee>, 28.03.2005

<http://www.maxit.ee>, 28.03.2005

<http://www.plaaditehas.ee>, 21.01.2005

www.puitkatused.ee, 13.10.2006

<http://www.storaenso.com>, 13.12.2004

<http://www.tansar.ee>, 21.01.2005

<http://www.vivacolor.ee>, 07.02.2005

<http://www.weckman.ee>, 13.10.2006

<http://www.wienerberger.ee>, 13.02.2005

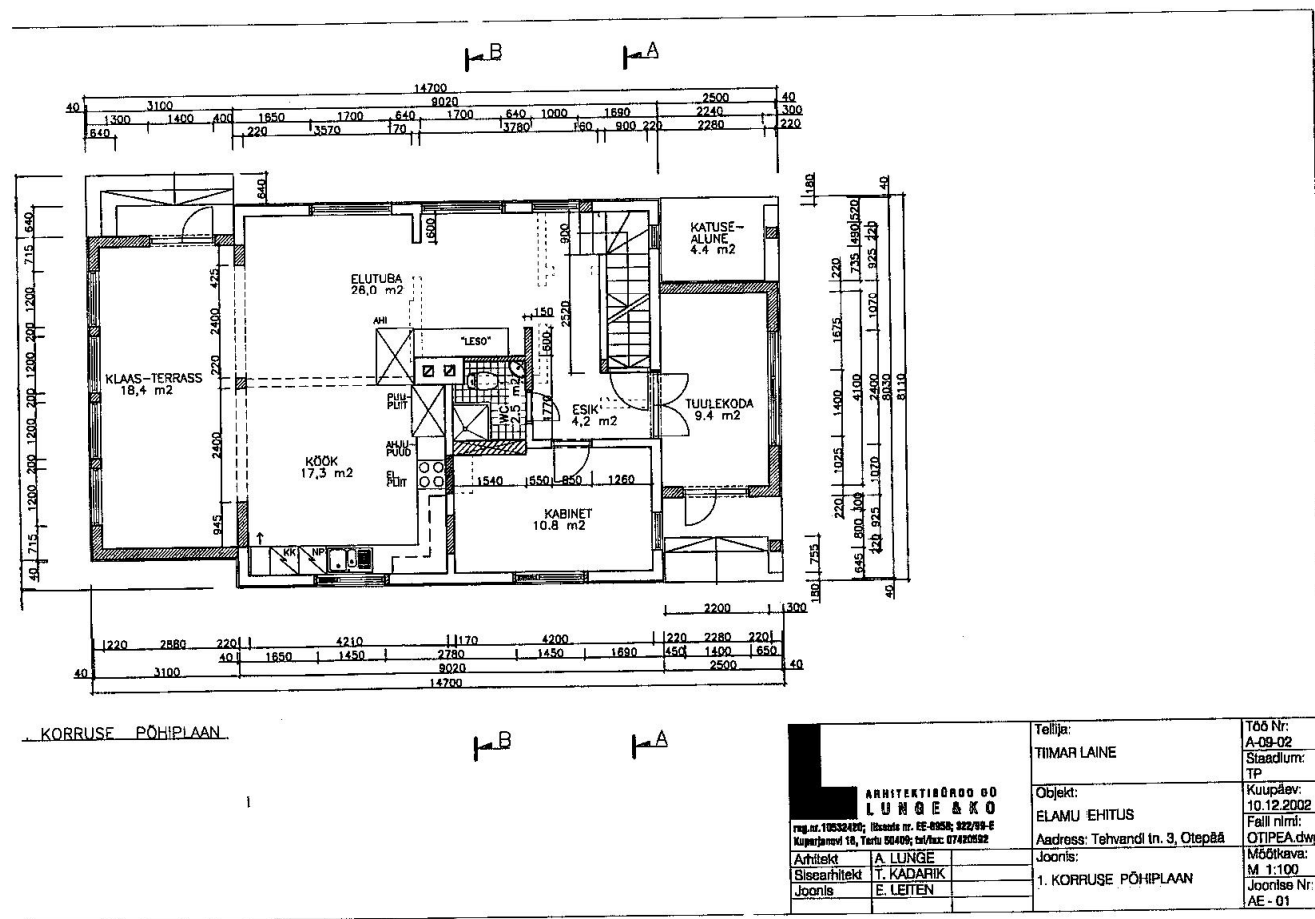
Lisad

Lisa 1.

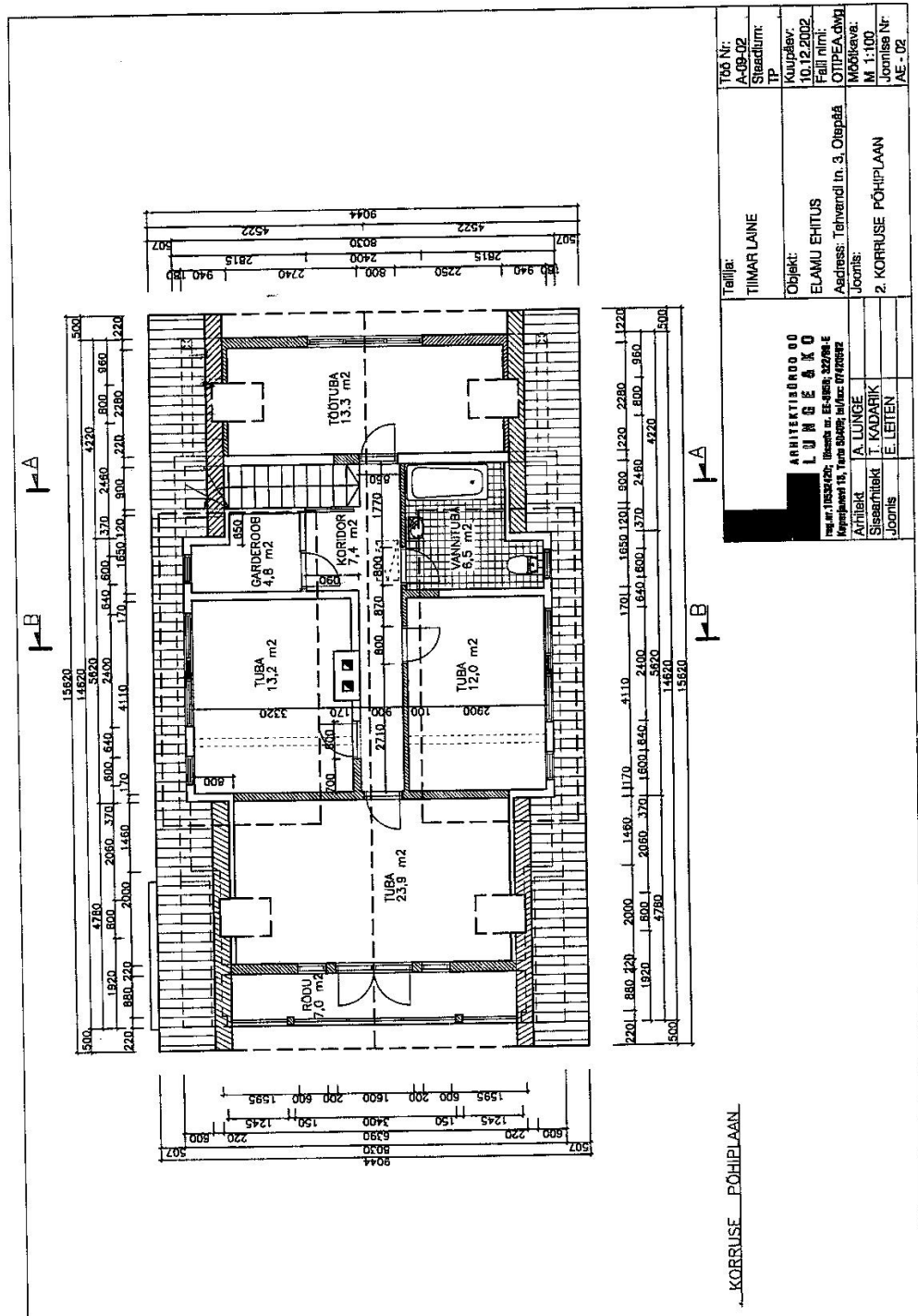
Tabel 14. Ekskavaatori, veoauto ja puiduhakkemasina tehnilised näitajad ja keskkonnaaspektid.

	Kütusekulu	Kütuse liik	CO ₂ g/ MJ (diislikütus)	SO ₂ g/ MJ (diislikütus)	NO _x g/ MJ (diislikütus)
Ekskavaator Åkerman EC620	1,72 MJ/m3 (jäätmad)	diislikütus	79	0,038	0,71
Veoauto Volvo BM A35	11,9 MJ/km (üks ots täiskoormaga - 14 tonni, tagasi tühjalt)	diislikütus	79	0,038	0,71
Puiduhakkemasin	60,9 MJ/m3 (puit)	diislikütus	79	0,038	0,71

Lisa 2. Ehitusjoonised.



Joonis 25. Väike-elamu 1. korruse põhiplaan (allikas: hoone omanik)

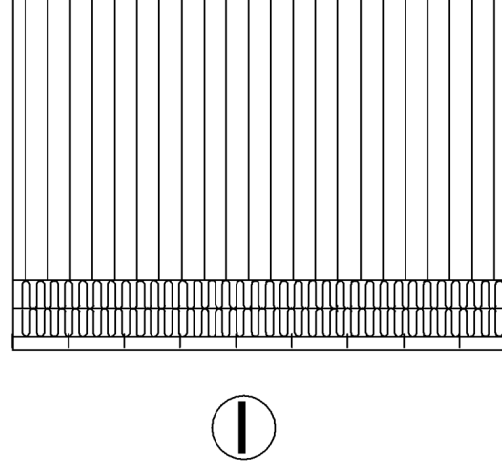


Joonis 26. Väike-elamu 2. korruse põhiplaan (allikas: hoone omanik)

Lisa 3.

Tabel 15. Kergsavivälisseina ehitusmaterjalide tehnilised näitajad ja keskkonnanaspektid.

Materjal	paksus mm	laius mm	pikkus mm	tiheus kg/m ³	soojuse juhtivus W/m*K	prim. energia MJ/kg	kogus kg/176 m ²	CO ₂ g/kg	SO ₂ mg/kg	NO _x mg/kg	Kontakt ettevõtte interneti kodulehekülg
2*linaõlivärv	1,5			1600		55	43	670	1600	6600	http://www.amello.ee
laudis	18	88	3000	400	0,12	2,3	1273	81	0	77	http://www.storaenso.com
2*roomatt	80	600	2000	200	0,06	2,9	2816	376	2079	1118	http://www.tansar.ee
kersavi	400	552	552	600	0,17	0,2	35391	11	34	15	http://www.ceet.ee
puitkarkass	400	48	3000	400	0,12	2,1	4692	81	0	77	http://www.storaenso.com



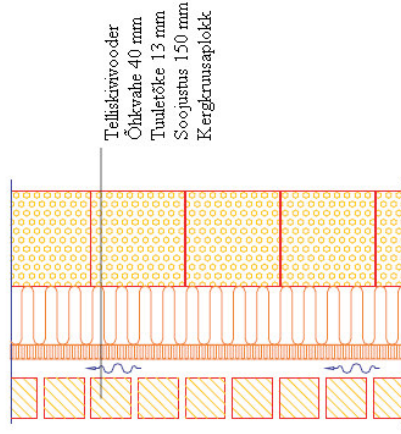
Voodrilaud 88 mm
2*Roomatt 80 mm
Kersavi 400 mm
Puitkarkass 400 mm

Joonis 27. Kergsavivälisseina läbilõige

Lisa 4.

Tabel 16. Kergkruusaplokk-välisseina ehitusmaterjalide tehnilised näitajad ja keskkonnapespektid.

Materjal	paksus mm	laius mm	pikkus mm	tiheus kg/m ³	soojuseeri juhtivus W/m*K	prim. energia MJ/kg	kogus kg/176 m ²	CO ₂ g/kg	SO ₂ mg/kg	NO _x mg/kg	Kontakt ettevõtte interneti kodulehekül
välisvooder telliskivi müür	120	88	250	1900	0,7	2,3	35215	111	0	199	http://www.wienerberger.ee
müürisegu	120	10	250	1800	0,8	0,97	7038	144	871	121	http://www.knc.ee
õhkvahe	40										
tuuletõke isover VKL	13	1200	2700	130	0,037	11,0	300	339	0	605	http://www.isover.ee
soojustus isover 575-KT	50	575	11100	17	0,036	10,0	150	312	0	559	http://www.isover.ee
puidust horis. karkass s600	45	50	3000	400	0,12	2,1	856	81	0	77	http://www.storaenso.com
soojustus isover 575-KT	100	575	6300	17	0,036	10,0	299	312	0	559	http://www.isover.ee
puidust vert. karkass s600	95	50	3000	400	0,12	2,1	2112	81	0	77	http://www.storaenso.com
kergplokk Fibo3	100	185	490	650	0,2	4,1	10370	122	677	182	http://www.maxit.ee
müürisegu	100	12	490	1800	0,8	0,97	2112	144	871	121	http://www.knc.ee

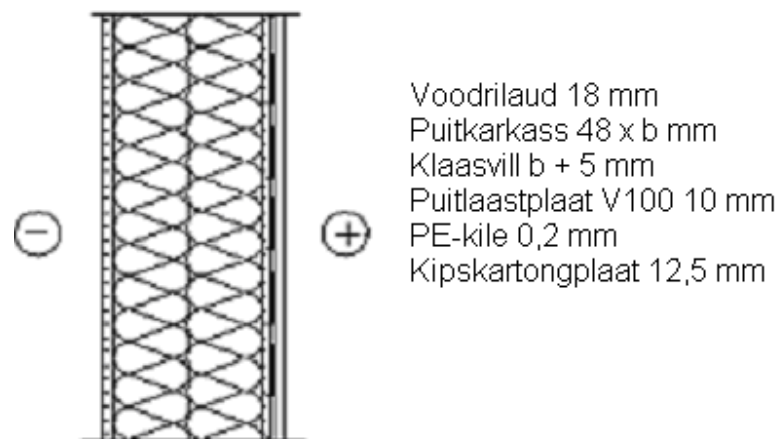


Joonis 28. Kergkruusaplokk-välisseina läbilõige (allikas: Maxit Group OÜ).

Lisa 5.

Tabel 17. Puitvälisseina ehitusmaterjalide tehnilised näitajad ja keskkonnaspektrid.

Materjal	paksus mm	laius mm	pikkus mm	tihedus kg/m ³	soojuseri juhtivus W/m*K	prim. energia MJ/kg	kogus kg/176 m ²	CO ₂ g/kg	SO ₂ mg/kg	NO _x mg/kg	Kontakt ettevõtte interneti kodulehekülg
2*alküüdvärv	1,5	-	-	1100	-	41,6	48	1800	9800	7200	http://www.vivacolor.ee
laudis	18	88	3000	400	0,12	2,3	1273	81	0	77	http://www.storaenso.com
puitekass samm = 575 mm	170	48	3000	400	0,12	2,1	4692	81	0	77	http://www.storaenso.com
soojustus isover 575-KT	100	575	14700	17	0,036	10,0	298	312	0	559	http://www.isover.ee
puidust horisontaalne karkass s575	65	48	3000	400	0,12	2,1	1056	81	0	77	http://www.storaenso.com
soojustus isover 575-KT	75	575	14700	17	0,036	10,0	220	312	0	559	http://www.isover.ee
puitlaastplaat	10	1200	2600	950	0,29	3,9	1706	445	441	258	http://www.plaaditehas.ee
PE-kile	0,2	5400	50000	926	0,005	88,6	33	2320	9000	12000	http://www.dagoplast.ee
kipskartongplaat	12,5	1200	2400	700	0,23	5,0	1783	280	0	500	http://www.knauf.ee



Joonis 29. Puitvälisseina läbilõige (allikas: Matek OÜ).

Lisa 6.

Tabel 18. Kivikatuse ehitusmaterjalide tehnilised näitajad ja keskkonnaspektid.

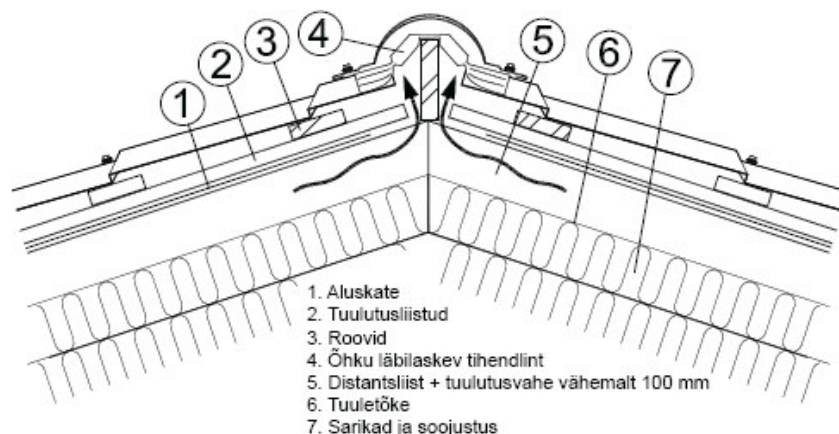
Materjal	paksus mm	laius mm	pikkus mm	tihedus kg/m ³	soojuseri juhtivus W/m*K	prim. energia MJ/kg	kogus kg/258 m ²	CO ₂ g/kg	SO ₂ mg/kg	NO _x mg/kg	Kontakt ettevõtte interneti kodulehekül
Savikatusekivi	-	215	395	-	-	2,3	10319	111	0	199	http://www.koramic.ee
Puit (roovlatid) samm 350 mm	50	50	15,9	400	0,12	2,1	684	81	0	77	http://www.storaenso.com
Puit (tuulutusliistud)	25	50	16200	400	0,12	2,1	130	81	0	77	http://www.storaenso.com
Polüetüleen (aluskate)	0,7	19000	19000	926	0,005	88,6	44	2320	9000	12000	http://www.dagoplast.ee
Tuuletõke	13	1200	2700	130	0,037	11	436	339	0	605	http://www.isover.ee
Puit (sarikad) samm 0,6 m	150	50	16200	400	0,12	2,1	973	81	0	77	http://www.storaenso.com
Puit (tuulekast)	18	88	3000	400	0,12	2,1	376	81	0	77	http://www.storaenso.com
2*Roomatt	80	600	2000	200	0,06	2,9	3299	376	2079	1118	http://www.tansar.ee

Läbilõikejoonis sarnane plekk-katuse läbilõikega (Lisa 7; viimistlus: pleki asemel katusekivi).

Lisa 7.

Tabel 19. Plekk-katuse ehitusmaterjalide tehnilised näitajad ja keskkonnaspektid.

Materjal	paksus mm	laius mm	pikkus mm	tihedus kg/m ³	soojuseri juhtivus W/m*K	prim. energia MJ/kg	kogus kg/258 m ²	CO ₂ g/kg	SO ₂ mg/kg	NO _x mg/kg	Kontakt ettevõtte interneti kodulehekül
2*Alküüdvärv	1,5	-	-	1100	-	41,6	52	1800	9800	7200	http://www.vivacolor.ee
Katuseplekk (taaskasut. teras)	0,6	1110	2000	7800	50	25,3	2304	2200	7340	4860	http://www.weckman.ee
Puit (roovlatid) samm 200 mm	50	50	15,9	400	0,12	2,1	1160	81	0	77	http://www.storaenso.com
Puit (tuulutusliistud)	25	50	16200	400	0,12	2,1	130	81	0	77	http://www.storaenso.com
Polüetüleen (alusgate)	0,7	19000	19000	926	0,005	88,6	44	2320	9000	12000	http://www.dagoplast.ee
Tuuletõke	13	1200	2700	130	0,037	11	436	339	0	605	http://www.isover.ee
Puit (sarikad) samm 0,6 m	150	50	16200	400	0,12	2,1	973	81	0	77	http://www.storaenso.com
Puit (tuulekast)	18	88	3000	400	0,12	2,1	376	81	0	77	http://www.storaenso.com
Klaasvill KT-40	150	610	7000	17	0,036	10	333	312	0	559	http://www.isover.ee



Joonis 30. Plekk-katuse läbilõige (allikas: Weckman OÜ).

Lisa 8.

Tabel 20. Puitkatuse ehitusmaterjalide tehnilised näitajad ja keskkonnaspektid.

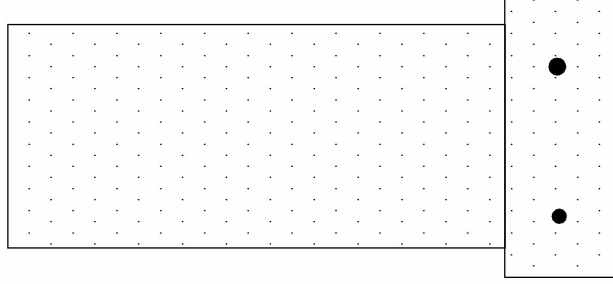
Materjal	paksus mm	laius mm	pikkus mm	tihedus kg/m ³	soojuseri juhtivus W/m*K	prim. energia MJ/kg	kogus kg/258 m ²	CO ₂ g/kg	SO ₂ mg/kg	NO _x mg/kg	Kontakt ettevõtte interneti kodulehekül
2*Männitõrv	2	-	-	-	-	100	147	12845	0	8960	http://www.saaretorv.ee
Puitlaast	4	100	450	450	0,12	0,68	1315	0	0	0	http://www.puitkatused.ee
Puit (roovlatid) samm 175 mm	50	50	15,9	400	0,12	2,1	1193	81	0	77	http://www.storaenso.com
Puit (tuulutusliistud)	25	50	16200	400	0,12	2,1	130	81	0	77	http://www.storaenso.com
Polüetüleen (alusgate)	0,7	19000	19000	926	0,005	88,6	44	2320	9000	12000	http://www.dagoplast.ee
Tuuletõke	13	1200	2700	130	0,037	11	436	339	0	605	http://www.isover.ee
Puit (sarikad) samm 0,6 m	150	50	16200	400	0,12	2,1	973	81	0	77	http://www.storaenso.com
Puit (tuulekast)	18	88	3000	400	0,12	2,1	376	81	0	77	http://www.storaenso.com
Klaasvill KT-40	150	610	7000	17	0,036	10	333	312	0	559	http://www.isover.ee

Läbilõikejoonis sarnane plekk-katuse läbilõikega (vt Lisa 7; viimistlus: pleki asemel puitlaast).

Lisa 9.

Tabel 21. Betoonvundamendi (kergsaviseinale) ehitusmaterjalide tehnilised näitajad ja keskkonnaparameetrid.

Materjal	paksus mm	laius mm	pikkus mm	tiheus kg/m ³	soojuse juhtivus W/m*K	prim. energia MJ/kg	kogus kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ mg/kg	NO _x mg/kg	Kontakt ettevõtte interneti kodulehekül
Betoon (taldmik)	500	200	44420	2100	1,3	0,89	9317	124	751	105	http://www.knc.ee
2*Terasarmatuur (taaskasut. teras; taldmik)	Ø 12	-	45620	7800	50	25,3	80	2200	7340	4860	-
Betoon	400	900	44020	2100	1,3	0,89	33279	124	751	105	http://www.knc.ee
Bituumen-mastiks	400	-	44020	-	0,16	7,2	9	1497	9000	1080	http://www.vkg.ee

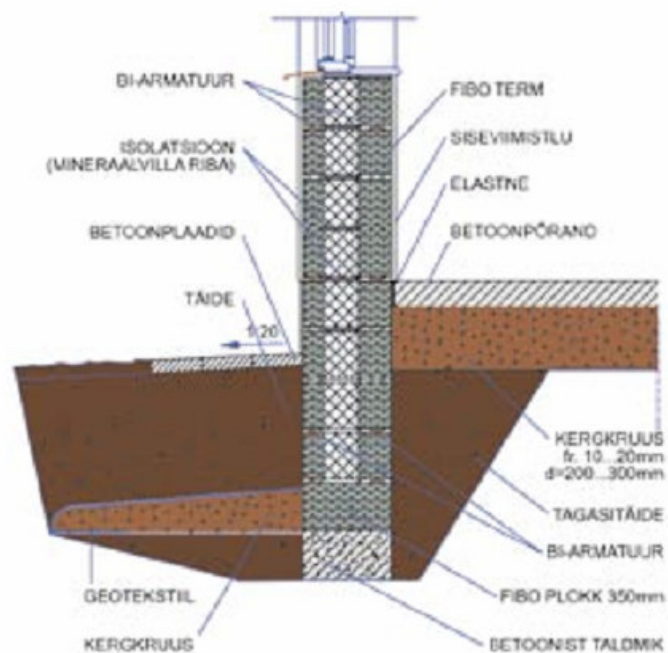


Joonis 31. Betoonvundamendi läbilõige (allikas: Masso, 1990)

Lisa 10.

Tabel 22. Kergkruusaplokk-vundamendi ehitusmaterjalide tehnilised näitajad ja keskkonnaspektid.

Materjal	paksus mm	laius mm	pikkus mm	tihedus kg/m ³	soojuseri juhtivus W/m*K	prim. energia MJ/kg	kogus kg	CO ₂ g/kg	SO ₂ mg/kg	NO _x mg/kg	Kontakt ettevõtte interneti kodulehekül
Betoon (taldmik)	400	200	44620	2100	1,3	0,89	8433	124	751	105	http://www.knc.ee
2*Terasarmatuur (taaskasut. teras; taldmik)	Ø 12	-	45620	7800	50	25,3	80,4	2200	7340	4860	-
Kergkruusaplokk	350	185	490	650	0,2	4,1	7159	122	677	182	http://www.maxit.ee
Müürisegu	350	12	490	1800	0,8	0,97	1286	144	871	121	http://www.knc.ee



Joonis 32. Kergkruusaplokk-vundamendi läbilõige (allikas: Maxit OÜ).