



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO

INSENERITEADUSKOND

Ehituse ja arhitektuuri instituut

Liginullenergiahoonete uurimisrühm

**Ringmajanduse põhimõtete rakendamine
korterelamu tehaselisel rekonstrueerimisel**

**CIRCULARITY CONCEPTS FOR OFFSITE
PREFABRICATED ENERGY RENOVATION OF APARTMENT
BUILDINGS**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kristel Kullerkupp

Üliõpilaskood: 165206EAEI

Juhendaja: Targo Kalamees

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"16" mai 2022

Autor: Kristel Kullerkupp

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 202.....

Juhendaja: Targo Kalamees

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees ..Jarek Kurnitski

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Kristel Kullerkupp (07.02.1997)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„Ringmajanduse põhimõtete rakendamine korterelamu tehaselisel rekonstrueerimisel“ (ingl.k „Circularity concepts for offsite prefabricated energy renovation of apartment buildings“), mille juhendaja on **Targo Kalamees**

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

Sisukord

1	Sissejuhatus	8
1.1	Töö idee ja olulisus	8
1.2	Uurimistöö eesmärk	9
1.3	Metoodika	10
2	Elamufondi renoveerimine ja ringmajandus	14
2.1	Eesti elamufondi ülevaade	14
2.2	Eesti elamufondi renoveerimisvajadus	16
2.3	Korterelamute renoveerimislahenduste ülevaade	19
2.4	Ringmajandus Eesti ehitussektoris	22
2.5	Ülevaade renoveerimislahenduste ja ringmajanduse tulevikusuundadest	31
3	Meetodid	34
3.1	Meetodite üldine kirjeldus	34
3.2	Materjali ja toote maht ja mass	34
3.3	Materjali ja toote elutsükli hindamine (LCA)	36
3.4	Materjali taaskasutusse suunamine	41
3.5	Materjalide demontaaži hindamine	43
3.6	Tarindite ja sõlmede demontaaži hindamine massi, energiasisalduse, CO ₂ ning rahalise kulu põhjal	48
3.7	Tehaselise puitpaneeli demontaaži katse	50
3.8	Pilootobjekti Kuuma tn 4 kirjeldus	51
4	Tulemused. Hoone renoveerimisel või lammutusel käsitletavat materjalid	59
4.1	Materjalide energia ja CO ₂ sisalduse hindamine	59
4.2	Renoveerimise käigus eemaldatavad materjalid	62
4.3	Renoveerimistöodel tekkivad jäätmed	67
4.4	Renoveerimisel üle jäävate materjalide kasutamise võimalused	73
4.5	Materjalide maht tehaseliselt renoveeritud hoone lammutusel	77
4.6	Tehaseliselt renoveeritud hoone lammutusjäätmed	79
4.7	Testseina demontaaži jälgimine	80
4.8	Materjalide hind ja tööde kulud	83
5	Tulemused. Tehaselise renoveerimise ehituslikud lahendused	85
5.1	Avatäite (akna) sõlm	85

5.2	Räästasõlm	89
5.3	Soklisõlm	92
5.4	Tehnosüsteemide integreerimine	96
6	Tulemuste hindamine	101
6.1	Materjalide ja sõlmede analüüsi hinnang	101
6.2	Ehitus ja lammutusjäätmete mahud tehaselise renoveerimise lahendusi kasutades	102
6.3	Uuringu puudused ja täiendavad tegevused	104
7	Järeldused	106
8	Kasutatud kirjandus	108
9	Lisad	111

Kokkuvõte

Antud uurimuses käsitleti tehaselisel renoveerimisel tekkivaid jäätmemahte ning hoonelt tööde käigus eemaldatavate materjalide taaskasutusse suunamise võimalusi, et leida optimaalsemaid lahendusi seatud kliimaeesmärkide saavutamiseks. Töö aluseks võeti tüüpne nõukogudeaegne korterelamu aadressil Kuuma 4, Saue, Harjumaa.

Töö käigus hinnati olulisemate hoone materjalide ja elementide omadusi, seisukorda, nende demonteerimise lihtsust, materjalikulu ja võimalikke korduvkasutusviise. Analüüs viidi läbi nii olemasoleva hoone kui ka tehaseliselt renoveeritud hoone kohta, et mõista võimalikke jäätmemahdade suurust. Abimaterjalidena kasutati BSRIA juhendit ICE (The inventory of carbon and energy) ning DRIVE 0 pilootprojekti raames väljatöötatud sõlmlahenduste ringmajanduslikkuse aluskriteeriumeid.

Uurimustöö hüpoteesidena eeldati, et kasutatavaid materjale on võimalik ringlusesse tagasi suunata. Samuti oletati, et ehitustööde käigus tekkivat ehitusjäätmete mahtu on võimalik vähendada, kui kasutada väiksema keskkonnajalajäljega materjale ning lahendada ehituslikud sõlmed nii, et demontaažil tekkiv materjalikulu oleks minimaalne.

Töö käigus selgus, et rekonstrueerimistöodel kasutatavad lahendused ja ehitustegevus on juba praegu võrdlemisi optimaalsed ning parandamist vajavaid aspekte on vähe. Töö tulemused näitasid, et kõige sobivamad kinnituslahendused materjalide ringmajanduslikus mõttes on mehaanilised ühendused ning keemilisi ühendeid tasuks võimaluse korral vältida. Lisaks selgus et näitena toodud ehitustegevuse juures ei kasutatud materjalide korduvkasutusse suunamist maksimaalselt ära.

Töö käigus saadud tulemused saavad olla abiks tehaselise renoveerimise lahenduste parandamisel ning tekkivate jäätmemahdade vähendamisel. Antud uurimustöö käik ja hindamismeetod võib olla aluseks ka teiste hoonete sõlmede või materjalide hindamisel või lahenduste optimaalsuse analüüsi tegemisel. Materjalide korduvkasutuse potentsiaali leidmine võib olla sisendiks edasistel uuringutel, mis on seotud ehitusmaterjalide tootmisega, hoonesse valimisega või nendele edasise kasutuse leidmisega. Lisaks andis käesolev töö ettekujutuse hoone renoveerimisel ja ka lammutustöödel tekkivatest jääkmaterjalidest ning materjalides sisalduvatest emissioonidest.

Kindlasti leidub võimalusi käesoleva töö sisu täpsustamiseks ning kontrolluuringute tegemiseks nii materjalide omaduste tuvastamiseks, edasiste kasutusviiside leidmiseks, maksumusnäitajate kontrolliks kui ka üldiselt saadud tulemuste kindlustamiseks. Antud uurimustöö jätkuna saaks laiendada samu hindamismeetodeid ka teistele tüüpsetele hoonetele.

Summary

This study examines the amount of waste generated during the renovation with offsite fabricated panels and the possibilities of recycling the materials that are removed from the building, to find the most optimal solutions to achieve the climate goals. The work was based on a typical Soviet-era apartment building at Kuuma 4, Saue, Harju County.

In the given research, the properties of the important building materials and elements were assessed, including the condition, ease of dismantling, as well as material wastage and possible future uses. The analysis was carried out in both cases - the existing building and the factory-renovated building - to understand the potential waste volumes. For assessment, the BSRIA guide ICE (The inventory of carbon and energy) and the basic criteria for the circularity of the assemblies developed within the DRIVE 0 project were used.

As for the hypothesis, it was estimated that the materials that have been or will be used during the renovation could be recycled. Also, that it is possible to reduce the amount of construction waste by using materials with a smaller environmental footprint and to solve construction units and joints optimally, so that the material consumption during dismantling is minimal.

During the research, it became clear that the solutions and construction activities used in the reconstruction works are already relatively optimal and there are few aspects that can be improved. The results showed that the most suitable fastening solutions in the circular sense of materials are mechanical connections and that chemical compounds should be avoided when possible. In addition, it was shown that the exemplary renovation process did not make maximum use of the recycling of used materials.

The results obtained can be the basis for the improvement of factory renovation solutions and the reduction of the generated waste volumes. This research and the evaluation method can also provide a basis for evaluating the materials of other buildings or for the analysis of the optimality of the solutions. Finding the potential for the reuse of materials can be an input for further research into the production, selection, or re-use of building materials. In addition, the volume of the residual materials generated during the renovation and the demolition works, as well as the emissions contained in those materials were shown.

There are certainly opportunities to specify the content of this work and to carry out further research to find the specific properties of the materials, possible uses of materials, to specify the cost indicators and to confirm the results obtained in general. As a continuation of this research, the same assessment methods could be extended to other typical buildings.

1 Sissejuhatus

1.1 Töö idee ja olulisus

Kliimamuutused on kujunemas aina suuremaks probleemiks. Möödunud kümnend ehk periood 2011–2020 oli rekordiliselt kõige soojem dekaad, kus globaalne keskmine temperatuur oli 1,2 °C kõrgem tööstusajastu eelsest ehk aastate 1850–1900 tasemest. Olukord on nüüdseks jõudnud punkti, kus kõrge temperatuur on hakanud inimühiskonda ohustama. Ülemaailmne süsinikdioksiidi (CO₂) kontsentratsioon on samuti tõusnud, moodustades juba üle 0.04 % atmosfäärist. (European Statistical Office 2020)

Loodusressursi jätkusuutlik kasutamine on seega aina aktuaalsem teema nii riikide siseselt kui ka globaalselt vaadatuna. Euroopa Liit on seadnud eesmärgi saavutada Euroopas kliimanetraalsus ja seda juba aastaks 2050, et hoida saasteained rohkem kontrolli all ning säilitada planeedi elujõudu (Erbach, 2021). Üldjoontes tähendab see erinevate jätmete ja jääkainete vähendamist ning võimalusel ka nende kompenseerimist taastuvenergia või taas/korduvkasutuse põhimõtteid järgides.

Euroopa Liidu kokkulepitud eesmärkidest tulenevalt on oluline rohkem tähelepanu pöörata tootmisprotsesside juures tekkivate saastavate ainete mahtudele ja nende keskkonnamõjule. Peamise näitajana räägitakse eelkõige just toodetavate materjalide energiasaldusest ja CO₂ jalajäljest, mida tuleks vähendada. Juba kasutuses olevate materjalide ja toodete puhul tuleb tähele panna nende lõpuni kasutamist ehk võimalusel tuleb materjal suunata taaskasutusse. Toote eluea lõpus, kui toode on muutunud juba oma algupärasest sihtkasutuse mõttes kasutuskõlbmatuks, tuleb tagada selle korralik korduvkasutus, ümbertöötlus või utiliseerimine.

Üheks suurimaks jäätmeid tekitavaks majandusvaldkonnaks on ehitusvaldkond, kus praegusel ajal pole veel ära kasutatud materjalide kogupotentsiaali ning jäätmeid tekib rohkem kui osatakse või tahetakse tagasi kasutusse suunata. Ehitus- ja lammutusjätmed moodustasid aastal 2018 Euroopa Liidu riikides kõikide tekkivate jätmete kogumahust 36 %. Samal aastal oli Euroopa Liidus jätmete ringlusesse tagasi suunamise protsent vaid 54 %. Eestis olid need näitajad vastavalt 9,5 % ja ligikaudu 40 %. (European Statistical Office 2020)

Seetõttu tuleks vaadelda materjalide kasutust nii lahenduste väljatöötamisel kui ka ehitustegevuse käigus, sh renoveerimine ja lammutus. Veelgi enam, tähelepanu tuleks pöörata ka materjalide potentsiaalsetele korduvkasutusvõimalustele. Oluline on optimeerida materjalide kasutust ehituslahenduste puhul nii, et ei toimuks ressursside ebavajalikku kulu (Jättemearuandluse infosüsteem 2021; Keskkonnaagentuur 2020)

Siinkohal on eesmärgipärane täpsemalt analüüsida üht ehitusvaldkonna osa - selle tehnilisi lahendusi, materjalide kasutust ning võimalike jäätmete teket seonduvate ehitustegevuste juures. Elamufondi hoonetest on kõige mõistlikum vaadelda korterelamuid. Neid leidub mitmeid sarnase konstruktsiooniga, plaaniga, mahtude ja vanusega ehk et ühe tüüpse hoone põhjal väljatöötatud lahendusi saaks kasutada mitmete objektide puhul.

Käesolev magistritöö keskendub renoveerimise käigus ringmajanduse põhimõtete rakendamise lahendustele. Teemat kitsendatakse veelgi just tehase renoveerimise lahenduste ning seejuures tekkivate jäätmemahdade analüüsile. Töö aluseks on valitud üks korterelamu hoonetüüp, mida leidub Eestis arvestataval hulgal ning mis lähitulevikus kindlasti renoveerimist vajaksid.

1.2 Uurimistöö eesmärk

Võttes arvesse ringmajanduslikkuse aspektist seatud nõudeid ning Eestis valitsevat renoveerimisvajadust, tuleb need kaks valdkonda omavahel ühendada. Sellest tulenevalt kujunes on vaja mõlema valdkonna tingimuste ja vajaduste leidmisele ning anda kokkuvõttes parimaid võimalikke tulemusi nii materjalide kasutuse kui ka hoonete suuremahulise renoveerimise mõistes.

Uurimistöö üldine eesmärk oli leida efektiivsed renoveerimislahendused ringmajanduse põhimõtete rakendamiseks korterelamu tehase renoveerimisel.

Töö detailsemad alameesmärgid olid:

- Saada teada, kui suurtes kogustes tekib ehitusjäätmeid Eestis võrdlemisi tüüpse korterelamu rekonstrueerimisel;
- Saada teada, millises ulatuses on võimalik hoonest renoveerimisel või lammutusel eemaldatud materjale taaskasutada, arvestades antud materjali tüüpilisi tehnilisi omadusi ja olukorda;
- Kirjeldada tehase renoveerimise ehituslikke lahendusi ning analüüsida nende materjalikulu edaspidistel renoveerimistel, ehitise hooldustöödel ja hilisemal lammutamisel või elementide vahetusel;
- Pakkuda optimaalsemaid ja väiksema ressursikuluga ehituslikke lahendusi, mis vastaksid nõuetele ja oleksid realselt teostatavad;

Töö eesmärkide konkretiseerimiseks seatakse üldist eesmärki toetavad uurimisküsimused ja hüpoteesid.

Uurimisküsimused:

- Milliseid materjale ja millises mahus kasutatakse tüüpse korterelamu puhul ning milliste ringmajanduslike näitajatega need on?
- Kas ja kuidas on võimalik taaskasutada renoveerimisel või lammutusel tekkivaid jääkmaterjale?
- Kuidas tuleks lahendada tehaselise renoveerimise jaoks ehitussõlmed, et oleks tagatud väiksema jäätme hulga demontaaž ning kasutatavate materjalide taaskasutusvõimalus?

Tööhüpoteesid:

- Kasutatud ehitusmaterjalide ja -toodete taas ringlusesse toomine on võimalik, leides neile alternatiivseid kasutuskohti;
- Renoveerimise käigus tekkivaid jäätmeid on võimalik ennetavalt vähendada, kasutades väiksema keskkonnajalajäljega materjale ning lahendades ehitussõlmed optimaalsemalt;
- Materjalide taaskasutuspotentsiaali suurendab piirdetarindite liitekohtade sõlmelahenduste lihtsus ning väike materjalikulu demontaažil;
- Võrreldes tavapärase renoveerimislahendusega on tehaselise renoveerimisviisi puhul võimalik tekkivaid ehitusjäätmeid vähendada.

1.3 Metoodika

Uurimismetoodika väljatöötamisel eesmärgi täitmiseks lähtutakse eelnevalt toodud eesmärkidest, uurimisküsimustest ning püstitatud tööhüpoteesidest. Antud magistritöö koosneb teoreetilisest ning vähesel määral ka praktilisest osast. Töö käigus tuginetakse erinevatele kirjalistele allikatele, määrustele, eelnevalt väljatöötatud ja idee raames pakutud ehituslahendustele ning ka reaalsele ehitustegevusele hoone renoveerimise käigus.

Samuti saadakse teoreetilist materjali erinevatest teadustöödest korterelamute renoveerimislahenduste ning ringmajanduse kohta. Enne töö alustamist kogutakse kokku võimalikult palju saadaolevat infot juba eelnevalt ringmajanduse põhimõtetel leitud ning läbitöötatud ehituslahenduste kohta. Samuti uuritakse Eesti Vabariigi jäätmekäitlust reguleerivaid seaduseid ja määrusi ning tutvutakse riigis valitseva jäätmekäitluse hetkeolukorraga ning valdkonna strateegiliste tulevikuplaanidega.

Töö eesmärgi saavutamiseks võetakse aluseks DRIVE 0 pilootprojekt (korterelamu Kuuma 4, Saue), mille iseseisvaks eesmärgiks on välja töötada terviklikke lahendusi ringrenoveerimise jaoks kasutatavate detailide, materjalide ning ehituskontseptsioonide

kohta. Pilootprojektid hoonete rekonstrueerimiseks on käivitatud mitmes Euroopa riigis, aga konkreetselt vaadeldakse DRIVE 0 pilootprojekti raames rekonstrueeritavat hoonet Eestis, mille andmed, hetkeolukord ja renoveerimislahendused on lähemalt kirjeldatud allpool peatükis „Pilootobjekti Kuuma tn 4 kirjeldus“. Magistritöös käsitletakse antud elamu renoveerimisel rakendatavaid lahendusi tehases toodetud lisasoojustus-elementide abil. Renoveerimislahendused on projekteerinud, tootnud ja ka ehitustöid läbi viinud Timbeco Woodhouse OÜ.

Uurimistöö käigus saadakse infot renoveerimistööde jooksul eemaldatud materjalide ning elementide, materjalide kogumahtude, erinevate füüsikaliste ning visuaalsete omaduste ja funktsionaalsuse põhjal. Saadud tulemuste abil esitatakse statistika materjalide mahtudest, mis on võimalik taas ringlusesse saata. Samuti saadakse ülevaade elementidest ja materjalidest, mida tuleks jäätmeina käsitleda, sest taaskasutamiseks need ei sobi. Hindamismeetodite abil leitakse ka need hoone osad, mida oleks võimalik asendada muude elementidega või keskkonnasõbralikumate lahendustega, lähtudes jäätmemahdade vähendamise põhimõtetest.

Renoveerimislahenduste analüüsi tulemusena antakse ka ideid ehituslike sõlmede ja lahenduste parandamiseks, pidades silmas ringmajanduslikku aspekti. Siinkohal võetakse arvesse sõlme demontaaži keerukust ning kasutatavate materjalide süsinikujalajälge. Sellest tulenevalt saab analüüsida, kas materjali on eesmärgipärane taaskasutada või ei oma selle osakaal suurt tähtsust. Veelgi enam, leides materjalide süsinikujalajälje, saab analüüsida selle tähtsust tuleviku ehitusnõuete osas.

Käesoleva töö praktilisem osa hõlmab tehaseliste paneelide kokkupaneku ning samuti ka demontaaživariantide jälgimist, tehes tähelepanekuid kinnitusvahendite, detailide omavaheliste tihenduslahenduste ning elementide asukohtade suhtes. Lisaks sisaldab praktiline osa korterelamu renoveerimise ehitusjärgude jälgimist, sealhulgas hoonelt eemaldavate materjalide ülevaatus ning nende seisukorrade hinnangu andmist.

Kirjeldatud meetodid annavad ülevaate korterelamute seisukorrast ning nende ligikaudsetest materjalide ja jäätmete mahtudest, millega tuleks renoveerimisel või hoone lammutamisel arvestada. Täpsem sõlmede ja materjalide analüüs annab ka spetsiifilisemat infot konkreetsete lahenduste ning materjalide valiku optimeerimise kohta. Meetodite valik on kirjeldatud allolevas Tabel 1. Töö metoodika kirjeldus ja valikute tegemised (alus Emmelot 2021).

Tabel 1. Töö metoodika kirjeldus ja valikute tegemised (alus Emmelot 2021).

Töö metoodika kirjeldus ja valikute tegemised		
Metoodika osa	Eesmärk / otsus / tulem	Põhimõtted, meetod
Töö eesmärkide seadmine	Esmatähtsad ja teisejärgulised eesmärgid	Selgitada välja peamine uuringusuund
Ringmajanduslikkuse defineerimine, olukorra kirjeldus Eestis	Taustainfo saamine, hetkeolukorra kirjeldamine, põhiliste probleemide valik	Standardite, nõuete ja probleemide leidmine kirjalikest allikatest, elamufondi kirjeldus ja probleemide analüüs
Uurimisobjekti määramine	Konkreetsete algandmete saamine, praktilise kogemuse saamine	Reaalse renoveerimiskäigu jälgimine. Põhiliste mahtude leidmine (mõõtmine, arvutamine)
Renoveerimislahenduste kirjeldus	Algandmed materjalide ja sõlmede analüüsiks	Projektlahenduste kirjeldus
Lõpliku valiku tegemine uuritavate elementide kohta	Konkreetsete andmete põhjal tulemuste saamine	Valik mahtude suuruse ning hoonet iseloomustavate elementide põhjal
Ringmajanduslike näitajate ja tegurite leidmine	Jäätmekoguste leidmine, materjalidele hinnangu andmine, võrdlemine, alternatiivide leidmine	CO ₂ jalajälje, energia-sisalduse ja materjali-mahtude leidmine. Andmebaaside info (ICE) Arvutused
Ehitusõlmede ja tarindi analüüs	Jäätmete vähendamine, materjalide taaskasutusvõimaluste suurendamine, renoveerimise hõlbustamine	Katse vaatlus. Sõlmelahenduste hindamine tabeli koefitsientide abil. Skeemidel kujutatud sõlmede demontaaži lahenduste variantide esitus
Kulude leidmine	Võrdlus teoreetiliselt paremate lahendustega, materjali taaskasutuse olulisus finantsilises mõttes	Materjalihindade leidmine Analüüs
Eesti elamufondi renoveerimislahendustele hinnangu andmine	Kokkuvõte	Töö käigus selgunud tulemuste hindamine

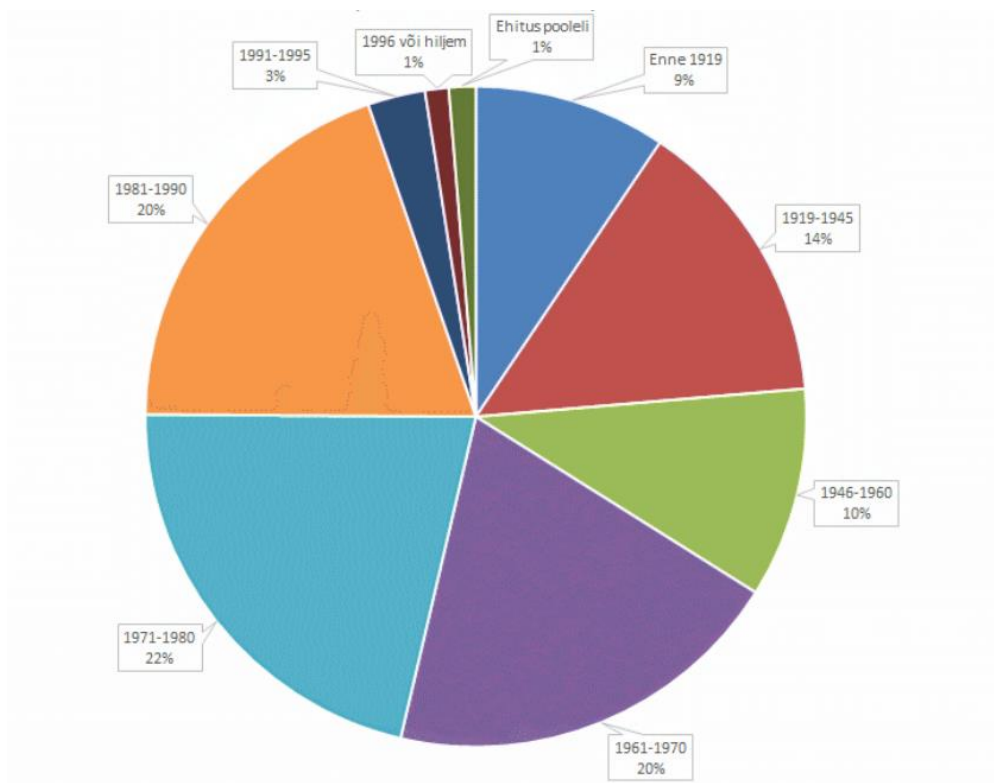
Antud meetodite puhul koguneb info mitmetest eri vaatenurkadest ning seetõttu saadakse uurimisprobleemide tagamaadest adekvaatne ülevaade. Alljärgnevas peatükis „Meetodid“ on töö meetodid täpsemalt lahti seletatud, kajastatakse töö sisu hindamiseks vajalikke lähtematerjale ning kirjeldatakse ka vajalikke mõõtmisi, vaatluseid ja arvutusi.

Käesolev magistritöö on valminud Drive 0 pilootprojekti raames ning Timbeco Woodhouse OÜ ja Tallinna Tehnikaülikooli Ehituse ja arhitektuuri instituudi vahelise koostöona. Teema on valitud lähtuvalt vajadusest optimeerida ehitustegevusest tulenevat jäätmete teket. Lõputöö teema pakkus välja Tallinna Tehnikaülikooli Inseneriteaduskonna Ehituse ja arhitektuuri instituudi ehitusfüüsika professor Targo Kalamees. Magistritöö eesmärgid on seotud eelkõige ringmajanduse ehk keskkonnahoidlikkuse ja jätkusuutlikkusega hoone renoveerimisel.

2 Elamufondi renoveerimine ja ringmajandus

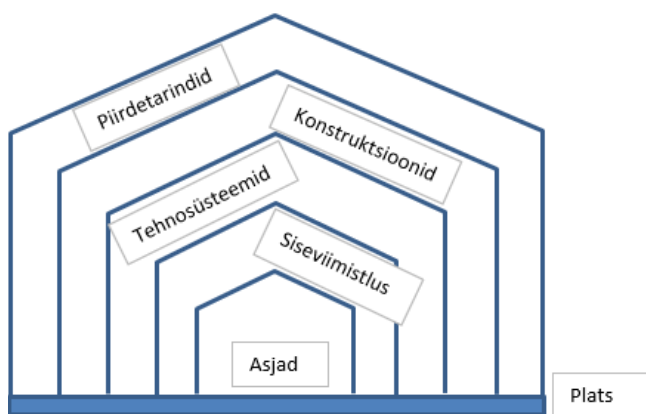
2.1 Eesti elamufondi ülevaade

Suurim osa Eestis olevast elamufondist on ehitatud pärast 1945. aastat ning eelkõige perioodil 1961-1990. 2011. aasta detsembri seisuga oli Eestis Statistikaameti andmetel 23 616 korterelamut, milles asus 447 000 korterit eluruumide pinnaga 23 miljonit ruutmeetrit. Neist 20 000 korterelamut on ehitatud enne aastat 1990 ehk olemasolevatest eluruumidest umbes 70 % on pärit nõukogude ajast. Elamufondi jagunemine aasta 2011 seisuga on kujutatud alloleval skeemil (Skeem 1). Käesoleva ehk 2021. aasta seisuga on Eestis 739 000 eluruumi. Võrreldes aastaga 2012 on neid 81 300 võrra rohkem ehk eluruumide arv kasvab ka nüüdisajal jõudsasti. (Lauri and Energiatõhususe Divisjon 2014; Statistikaamet 2021)



Skeem 1. Eluruumid ehitusaasta järgi 2012 aasta andmed (Statistikaamet 2021)

Kõik hoone osad ei kaota oma toimivust aga täpselt ühel ajal ja optimaalseks renoveerimistööde planeerimiseks tuleks arvestada teatud perioodidega. Hooneosade kestus on hästi kirjeldatud järgneval skeemil (Skeem 2), kus arvestatud on (elamu)hoone tavapärase kasutusega.



Kihid	Kirjeldus	Tüüpiline eluiga/aktiivsus
Plats	Asukoht ja kontekst	Püsiv
Piirdetarindid	Hoone ümbris	20+ aastat
Konstruktsioonid	"Luustik", kandvad osad	30-300 aastat
Tehnosüsteemid	"Elujõud", torustikud, side jm	7-20 aastat
Siseviimistlus	Pinnakatted, värvid jm	3 aastat
Asjad	Mööbel, tehnika	< 3 aastat

Skeem 2. Hooneosade renoveerimise vajadus (Brand 1994)

Vastavalt skeemil kujutatule ei tohiks hoonel suuremaid ehituslikke probleeme tekkida enne 30 aasta möödumist alates selle püstitamisest. Hoone täies mahus renoveerimisele tuleks hakata mõtlema umbes 50 eluaastal, mis on sageli ka hoone tüüpiliseks projekteeritud elueaks. See tähendab, et pärast eluea lõppu ei pruugi toimida hoone enam tervikuna nii nagu algselt kavandatud oli, näiteks selle tehnosüsteemid on vananenud nii füüsiliselt kui moraalselt. Samuti kaotab iga hoone aja vältel oma esteetilise poole. Järk-järgult tuleks niisiis renoveerida kõik hooned, mis teatud ikka jõuavad ning probleeme kujutavad, et vältida tervisele mõjuvaid, ohtu kujutavaid või kasvõi lihtsalt visuaalseid probleeme.

Vanade hoonete puhul vajavad renoveerimist nii fassaad, sokkel, katus, avatäited, küttesüsteem, ventilatsioonisüsteem, veetorustikud, elektriablid jm osad. Leidub mitmeid hooned eriti just eramute seas, kus tervikrenoveerimise asemel on tegeletud enamasti vaid mugavust tagavate, visuaalsete probleemidega ning reaalseid muresid, nagu sisekliima ja energiatõhususe parandamine või niiskuse olemasolu tarindis, ei lahendada. Tihtipeale on probleemiks ka see, et vanade (puit)akende liitekohad lihtsalt teibitakse üle, et vähendada külma õhu tõmbuse efekti. Õigem oleks aga vahetada aknad uuemate akende vastu ning rajada soojustagastusega mehaaniline ventilatsioonisüsteem, mis aitaks kaasa hoone energiatõhususele ning kontrollimatute õhulekete vähendamisele.

Vanemad hooned ei ole soojustatud ega renoveeritud vastavalt tänapäeva normidele. Seejuures kulub hoone kütmiseks rohkem energiat kui seda tegelikult vaja oleks, sest soojus liigub suurel hulgal läbi tarindi hoonest välja. Vanematel hoonetel ei ole ka katusealused soojustusmaterjalidega soojustatud - enamasti leiab sealt vaid liiva, savi ning saepuru. Katuslae lisasoojustamine on aga oluline, et vähendada soojaleket katuse kaudu.

Vundamendi seisukorra kohta saab infot hoone sokli järgi ning vanematel hoonetel on sokkel reeglina katmata, mis tähendab seda, et hoone sokkel ei ole soojustatud.

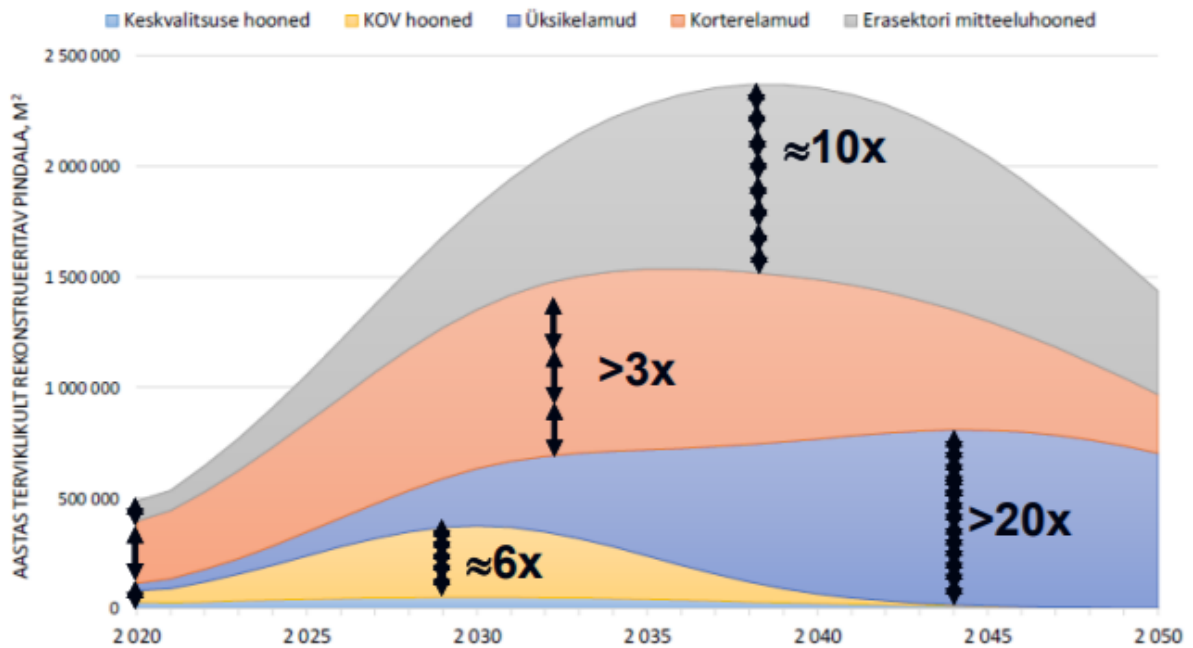
Tagajärjeks on hoone perimeetri suurune külmasild, mis „jahutab“ tervet hoonet ning talveperioodil võib esineda murekohti ka põrandakonstruktsioonidel.

2.2 Eesti elamufondi renoveerimisvajadus

Elamufondi üks suurimaid probleeme on selle amortiseerumine. Kandekonstruktsiooni järgi jagunevad Eestis olemasolevad korterelamud tellis-, suurpaneel-, suurplokk-, ja puithooneteks. Põhiline mure on seotud just suurpaneel- ja suurplokkelamutega, mis on ehitatud Nõukogude Liidu ajal aastatel 1961-1990. Need hooned ongi tänaseks, st aastaks 2021, juba ligikaudu 50 aastat vanad. Teostatud uuring (Kalamees et al. 2009) näitas, et nõukogudeaegsed paneel- ja plokkelamud kokkeseisvalt ei kuku, kuid murekoht on nende madal soojapidavus ning moraalne vananemine. Nõukogudeaegsete korterelamute üks peamist puudust on ka puudulik sisekliima, mis omakorda sõltub märkimisväärselt kütte- ja ventilatsioonisüsteemi lahendusest ja toimivusest. (Statistikaamet 2021)

Esinevate probleemide tõttu oleks seega vajalik lähimas tulevikus kõik tolleaegsed elamud korralikult kogumahas renoveerida, et tagada hea ja turvaline elukeskkond. Aastate möödudes jõuavad oma eluea lõppu aga ka aina uuemal perioodil ehitatud hooned. Need omakorda vananevad ja lagunevad, kaotavad oma visuaalset väljanägemist ning vajavad teatud hetkel samamoodi renoveerimist.

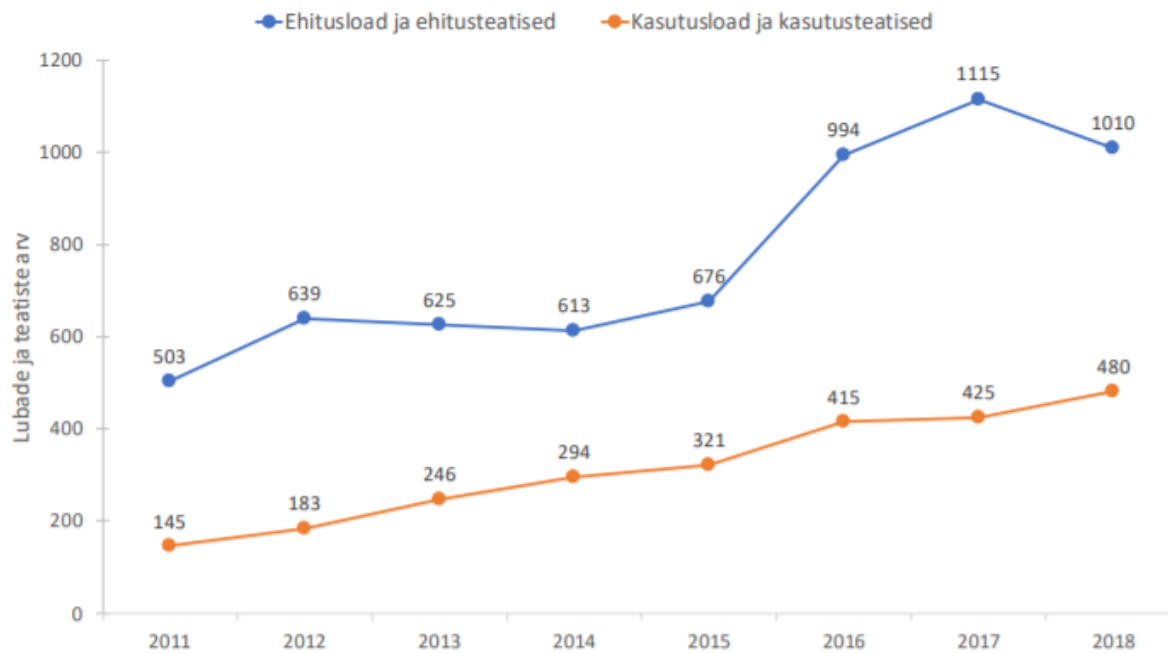
Hoonete rekonstrueerimise pikaajalise strateegia põhjal (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium ja Taltech Ehituse ja arhitektuuri instituut 2020) tekib Eesti hoonefondi suurim renoveerimisvajadus ehk ajaperiood, mil suurim hulk Eestis olevatest hoonetest saavutab 50 aasta piiri, aastatel 2032-2045. Prognoositav renoveerimist vajavate hoonete, nii elamu- kui ka mitteelamuhoonete, kogupindala ületab siis 2 miljonit ruutmeetrit (vt Joonis 2-1), mis oleks võrreldes praeguste mahtudega ligi viiekordne mahu suurenemine.



Joonis 2-1. Kumulatiivne aastane rekonstrueerimisvajadus ja aastane renoveerimismahu kasv võrreldes 2020 aastaga (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium ja Taltech Ehituse ja arhitektuuri instituut 2020)

Võttes vaatluse alla korterelamud, siis ka nende mahu poolest suurim renoveerimisvajadus langeb ligikaudu samale perioodile ehk aastatesse 2030-2040. Hetkel on elamufondi korterelamute rekonstrueerimise tase suurusjärgus 150-200 korterelamut aastas, mis moodustab umbes 1 % korterelamute mahust. Eluasemete taastuvvajaduseks loetakse tavapäraselt 1 % uusehitisi ja 2 % rekonstrueerimisi aastas.

Joonis 2-2 kajastab perioodil 2011 kuni 2018 väljastatud rekonstrueeritud korterelamute ehitus- ja kasutuslubade mahtu, et näidata milline on tavapärase ehituskoormus Eestis ning kui palju hooneid aastas kasutusse võetakse. Graafikult on näha, et ehitusmaht on aina kasvanud ning võib eeldada, et see kasvab ka tulevikus.



Joonis 2-2. Korterelamute rekonstrueerimise ehitus- ja kasutusload ning teatised. (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium and Taltech Ehituse ja arhitektuuri instituut 2020)

Elamufondi rekonstrueerimise 2-protsendilise taseme saavutamiseks oleks vaja, et renoveerimisprotsessid kiireneksid ning oleksid rohkem automatiseeritud. Samas, aastal 2020 alguses alanud ülemaailmse koroonapandeemia tõttu on tekkinud teatud määral majanduskriis, millega renoveerimis- energiatõhususkavade tegemisel algselt arvestada ei saanud. Seetõttu on kallinenud enamik ehitusmaterjale ning esineb veelgi enam tööjõupuudust, mistõttu on tulevikuvaated suuremahuliste renoveerimiste mõistes hetkel küsitavad. On nimelt oht, et samas tempos renoveerimist jätkates lihtsalt ei jätku ressursse.

Tänapäeval tavalahendusena kasutatav ressursimahukas rekonstrueerimise tehnoloogia ei võimalda aga hooneid kiiremini uuendada, sest lihtsalt ei jätku piisavalt tööjõudu ega ressursse. Võimalike probleemide lahendamiseks tuleb leida alternatiive, näiteks tööstusliku renoveerimise näol, et hoida madalal renoveerimismaksumust ning püsida ajaliselt eesmärgipärasel renoveerimiskavas. Loomulikult on vaja leida paremaid lahendusi ka selleks, et hoida ressursse. Sellise ülemineku jaoks on vajalik aga suurem ühiskondlik nõudlus ning on tarvis, et ka ehitusfirmad võtaksid innovatsiooni omaks ning suunduksid rohkem tehase renoveerimise valdkonda. (Äripäev 2018; Rahandusministeerium 2021)

2.3 Korterelamute renoveerimislahenduste ülevaade

2.3.1 Tavapärane Eestis kasutatav renoveerimislahendus – täies mahus ehitamine objektil kohapeal

Tavapärane lähenemine hoone renoveerimisele kujutab endast materjalide järjestikust objektile toomist ning objekti kohapeal algusest lõpuni ehitamist. Probleemseid aspekte võib sellise renoveerimisviisi puhul olla aga mitmeid, alustades kvaliteedist, aja- ja töölisressurssidest ning lõpetades kasutatavate materjalide keskkonnasõbralikkusega.

Esiteks võib kannatada ehituskvaliteet, sest objektil ladustatud materjalid võivad läbi vettida või võib vesi ja niiskus ehituse käigus kergesti lahtisesse tarindisse sattuda. Teiseks, murekohana võib näha ehitustöölise oskuste puudumist. Tavapärase ehituskorralduse käigus jääb enamasti puudulikuks ehitaja pädevuse kontroll ning tõenäoliselt ka omal käel ehitajad ei pruugi omada vajalikke teadmisi ehituslahenduste toimivuse kohta. Sellest tulenevalt võivad tekkida nii projekteerimise kui ka ehituslikud vead.

Veelgi enam, senini on hoonete renoveerimisprotsesside puhul kasutatud lahendusi, mis ei ole alati täielikult tehniliselt pädevad või tekitavad liigselt jäätmeid. Mitmete ehituslahenduste puhul ei ole läbimõeldud hilisem elemendi kättesaadavuse võimalikkus. Kasutatakse kinnitusvahendeid ning lahendusi, mis pärsivad ligipääsu elemendi demontaažiks, siia hulka kuuluvad näiteks liimide, teipide ja muu taolise kasutus, mida on küll algselt kerge ja kiire paigaldada, kuid probleemide esinemise või lammutuse puhul ei saa sellisel viisil kinnitatud materjale enam uuesti kasutada. Seega tuleks leida ühtsemad ning keskkonnasõbralikumad lahendused, et nii parandus-, vahetus- kui ka lammutustööd sujuksid ja ressursse nende tegevuste käigus liialt ei kulutataks.

Lisaks on oluline tähele panna ka konkreetsetest ehitustöödest sõltumatuid, ümbritsevaid faktoreid nagu ruumipuudus ja keskkonnaga arvestamine. Ehitustöödest tulenevad mürarohkus, tolm ja masinad võivad ümberkaudsete elanike ja linnakodanike igapäevaelu segada. Väga suur mure on ka ruuminappus eelkõige linnapiirkondade elamutega, kus ehitustöid saab teostada vaid piiratud alal.

Tehnilise poole pealt näeb korterelamu renoveerimine tavaliselt ette suurimate soojakadudega kohtade soojustamist. Üldjuhul on selleks korterelamu otsaseinad ja sokkel, mis enamasti kaetakse polüstüreeniga ning seejärel krohvitakse. Probleemide ilmnemisel, lagunemisel või fassaadi vananemise korral krohvitakse fassaad uuesti üle. Hoone lammutamise korral on krohv heal juhul ümbertöödeldav, kuid kindlasti mitte korduvkasutatav. Polüstüreenijääkide edasise kasutuse võimalusena võib näha uue

polüstüreeni tootmist ja seda näiteks isolatsiooniplaatide või pakendite näol. (Keskkonnameedia 2020)

Tihti peale soojustatakse ka hoone pööning või katuslagi ning vahetatakse välja vananenud katusekattematerjal. Lisaks uuendatakse ventilatsiooni- ja küttesüsteemi ning paigaldatakse paremate soojusnäitajatega avatäited (kolmekordse paketi aknad). Nende materjalide puhul on jällegi võimalus ümbertöötamiseks, kuid korduvkasutust need enamasti ei leia.

2.3.2 Uudne renoveerimislahendus - tehase line renoveerimine

Nüüdisajal aina rohkem aktuaalsemaks muutuv renoveerimisviis on tehase line renoveerimine. Selle lahenduse puhul kasutatakse viisi, kus lisakarkassi, soojustuse, tuuletõkkematerjalide, fassaadilahenduse ning muu vajalikuga varustatud ühtne paneel tehakse tehases valmis. Seejärel transporditakse paneel objektile, kus see olemasoleva hoone külge kinnitatakse. Tehaselise reoveerimise puhul on minimaliseeritud eelnevalt väljatoodud probleemid tavalahenduse kohta. Senise kogemuse kohaselt on see lahendus väikeste mahtude juures enamasti kallim.

Negatiivsete välismõjude vähendamisele ning ehituskvaliteedi tõstmisele aitavad paneelide kasutamisel kaasa mitmed aspektid. Esiteks, valmistatud paneeli hoiustatakse objektile võimalikult vähe aega ning materjalid selles on pidevalt kaitstud, sest tarind on kinnine ja kaetud, mistõttu väheneb risk, et tarindiosad endasse niiskust koguksid. Lisaks leiavad antud lahenduse korral leevendust ruuminappuse, tööjõuvajaduse ning ka ajakulu probleemid, sest reaalselt pole objektile niipalju ressursi tarvis kui tavalise renoveerimise puhul ning automatiseerimine muudab protsessi kiiremaks. Tehases paneeli valmistamine annab ka kindlust, et töö on tehtud kvaliteetselt, tulenevalt tehastes tehtavatele kontrollidele ja tööliste määratud kindlatele tööloikudele.

Juba eelnevalt mainitud tehaselise renoveerimise positiivsetele aspektidele lisaks aitab selline meetod täpsemalt ette plaanida materjalide kulu ja vähendada renoveerimistöodele tavapäraselt kuluvat aega. Samuti on võimalik töid teostada, kui elanikud majas sees elavad, kusjuures nende igapäevast elu ei häirita palju, sest elementide paigaldamisega seotud tööd kestavad ühe elamu juures hinnanguliselt vaid kuni kuu aega.

Tavapäraselt on ühele korteriühistule hoone tervikliku reoveerimise ettevõtmine aga liialt suur finantskoorem, kuid lähedusena on võimalik taotleda toetust. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi loodud sihtasutus KredEx SA pakubki ühe variandina toetuseid just korterelamu tehaseliseks rekonstrueerimiseks. Toetuse andmise eesmärgid on uute tehniliste lahenduste kasutuselevõtu soodustamine, korterelamute

energiatõhususe ja parema sisekliima saavutamine ning energiasõltuvuse ja kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamine. Koos KredExi toetusega kaasneb ka nõue ehitusjärelvalvele ning koostööle tehnilise konsultandiga, mis tuleb kasuks kvaliteedi kontrollil ning aitab vältida ehitusvigu (KredEx toetused 2021). Lisaks sellele, Euroopa Liidu poolt on toetatud energiaauditite, ehitusekspertiiside ja -projektide teostamist korterelamute energiakulukuse ja tehnilise seisundi kaardistamiseks ning rekonstrueerimistöode teostamiseks (Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium. Taltech Ehituse ja arhitektuuri instituut 2020).

2.3.3 Renoveerimistegevuse plaanid Eestis

Eesti elamufondi kuuluvaid ühepereelamuid, mitme pere elamuid kui ka korterelamuid leidub mitmeid erinevaid nii hoone suuruse, konstruktsiooniliste lahenduste, arhitektuuri, ehitusperioodi või muu omaduse järgi jaotades. Renoveerimislahendused ja -vajadused ei ole aga igale hoonele üheselt kohaldatavad. Ehitustegevuse ja selle planeerimise jaoks tuleb alati esmalt välja selgitada konkreetse hoone iseärasused ning probleemid, mis tuleb kindlasti lahendada. Lisaks tuleks tähelepanu pöörata ka hoone nendele osadele, mis nõuavad uuendamist moraalise vananemise tõttu.

Riiklikul tasemel on kõige lihtsam renoveerimisplaanidega alustada just kindlat tüüpi korterelamute parendamisest, mille lahendusi ja tulemusi on võimalik kõige paremini korrata. Eesti puhul võiks see kohalduda tellis- ja suurpaneelramutele. Põhjus seisneb selles, et nõukogude ajal ehitatud korterelamute projekte on mitmeid samasuguseid või väga sarnaseid. Lisaks, erinevalt eramutest ei ole kortermajad eraomandis ehk nende puhul on lihtsam ehitustegevuse jaoks vajalikke kokkuleppeid saavutada. Seda kõike on Eesti riik ka siiani järginud, võttes renoveerimiseks esmajärgus ette just suuremate linnade ja asulate magalarajoone, et nende kogemuste põhjal välja töötada tüüpsed renoveerimisprojektid. Lisaväärtusena antakse sellisel moel eeskujuga ka eraisikutele oma eramajade seisukorra taastamiseks.

Eesti ehitusvõimekus on võimaldanud seni aastas terviklikult renoveerida u 150 korterelamut keskmise kogumaksumusega u 100 miljonit eurot. Praeguste toetuse tingimuste ning ehitushindade kohaselt kulub selleks igal aastal keskmiselt u 38 miljonit eurot toetust. Eeldades, et toetuste maht ning ehitushinnad pikemas perspektiivis oluliselt ei muutu, võib prognoosida, et aastaks 2030 lisandub senisele 1063-le renoveerimisele veel kuni 1800 elamut. Suure tõenäosusega jääb 2/3 korterelamutest renoveerimata ning energiamajanduse arengukavasid koostades tuleks sellega arvestada. (Lihtmaa 2018)

2.4 Ringmajandus Eesti ehitussektoris

2.4.1 Ringmajanduse mõiste ehitussektoris

Ringmajanduse eesmärk on majanduskasvu lahti sidumine esmase toorme kasutusest luues võimalikult väikeste kadudega ringse tootmis- ja tarbimissüsteemi, mis kasutaks toote kogupotentsiaali. (Keskkonnaministeerium 2021a)

Ressursse on vaja hallata efektiivselt kogu nende olulusringi vältel, alates tootmisest ja tarbimisest kuni jäätmekäitluse ja taaskasutuseni, luues olemasolevatest ressursidest rohkem väärtust ning tekitades sealjuures vähem jäätmeid. Oluline on seejuures pöörata tähelepanu olemasolevate materjalide ja toodete:

- korduskasutusele;
- parandamisele;
- ringlusesse võtmisele.

Ringmajanduse mõtte taga on seega mitmeid termineid ja viise, kuidas selle eesmärkidele ehk keskkonnasäästlikkusele lähemale jõuda. Jäätmete tekkega seonduvad tegevused on hierarhiliselt toodud järgneval skeemil (Skeem 3), kusjuures esmase tähtsusega on kõrgemas kassis olev tegevus.



Skeem 3. Jäätmetega ümberkäimise loogika Eestis (Keskkonnaministeerium 2021b).

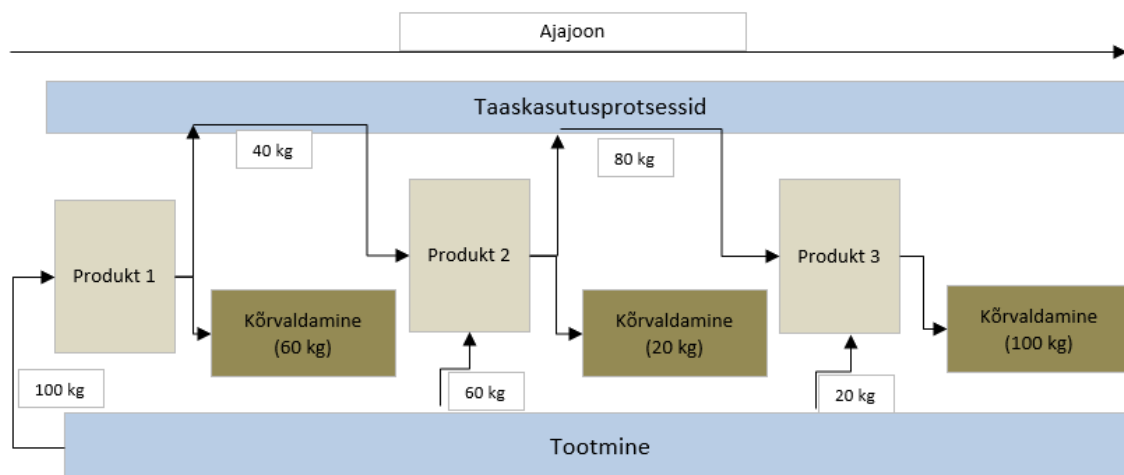
Siinkohal tuleb lahti seletada skeemil esitatud tegevuste sisuline pool.

1. Korduvkasutust tehakse toote või tootekomponendiga, mis ei ole veel jäätteks muutunud ning asja kasutatakse uuesti selle esialgsel otstarbel. Korduvkasutus on seega jäätmetekke vältimine ehk ehituse seisukohalt materjalide raiskamise vähendamine ja liidete demontaaži hõlbustamine.
2. Korduskasutuseks ettevalmistamist tehakse juba jäätteks muutunud toodetega või tootekomponentidega. See on kontrolliv, puhastav või parandav taaskasutamismoodus, millega jäätmeteks muutunud tooteid või nende komponente valmistatakse ette selliselt, et neid oleks võimalik korduvkasutada nende esialgsel otstarbel ilma mis tahes muu eeltööluseta. Käesoleva töö sisu poolest on see tegevus võrreldav ehitise osade parandustöödega, puhastustöödega või muu sarnase tegevusega.
3. Jäätmete ettevalmistamine taaskasutamiseks on jäätmete eeltöötlus, mille lõppsaaduseks on jäätmed, ühendid või segud, mis järgnevalt taaskasutatakse. Ehituslikust küljest vaadatuna võiks tegemist olla näiteks ehitusjäätmete kasutamisega pinnasetäiteks või mingite pinnasevormide kujundamiseks.
4. Materjalide taaskasutamine on laiem nimetus jäätmetega tehtavatele toimingutele, mille peamine tulemus on jäätmete kasutamine kasulikul otstarbel nii, et need asendavad muid materjale. Samuti võib taaskasutuse alla arvata ka jäätmete ettevalmistamise asendamaks muid materjale tootmises ja majanduses. Taaskasutamise alla kuuluvad korduskasutuseks ettevalmistamine, ringlussevõtt ja ka muu taaskasutus.
5. Ringlussevõttu, kaasa arvatud bioloogilist ringlussevõttu tehakse jäätmetega ning see on kitsam mõiste kui taaskasutamine. Selle taaskasutamistoimingu käigus töödeldakse jäätmeid töödeldakse toodeteks, materjalideks või aineteks, et neid saaks kasutada kas esialgsel või muul eesmärgil. See ei hõlma jäätmete energiakasutust ja töötlemist materjalideks, mida kasutatakse kütusena või tagasitäiteks. Ringlussevõtt on igasugune füüsikaline, keemiline või bioloogiline jäätmete käitlemine, mille tulemusena materjal ei ole enam jäätmed vaid nõuetele vastav toode.
6. Üheks võimaluseks jäätmetest vabaneda on ka energiakasutus, mis on jäätmete taaskasutamismoodus, kus põletuskõlblikke jäätmeid kasutatakse energia tootmiseks nende põletamisel eraldi või koos muude jäätmete või kütusega, kasutades ära tekkinud soojuse. (Keskkonnaamet 2021)

Lisaks keskkonnamõju vähendamisele on ringmajanduse põhimõtteid efektiivselt rakendades võimalik ettevõtetel vähendada kulusid, suurendada kasvupotentsiaali ning edendada ettevõtte mainet. Just seetõttu on konkurentsivõime ja jätkusuutliku

majanduskasvu huvides oluline üle minna ressursitõhusale ringmajandusele. Üleminek ringmajandusele vajab aga muutusi kogu toote väärtusahelas alates toote disainist kuni uute ärimudelite ning tarbimisharjumusteni.

Allolev skeem (Joonis 2-3) näitlikustab materjali taaskasutusprotsessi, kus materjali kulumine toimub alati konkreetse mahuna, mis utiliseeritakse ning puudujääva mahu asemele toodetakse uus samaväärne materjal.



Joonis 2-3. Materjali taaskasutamise loogika (Hammond et al., 2011)

Praeguseks hetkeks, aastal 2022, ei ole veel Eestis välja töötatud ühtset ja standardiseeritud juhendit materjalide ringmajanduslike omaduste hindamiseks, mis võimaldaks piisavalt laialdast kasutusala. Tavapäraselt viivad hooneelementide taaskasutusauditeid läbi eksperdid, kes tuvastavad korduv- või taaskasutatavad komponendid ja materjalid vastavalt oma varasematele teadmistele ja kogemustele või isegi katselistele eksperimentidele.

Uute ja olemasolevate toodete korral on peamine fookus kogu olelusringi disainimisel, keskendudes jätkusuutlikule materjalivalikule, kvaliteedile, tarneahela optimeerimisele ning kordus- ja taaskasutusele. Teadustada tuleks seejuures ka toote eluea pikkust, selle parandamisvõimalusi, universaalsust ja komponentide eraldamise võimalikkust. Selleks, et ringmajandus saavutaks oma täieliku potentsiaali, on vaja kindlat ühist süsteemi ning mõttemüüside ja käitumise muutust üleüldises plaanis, et jõuda reaalselt positiivsete tulemusteni tarbimises, tootmises, planeerimises väärtushinnangutes jne. (Keskkonnaministerium 2021a)

Keskkonnahoiu seisukohalt on ehitussektor väga mõjukas nii toorainete tarbimises, kasvuhoonegaaside emissioonis kui ka tekitatavas jäätme hulgas. Uuringute põhjal (Idnurm ja Kull, 2021) tuleneb ehitussektorist umbes 40 % kogu maailma jäätme hulgas, 32 % kogu energiatarbimisest ja 12 % veekasutusest. Ehitussektorit võib seega pidada maailma suurimaks tooraine jm ressursside tarbijaks:

- Sektoris kasutatakse 3 miljardit tonni toormaterjali aastas, sh umbes pool kogu maailma terasetoodangust;
- Ehitatud keskkonnast lähtub ligikaudu 25-40 % kogu maailma kasvuhoonegaaside emissioonist.

2.4.2 Ehitusjäätmete käitlemisnõuded Eestis

Eesti Vabariik on suutnud pikemat aega oma jäätmetega hästi majandada. Juba 2011. aastal teatati Euroopa komisjoni otsuse 2011/753/EL (Euroopa Komisjon 2011) kohaselt, et jäätmete taaskasutusse suunamise määraks on realselt 72 % Euroopa Liidu poolt nõutud kogustest. Aastal 2013 oli see protsent lausa 83 %, millega oli seega täidetud jäätmete raamdirektiivi 2008/98/EÜ (Euroopa Komisjon 2008) eesmärk ehitus- ja lammutusjäätmete valdkonna osas. See kõrge määr saavutati kasutades vabaturumajandusel põhinevat konkurentsi jäätmekäitlussektoris ning majandades nii, et jäätmeid ei ladustataks kuhjadesse ega oleks pinnasetäiteks kasutatavad vaid et leitaks materjalide paigutamisele muid alternatiive.

Jäätmed on mis tahes vallasasi, mille valdaja on ära visanud, kavatseb seda teha või on kohustatud seda tegema. Eestis kehtivad üldised nõuded jäätmete, sh ehitusjäätmete käitlemisele, mille suunised on kirja pandud Jäätmeseaduses (Jäätmeseadus 2021). Siiski, ehitustegevuse korral tuleb järgida kohaliku omavalitsuse ettekirjutusi, kus on antud täpsemad juhised, ning jäätmeid tuleb käidelda vastavalt kohalikele nõuetele. Juhul, kui jäätmeid ei saa või pole majanduslikult otstarbekas käidelda, võib vastavalt Tallinna jäätmehoolduseeskirjale § 5 kohaselt jäätmed üle anda ka jäätmekäitlejale. (Jäätmeseadus 2021; Tallinna jäätmehoolduseeskiri 2011)

Jäätmeseadus sätestab järgmised aspektid:

- Jäätmehoolduse korralduse;
- Nõuded jäätmete tekke ning jäätmetest tuleneva tervise- ja keskkonnaohu vältimiseks, sealhulgas meetmed loodusvarade kasutamise tõhususe suurendamiseks ja ebasoodsa mõju piiramiseks ning selliste jäätmete prügilas ladestamise järkjärguliseks vähendamiseks, mis sobivad ringlussevõtuks või muuks taaskasutamiseks;
- Riikliku järelevalve alused ja ulatuse;
- Vastutuse käesoleva seaduse rikkumise eest. (Jäätmeseadus 2021)

Üldises mõttes keskendub Eesti jäätmekäitlus jäätmete vähendamisele. Taaskasutuse kõrval on järjest olulisemaks muutunud jäätmetekke vältimist toetatavad tegevused, mis aitavad kaasa majanduskasvu ja jäätmetekke omavahelise seose katkestamisel.

Jäätmeseaduse § 136. „Jäätmete taaskasutamise sihtarvud“ järgi tuleb 2020. aastast taaskasutada ehitus- ja lammutusjätmeid, välja arvatud sellised looduslikud ained nagu kivid ja pinnas ning ohtlikke aineid sisaldavad kivid ja pinnas, korduskasutuseks ettevalmistatuna, ringlusse võetuna ja muul viisil taaskasutatuna, sealhulgas tagasitäiteks, muude ainete asemel – vähemalt 70 % ulatuses nende jäätmete kogumassist ühe kalendriaasta kohta. (Jäätmeseadus 2021)

Võttes vaatluse alla antud töö raames valitud spetsiifilisema asupaiga ehk Saue vallas kehtivad nõuded, siis sealne jäätmehoolduseeskiri ei anna täpsustavaid piiranguid jäätmetega ümberkäimiseks. Ehitusjätmete hulka kuuluvad tavalised materjalid nagu puidu, metalli, betooni, telliste, ehituskivide, klaasi ja muude ehitusmaterjalide jätmed (sealhulgas asbesti ja teisi ohtlikke jätmeid sisaldavad materjalid). Samuti vajadusel väljakaevatav pinnas, mis on kasutatav omal kinnistul haljasala tagasitäiteks või aluskihiks. (Saue Vallavolikogu 2019)

2.4.3 Mitteohtlike ehitusjätmete käitlemine

Ehitusjätmed tuleb liigiti sortida vastavalt sorditavatele jäätmeliikidele tähistatud mahutitesse nende tekkekohal, lähtudes jäätmete taaskasutusvõimalustest. Eraldi tuleb sortida:

- 1) puit;
- 2) kiletamata paber ja kartong;
- 3) metall (eraldi must- ja värviline metall);
- 4) mineraalsed jätmed (kivid, ehituskivid ja tellised, krohv, betoon, kips, lehtklaas jne);
- 5) raudbetoon- ja betoondetailid;
- 6) tõrva mittesisaldav asfalt;
- 7) kile.

Jäätme eeskirja murekoht on punkt (2), mis ütleb: „Kui ehitusjätmete tekkekohas puudub võimalus neid sortida või see osutub majanduslikult ebaotstarbekaks, tuleb jätmed anda käitlemiseks üle sellekohase jäätmeloaga jäätmekäitlejale.“ Sageli poetakse selle punkti taha ja jäetakse objektile jätmed sorteerimata. Kõik jätmed pannakse samasse konteinerisse, kuna see on odavam ja kiireim viis jätmetest lahti saamiseks.

2.4.4 Ehitusel ja lammutusel tekkivad jätmed ja ehitusmahud

Eesti Keskkonnaagentuur haldab terviklikku jäätmeregistrisüsteemi (JATS) (Jäätmearuandluse infosüsteem 2021), mis sisaldab üksikasjalikku teavet muuhulgas

ka ehitus- ning lammutusjätmete tekke ja käitlemise kohta jäätme- ja käitluskoodide järgi. Jäätmete tekke ja töötlemise andmete jäätmekoodide kaupa registreerimise järgi on suhteliselt lihtne jäätmemahutusi võrrelda. Siiski ei ole võimalik täpsemalt eristada materjalide taastamist ja tagasitäite mahutusi. Tagasitäite arvutab Keskkonnaagentuur koos keskkonna(jäätme)lubade andmekoguga, kus salvestatakse käitluskohtade täpsed toimingud koos käideldavate jäätmete kogustega. (Deloitte SA 2015)

Ehitamisel kasutatakse mitmeid erinevaid materjale ning tooteid, lisaks tekib kaevetööde käigus üle jäävat või utiliseerimist vajavat pinnast. Materjalide hulka võivad kuuluda nii puit, klaas, kivi, plekk, betoon, metall, erinevad plastikud, vaht, vill, lisaks erinevad seadmed, torustikud, kaablid, kinnitusvahendid ja muud jäätmed. Tavapäraselt tekivad suurimad materjalide jäätmemahud vana hoone lammutustegevuse käigus. Uue hoone püstitamisel või olemasoleva renoveerimisel on üle jäävate või utiliseeritavate materjalide mahud küll lammutusmahutustest väiksemad, kuid annavad siiski kokku arvestatava mahuhulga, et nende vähendamise olulisusele tähelepanu pöörata. Järgnevalt on tabelis (Tabel 2) näidatud reaalsed ehitussektoris tekkinud jäätmemahud Eestis aastal 2019.

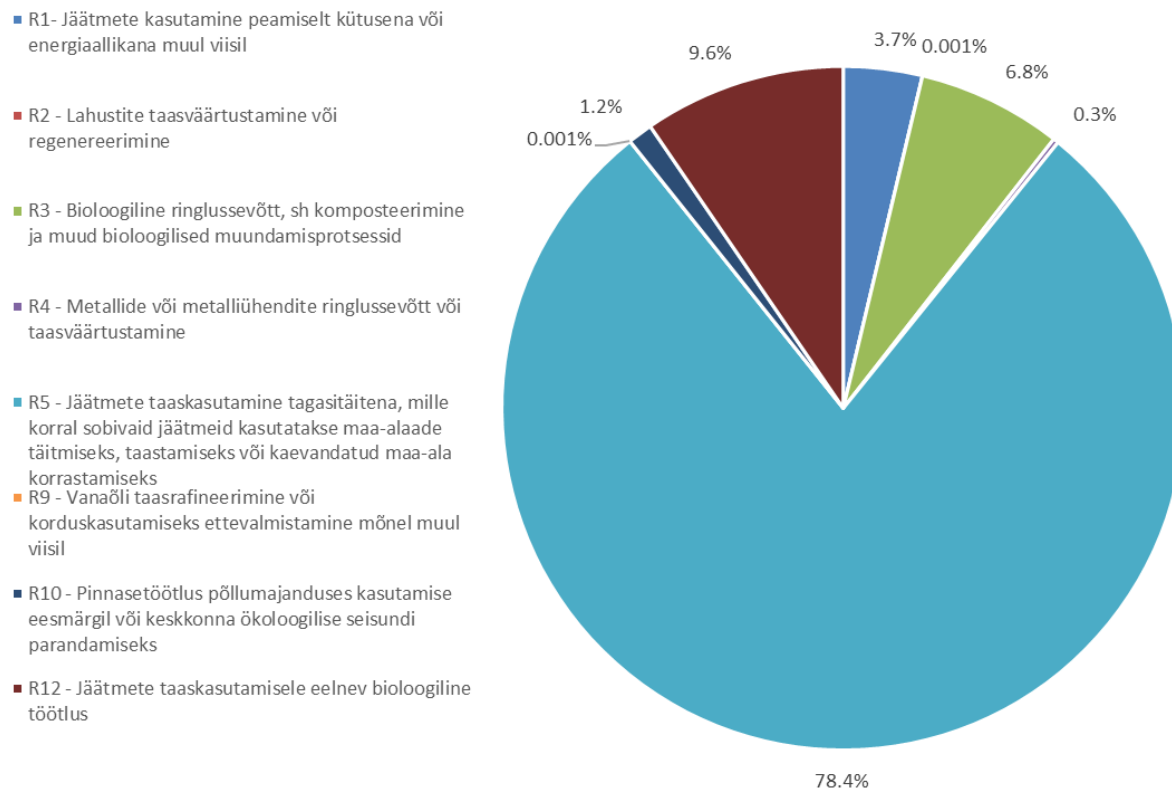
Tabel 2. Ehitus- ja lammutusprahht (sh saastunud maa-aladelt eemaldatud pinnas) Eestis aastal 2019. (Keskkonnainfo 2019)

EJL kood	Jäätmete nimetus	Kogus aasta algul (t)	Sissetulek, (t)		Väljaminek, (t)						Kogus aasta lõpus (t)
			Jäätmete teke (sh. Kogutud)	Import	Taaskasutamise	Jäätmete sortimine / muu eeltöötlus	Ettevalmistus kõrvaldamiseks	Prügilasse ladestatud	Määratlemata käitus	Ekspord	
1701	Betoon, tellised, plaadid, keraamika	93786.7	458247.6		413386.2	15013.8		805.2	5832.4		116996.7
1702	Puit, klaas, plastid	21477.2	76098.6	74.1	38628.1	15932.3	0.5	502.2	5053.0	3954.2	33579.8
1703	Bituumeni-taolisest segud ning kivisöö- või põlevkivitorv ja tõrvasaadused	42841.4	285674.0	87581.2	335617.2	3236.4		2582.7	14100.9		60559.4
1704	Metallid (sh sulamid)	28291.4	255785.3	28209.8	2347.4	154159.8	31.9		6121.8	110579.3	39046.2
1705	Pinnas (sh saastunud maa-aladelt eemaldatud pinnas), kivid ja süvenduspinnas	345394.8	2075033.9		2093099.8	25361.2		1414.0	27787.4		272766.3
1706	Isolatsiooni- materjalid ja asbesti sisaldavad ehitusmaterjalid	1008.2	14376.3			499.3	983.2	13302.0	17.5		582.5
1708	Kipsipõhised ehitusmaterjalid	206.7	1073.8		777.9	20.0		116.5	0.04		366.1
1709	Muu ehitus- ja lammutusprahht	21093	158718.6	27656.8	50.3	129115.4	1.7	52832.764	5067.316		20400.873
Kokku		554099.4	3325008.1	143521.9	2883906.9	343338.1	1017.3	71555.3	63980.3	114533.5	544298.0
Kokku kõik ehitus- ja lammutusjätmed, (t)		554099.4	3468530.0		3478331.5						544298.0

Nagu tabelist nähtub, on sissetulev ehk tekkivate ja imporditavate jäätmete maht kokku ligikaudu võrdne edasi suunatava jäätmete mahuga. Eksporditakse 3 % jäätmetest. Keskkonnakahjulikke tegevusi nagu prügilasse ladestamine (kuhu arvestatakse ka täpsemalt määratlemata käitus), tehakse ligikaudu 4 % jäätmetega. Väga suur osa väljaminevast jäätmemahust, lausa 83 %, taaskasutatakse ning põhiline osakaal on

sealjuures just pinnasematerjalidel, mida on lihtne tagasitäiteks kasutada. Selle „taaskasutamise“ probleem seisneb aga selles, et sageli pole tegemist esmatoorme vajaduse vähenemisega, vaid ikkagi materjali kuhugi ladustamisega. Täpsemalt on jäätmete taaskasutamise suunad näidatud alljärgneval joonisel (Joonis 2-4).

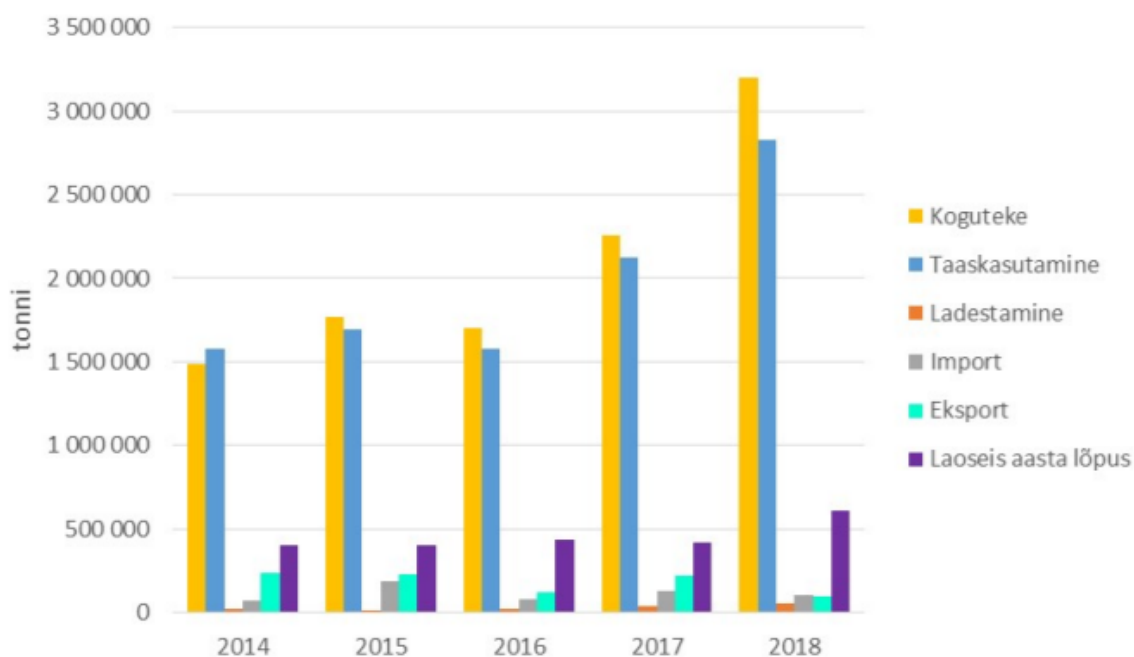
Jäätmete taaskasutamine Eestis 2019.a



Joonis 2-4. Kokkuvõte jäätmete taaskasutamisest Eestis 2019. aastal (Jäätmearuandluse infosüsteem, 2021)

Vaadates varasema perioodi olukorda Eestis, siis aastatel 2014-2018 hoogustus ehitustegevus oluliselt. Sel perioodil tõusis paralleelselt ka ehitus- ja lammutusjäätmete teke - ametliku jäätmearuandluse statistika kohaselt lausa rohkem kui kaks korda ehk ligikaudu 1,5 miljonilt tonnilt 3,2 miljoni tonnini (vt Joonis 2-5). (Keskkonnaagentuur 2020)

Ehitus- ja lammutusjätmete (17 05) teke ja käitlus 2014-2018

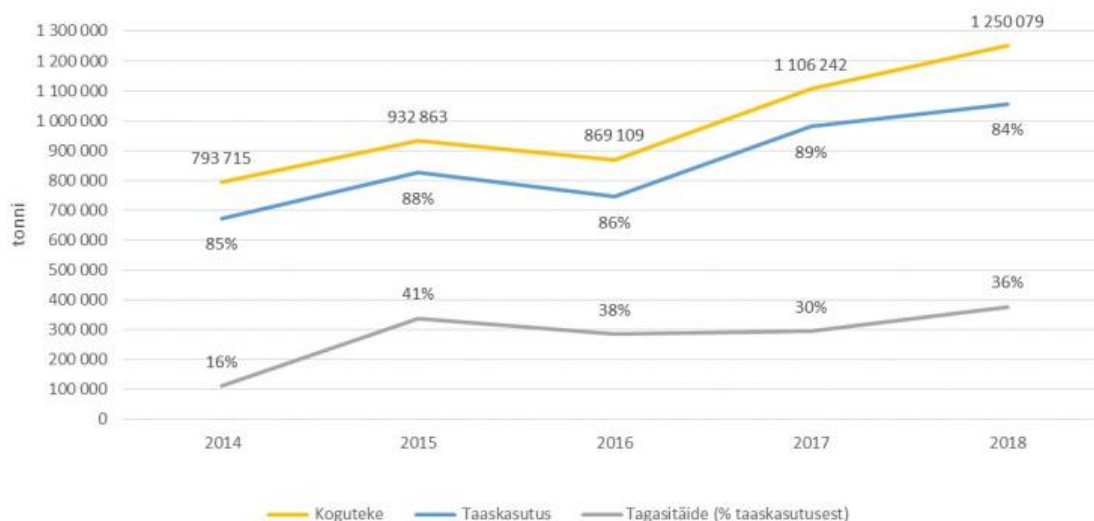


Joonis 2-5. Ehitus- ja lammutusjätmete teke ja käitlus Eestis aastatel 2014-2018 (Keskkonnaagentuur 2020)

Ehitus- ja eriti lammutusjätmete tekkekogus on tegelikkuses aga veelgi suurem kui eelnevalt välja toodud skeemid näitavad. Iga-aastaselt tuvastatakse mitmeid jäätmetekitajaid, kes jäätmeluba ei oma või on ladestanud jäätmeid illegaalselt. Lisaks kasutatakse osa tekkinud ehitus- ja lammutusjätmetest ära juba nende tekkekohas, mille näitena võib tuua põletatavad puidujäätmed.

Joonis 2-6 kajastab ehitus- ja lammutusjätmete taaskasutusse suunamist, mis on joonisel arvestatud vaid Eestis tekkinud jäätmete põhjal. Materjalide ringlussevõttu ehitus- ja lammutusjätmete puhul ametlikult ei arvutata, sest jäätmearuandlusega kogutav andmestik pole selleks antud formaadis sobiv. Samas, materjalide taaskasutuse mahtusid on võimalik kogutud info põhjal hinnata.

Ehitus- ja lammutusjäätmete taaskasutamise määr 2014-2018



Joonis 2-6. Ehitus- ja lammutusjäätmete taaskasutamise määr 2014-2018 (Keskkonnaagentuur 2020)

Viimastel aastatel on Eestis tekkinud lahus kogutud ehitus- ja lammutusjäätmetest enim just uusarenduste pinnasetööde käigus eemaldatud kive ja pinnast. Sarnaselt pinnasejäätmete summaarsetele tekkekogustele kerkisid perioodil 2014-2018 kolm ja pool korda ka nende taaskasutus ja ringlussevõtt tagasitaitena ning vaheladustamine. (Keskkonnaagentuur 2020)

Ehitusmahud, seega ka ehitustegevusest tulenevad jäätmete mahud, on viimastel aastatel koroonakriisi tõttu langenud nii Eestis kui välismaal. Uute projektide ja tellimuste mahud on vähenenud ning paljude objektide ehituse algus on lükkunud edasi. Ehitussektori taastumist kriisieelsesesse olukorda võib oodata alles aastal 2022 koos majanduse üldise olukorra stabiliseerumisega ning riigi ja erasektori nõudluse suurenemisega. (Rahandusministeerium 2021)

Tuleb arvestada, et kriisiolukorra taandumisel ja tavaolukorra taastumisel ehitustegevuse mahud jällegi suurenevad. Samuti on globaalsel tasandil eeldatav, et linnastumine jätkub ning rahvastiku arv tõuseb, mistõttu on vaja ehitada uusi elamispindu ning aina rohkem tekib juurde ehitus- ja ka lammutusjäätmeid. Tuginedes eelnevates peatükkides väljatoodud renoveerimisprognosidele ja võttes arvesse korterelamute hetkelist ning ka tuleviku renoveerimisvajadust, siis tuleks Eestis aastal 2030 renoveerida ligi 1 miljon ruutmeetrit elamupindu (vt Joonis 2-1). (Keskkonnaagentuur 2020)

Eesti viimase ajaperioodi jäätmemahude kontrolli jaoks on riigi poolt tulnud ettepanek teha Rahandusministeeriumi pilootprojekti „Kahaneva rahvastikuga piirkondades probleemsete korterelamute elanike ümberasustamine ja kasutusest väljalangenud

korterelamute lammutamine" raames rakendusuring, mille käigus analüüsitakse konkreetsete lammutatavate hoonete puhul nendes sisalduvate materjalide korduskasutuse ja jäätmete ringlussevõtu potentsiaali ning realiseerimise tasuvust võrreldes tavapärase lammutuse lahendusega. (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium 2020b)

2.5 Ülevaade renoveerimislahenduste ja ringmajanduse tulevikusuundadest

2.5.1 Juhtivad normid ja eesmärgid

Euroopa Liit on seoses kliimaprobleemide ägestumisega oma liikmesriikidele seadnud eesmärgiks aastaks 2050 saavutada terviklik kliimaneutraalsus. 2015. aastal sõlmitud Pariisi kliimakokkuleppes võeti nimelt liidule kohustused, et viia sealhulgas ellu siduv eesmärk vähendamaks 2030. aastaks Euroopa Liidus kasvuhoonegaaside heitkoguseid võrreldes 1990. aasta tasemega vähemalt 40 %. ELi ühise eesmärgi saavutamise nimel tuleb liikmesriikidel aga omakorda saavutada riiklikud energiaeesmärgid, mis seatakse riiklikes kümneaastastes energia- ja kliimakavades. (Keskkonnainstituudi et al. 2020)

Eesti valitsus toetab Euroopa Liidu eesmärki kliimaneutraalsuse saavutamise ehk kasvuhoonegaaside netonullheitega majanduse koha pealt. Eesti kliimapoliitika raames lepiti kokku valdkondlikes ja kogu majandust hõlmavates poliitikasuundades, mis seavad aastani 2050 selge teekonna, kuidas kasvuhoonegaaside heitkogust vähendada ning ühtlasi kliimamuutuste negatiivsete mõjudega kohaneda. Kliimapoliitika põhialused seab Eestile eesmärgi vähendada kasvuhoonegaaside heidet 2050. aastaks 80 % võrra. (Kliimapoliitika põhialused aastani 2050 2017)

Kõnealune dokument sisaldab raamistikku ka tööstusele ja ehitussektorile. Nimelt, tööstuslikes protsessides soodustakse valdavalt vähese CO₂ eriheitega tehnoloogiate rakendamist ning ressursside tõhusat kasutamist. Õigusnormide abil motiveeritakse tööstusettevõtteid kasutama valdavalt vähese süsinikuheitega kütuseid ja tootmissisendeid. Olemasoleva hoonefondi renoveerimisel ning uute hoonete planeerimisel ja ehitamisel lähtutakse süsteemi kui terviku majanduslikust ja energeetilisest tõhususest, et saavutada kogu kasutuses oleva hoonefondi maksimaalne energiatõhusus. Hoonefondi renoveerimisel suurendatakse teadlikkust ja selgitatakse välja võimalikud turutõrked. Samuti kaalutakse eri rahastusvõimaluste rakendamise võimalikkust ja kulutõhusust. (Kliimapoliitika põhialused aastani 2050 2017)

Selliste eesmärkide juures on väga oluline rakendada ühiskonnas ringmajanduse põhimõtteid, kuid nende elluviimine võib kujuneda keeruliseks. Uute ja keskkonda säästvate ideede rakendamine eeldab olulist mõttelaadi muutust tootmisprotsesside ja

tarbimise väärtusahelates. Ehitussektori poole pealt vaadatuna on nõutavad muutused alates tellijast ja omanikust kuni projekteerija, ehitaja ja kinnisvara korrashoidjani välja. Arendamist ja laialdasemat kasutuselevõttu vajavad veel tehnilised lahendused seniste ehituslike võtete lihtsustamiseks ja ringmajanduse soodustamiseks. Enamgi veel, puudulikele tehnilistele lahendustele juures on vaja vaadelda ka ehitusprotsesside haldamisest tingitud materjalide raiskamist, mis võib endaga kaasa tuua ümbertegemise vajaduse ehitusplatsil ja seetõttu ehitusjäätmeid, mida on edaspidi tarvis vältida.

2.5.2 Renoveerimislahendused tulevikus

Arvestades hetkel Eestis kasutuses olevat eluhoonete hulka, seni teostatud rekonstrueerimiste mahtu ja prognoositavat elamute kasutusest väljalangemist, tuleks aastaks 2050 terviklikult rekonstrueerida 105 000 üksikelamut kogupindalaga 14 mln m² ja 14 000 korterelamut kogupindalaga 18 mln m². Tervikliku rekonstrueerimisena käsitletakse siinkohal rekonstrueerimist, mille tulemusena saavutatakse vähemalt energiamärgise klass C või kõrgem. (Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium ja Taltech Ehituse ja arhitektuuri instituut 2020)

Oluline on hoone renoveerimise puhul leida terviklik lahendus, mis aitaks hoone püsimisele kaasa võimalikult ulatuslikult ja pikaajaliselt. Panustama peaks nii võimalike probleemide väljaselgitamisele, projekteerimisele, ehitustegevusele kui ka järelevalve tegevustele ja korralike dokumentide olemasolule. Suure panuse on sellega seoses andnud Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium ja KredEx, kelle koostööl valmiva toetuse abil plaanitakse korda teha umbes 20 tüüpprojekti järgi ehitatud kuni viiekorruselise korterelamut Eestis. Tegemist on tehaselise renoveerimisega - hoonetele toodetakse tehases katuse- ja välisseinaelemente, mis sisaldavad juba soojustust, aknaid ja ventilatsioonisüsteemi, mistõttu tuleb ehitusobjektile teha vaid elementidega seotud viimistlus- ja paigaldustööd ning vajadusel majasisesed renoveerimistööd.

Viimastel aastatel on Eestis teostatud mitu liginullenergiahoone tasemele renoveeritud projekti ja ka tehaselise renoveerimise projekte. Esimene eelvalmistatud lisasoojustuselemente kasutanud ja liginullenergiahooneks renoveeritud korterelamu nii Eestis, Baltikumis ja üks esimesi ka Põhjamaades, oli Akadeemia 5a pereühiselamu, mille renoveerimistöödega alustati aastal 2017. Akadeemia 5a hoone puhul oli tegemist 1986. aastal ühiselamuks ehitatud korterelamu konstruktsiooni tüübiga. Vahepealse 30 aasta jooksul ei olnud hoones märkimisväärsed remonttööd tehtud, mistõttu oli see enne renoveerimistööd üsna kehvast olukorras.

Renoveerimisel kasutatud katuse ja välisseinte lisasoojustuselemente toodeti Matek AS-i puitmajatehases. Lisasoojustuselemente kinnitati seinale eelnevalt monteeritud kronsteinidele, betoonfassaadi väliskoorik kinnitati lisaankrutega, aknad ja

fassaadiplaat olid lisasoojustuselementi paigaldatud juba tehases. Lisaks rajati korterelamusse soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteem, kus osa torudest peideti ära lisasoojustuselementidesse.

Selline kirjeldatud poolautomaatne ja tehaselise tootmisega lähenemine renoveerimisele aitaks kiiremini jõuda pikaajalises elamute rekonstrueerimisstrateegias seatud eesmärkideni. Majanduslikust küljest vaadatuna on neil puitpaneelidel ka perspektiivikas ekspordiväärtus, sest pilootprojektis käsitletud hoonetele sarnase tüüplahendusega korterelamuid, mis vajaksid renoveerimist, leidub lisaks Eestile veel mitmetes Euroopa riikides. (Äripäev 2018; Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium 2020a; Pihelo 2018)

3 Meetodid

3.1 Meetodite üldine kirjeldus

Käesoleva töö raames hinnati Kuuma 4 kortermaja renoveerimisel kasutatavate materjalide ning sõlmelahenduste ringmajanduslikkust kooskõlastatud koefitsiendi tabelite, visuaalsete materjalide seisukorra ülevaatuste ning läbitöötatud ehituslahenduste põhjal. Nende meetodite põhjal saadi tulemused, mis aitasid kujundada eeldatavaid tulemusi tulevikus sarnaste hoonete renoveerimisel ja ka lammutusel.

Lühidalt kokkuvõttes lähtuti analüüsi käigus järgnevatest sammudest:

1. Materjalide ning toodete mahu ja massi leidmine.
2. Materjalis sisalduvate emissioonide leidmine. Täpsem kirjeldus on toodud peatükis „Materjali ja toote elutsükli hindamine (LCA)“
3. Materjalide ja toodete korduvkasutusse suunamine. Materjali visuaalne ja tehnilise olukorra hindamine, mis annab infot, kas ja kuidas on võimalik elementi taaskasutada ning millist edasist kasutust võiks element leida.
4. Materjali demontaaži hindamine – kui kergesti on võimalik element tarindist eemaldada ja kui suur on materjalikadu, millega tuleb arvestada. Täpsem kirjeldus on toodud peatükis „Materjalide demontaaži hindamine“
5. Materjali demontaaži tulemuslikkuse hindamine rahalise, energia ning CO₂ kulu põhjal. Täpsem kirjeldus on toodud peatükis „Tarindite ja sõlmede demontaaži hindamine massi, energiasisalduse, CO₂ ning rahalise kulu põhjal“.

3.2 Materjali ja toote mahu ja massi määramine

3.2.1 Üldine lähenemine andmetele

Piloothoonest eemaldatavate materjalide iseloomustamise jaoks võeti renoveerimise käigus eemaldatavatest materjalidest vaatluse alla kõik materjalid. Materjalikoguste vaatluse põhjal anti hinnang elementide tehnilisele ja visuaalsele seisukorrale. Materjalid, mida antud renoveerimise käigus ei eemaldatud, eeldati olevat heas ja tehniliselt toimivas seisukorras ning neid vaadeldi jäätmetena alles hoone lammutuse staadiumi arvutustes ja analüüsil.

Materjalide mahtude leidmisel tugineti eelkõige ehitustegevusel utiliseeritud mahtudele ning jäätmete käitleja andmetele, mille kaudu sai materjalide mahud kõige täpsemini kätte kaalukogustena (tonnides). Samuti vaadeldi materjale renoveerimise käigus

objektil kohapeal ning väiksemate mahtude juures loeti või mõõdeti need töö koostaja poolt üle. Vajadusel kasutati ka mõõdulinti.

Materjalide kogumahtude leidmisel kasutati alusena renoveerimise põhiprojekti ning ehitusplatsi kohapealset vaatlust, võttes arvesse mõõdetud suuruseid ning ehitaja- ja jäätmekäitlejapoolseid sisendandmeid. Materjalide tihedusomadused leiti keskmiste teoreetiliste andmete põhjal infoallikatest, kui täpsemad andmed puudusid.

3.2.2 Materjalide mahu ja massi arvutused ning täpsustused

Lisamaterjali või materjalivarude (lõikamisjätmete jms) kulu ei võetud antud juhul arvesse, sest seda kogust oli raske hinnata ning see sõltub mitmete tööloikude optimeerimistest. Kõik arvutused tehti Exceli programmi abil (Tabel 3. Materjalide mahutabel. Näidis). Materjalide massid leiti tavapärase valemiga, kus arvestati materjali kogust mahuühikus ning materjali tihedust.

Tabel 3. Materjalide mahutabel. Näidis

Materjal	Seisukord	Kogus	Ühik	Tihedus, kg/m ³	Kaal, kg
XXX	Nt. Utiliseerida	100	m ³	XXX	kogus*tihedus

Mahtude arvestamise juures on tehtud mõned erandid materjalidele, mille mahtusid ei ole võimalik üheselt ja täpselt mõõta ning mille kohta tuleb seega anda hinnanguline maht, et ka nende kohta andmed kirja saada ja saaks võrrelda algset ning renoveeritavat olukorda. Nendeks osadeks on:

- Elektri kaablid, mille arvutustes on eeldatud, et iga korteri kohta on kasutatud 100 j m kaableid;
- Küttetorustik, mille mahuks arvestatakse iga korteri kohta 20 m torustikku;
- Ventilatsioonitorustik, mille mahuks arvestatakse iga korruse kohta 100 m torustikku.

Tulevikus renoveerimiste käigus hoonelt eemaldatavate materjalide mahtude hinnang antakse järgmiste meetodite ja statistika näol:

- Sama seeria (113-EKE-11) korterelamute puhul eeldatakse, et hoone ehitusel kasutatud materjalid ja ehituslahendused on samad;
- Renoveerimisjärgsete tulevikumahtude hindamisel tehakse eeldus, et tehaselise renoveerimise puhul on sõlmelahendused ja materjalide kasutus võimalikult optimaalsed ning lahendatud käesolevas töös esitatud nõuannete järgi;

- Mahtude hindamiseks arvestatakse majandusnäitajaid ja eeldatavat ehitusvaldkonna suunda;
- Mahtude hindamiseks arvestatakse sarnast tüüpi hoonete kogumahtusid, mis on antud Statistikaameti andmebaasides.

3.3 Materjali ja toote elutsükli hindamine (LCA)

3.3.1 LCA üldine kirjeldus

LCA (ing.k *Life cycle analysis*) ehk elutsükli arvutus on vahend, kus energia, kasutatud materjalid ja tootmise või kasutuse tagajärjel keskkonda paisatavad jääk- või saasteained on koguseliselt määratud materjali kogu ideaaliseeritud eluea kohta. (Hammond et al. 2011; ISO 14044:2006)

Käesolev töö põhineb ringmajandamise põhimõtetel, mis keskenduvad strateegiatele ja väärtuse loomisele kui ringmajanduse täiustamise juhtpõhimõtetele, millest on välja kujunenud neli olulisemat faktorit (Hammond et al. 2011; MiHo OÜ 2019):

- Toote soovitud funktsionaalsuse ja eluea saavutamiseks peab toode sisaldama minimaalset võimalikku materjalikogust, vältides sellega üleliigset tarbimist, andes samaaegselt tehnoloogiliselt maksimaalse tulemuse;
- Toode peab olema eraldi osana paigaldatav ja lahtivõetav, suurendades seeläbi selle korduvkasutatavust ja kohaldumist;
- Toode peab olema puhas ehk valmistatud võimalikult vähestest materjalidest (ideaalis ühest materjalist), välja arvatud juhul, kui materjal on juba taaskasutuses;
- Toode ei tohi sisaldada toksilisi aineid. (Hammond et al. 2011)

Olulisteks printsiipideks materjalide kasutuse puhul on:

- Analüüsida materjali CO₂-jalajälge võimalikult varajases projekti staadiumis, et tuvastada tegurid, mille optimeerimine annab maksimaalselt hea tulemuse;
- Maksimaalne energiatõhusus pinnaühiku kohta optimeerib CO₂-jalajälje teket hoone kasutusperioodil;
- Kehastunud süsiniku (e. *embodied carbon*) optimeerimisel kehtib üldjuhul reegel - mida kergem hoone, seda madalam süsinikujälg;
- Kuna betoonkonstruktsioonide süsinikujalajalg on tavaliselt suurim, tuleks optimeerida materjali kogust ning valida betoon ja sarrus, mille tootmisel tekkivad mõjud on võimalikult madalad. Näiteks, võimalusel valida tsement,

milles on kasutatud klinkri asemel alternatiivseid aineid, valida sarrus, mille tootmisel on kasutatud 100 % taaskasutatud terast;

- Maksimeerida taaskasutatud ja taastuvatest ressurssidest toodetud materjalide kasutust;
- Valida materjalid/tooted mida on võimalik vähese energiakuluga ümber töödelda;
- Disainida hoone selliselt, et materjale/tooteid on võimalik lihtsa vaevaga demonteerida, kergesti parandada ning uuesti kasutada (ingl. k. väljend *Design for Disassembly*);
- Disainida hoone selliselt, et selle kasutuseesmärki on võimalik tulevikus vajadusel muuta. (Life-cycle assessment for green building experts 2021)

Käesolevas töös käsitletakse juba etteantud materjale ning seetõttu pole võimalik kõigi kirjeldatud punktide nõuandeid järgida. Küll aga saab neid arvesse võtta soovitude tegemisel ning võimalike alternatiivsete materjalide leidmisel.

3.3.2 LCA väärtuste leidmine

Abistavad arvulised näitajad materjalide kohta saab siinkohal LCA väärtustega tabelitest, mis on toodud BSRIA poolt väljatöötatud juhismaterjalis süsiniku ning energiasalduse kohta (Hammond et al. 2011)

Antud magistritöös arvestatakse olemasoleva olukorra hindamise puhul hoones kasutuses olnud materjalide CO₂ ja energiakulu nende võimalike maksimaalsete ressursikuludega. Seetõttu leitakse materjalide hindamise tabelitest kõige ebasoodsamad näitajad. Põhjus seisneb selles, et puudub täpsem info vaatluse all oleva hoone ehitusaegsete ehitusmaterjalide päritolust ning võib eeldada, et antud hoone ehitusel (või hilisemal renoveerimisel) ei kasutatud bioenergiat põhinevaid või taaskasutatud materjale ja elemente, mis tooksid CO₂ ja energiakulud madalamale tasemele.

Materjalide süsinikujalajälje leidmisel arvestatakse selle „Cradle-to-gate“ väärtust ehk põhilisi etappe materjali kasutusest tulenevale süsinikueraldusele, sisaldades kaevandamist, toorainete ettevalmistust, transporti ning materjali enda tootmisprotsesse ja kokkupanekut. Need väärtused ei arvesta materjali objektile toomise transpordist tulenevaid saasteaineid, mis sõltuvad objekti ja tehase asupaigast ning transpordiviisist ning mida on keerulisem määrata.

- Puitelementide puhul on arvesse võetud, et nende tootmine ei ole olnud CO₂ neutraalne, mistõttu summeeritakse ICE tabelis antud kaks väärtust (*fos+bio*).

- Betoonelementide puhul arvestatakse betooni klassi ning sarruse hulgaga. Need võetakse hinnanguliselt, kui täpsemad andmed puuduvad ehk olenevalt betooni kasutuskohast eeldatakse seal olevat tavapäraselt kasutatav betooniklass. Samuti eeldus, et betoonkonstruktsioonid sisaldavad ka vajalikku armeeringut. Vastavalt leitakse betooniklassi järgi sarrust sisaldava betooni emissioonide hulk.
- Soojustusmaterjalide puhul eeldatakse, et materjalid on valmistatud uuest toormaterjalist ja mitte taaskasutatud materjalist.
- Avatäidete puhul vaadeldakse eraldi raami materjali ning klaasosa.
- Päikesepaneelide materjalide juures arvestatakse nii nende metallraamide kui ka paneeli enda fotogalvaaniliste osade mahtu ja kulusid (arvestatud on monokristallilisi paneele, mis on Eesti kliimasse kõige sobivamad).

3.3.3 Materjali energia- ja CO₂ sisalduse leidmine

Süsinikdioksiid (CO₂) moodustab kõigist kasvuhoonegaasidest peaaegu 90 %, mistõttu on see põhiline emissioonide näitaja. Süsinikdioksiidi ekvivalentväärtust (CO₂e) kasutatakse juhul, kui on teada, et materjali tootmisprotsessi käigus tekib ka märkimisväärsel määral muid kasvuhoonegaase ning nende emiteeruv kogus on teada. Selliste gaaside mõju kliimasoojenemisele võib olla CO₂ näitajatega võrreldes erinev ja seetõttu korrutatakse neid kaaluteguriga, et muuta nende mõju võrdväärseks CO₂-ga. Seejärel antud gaasikogused liidetakse ning saadakse CO₂e väärtus. (Link 2015)

Materjalis või tootes sisalduvat süsinikku väljendatakse tavaliselt materjali kilogrammi kohta ning seda saab mõõta erinevas staadiumis. Töös esitatud CO₂ sisalduse väärtused on antud materjali tootmise algusest kuni valmis materjalini ehk arvestatud on tootmisprotsesse (ing.k *Cradle-to-gate* väärtustena).

Materjalis sisalduvat energiat määratletakse antud töö raames kui primaarenergia kogutarbimist, mis on seotud toote valmistamisega. See hõlmab tegevuste energiat mida kasutatakse tooraine kaevandamiseks ja töötlemiseks, ehitusmaterjalide tootmiseks, transpordiks ja jaotamiseks ning elementide kokkupanekuks ja ehitamiseks. Kehastunud energiat materjalis väljendatakse ühikus MJ/kg kohta. (Hammond et al. 2011)

Materjalide energiasisalduse ja süsihappegaasi sisalduse leidmiseks kasutatakse antud töös BSRIA poolt koostatud ICE (The inventory of carbon and energy – *tõlk.* Süsiniku- ja energiasisalduse kogumik) tabeleid. Tabelites esitatud tegurid ja koefitsiendid on välja töötatud katsetel põhinevate meetoditega. Emissioonitegurid antakse materjali massiühiku kohta.

Mõned näited korterelamu vundamendi ja keldriosa materjalidest ning nende süsinikusisalduse koefitsientidest on toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 4), kusjuures valge taustaga lahtrites on toodud juba olemasolevad ning sinistes lahtrites renoveerimisel lisatavad materjalid.

Tabel 4. Kuuma 4 hoone materjalide emissioonitegurid. Vundament, kelder

Materjali kirjeldus	Kehastunud energia, [MJ/kg]	Kehastunud CO ₂ , [kgCO ₂ /kg]	Allikas
Betoon	0,70	0,10	Concrete (16/20)
Liivapadi	0,08	0,0048	Sand. General
Killustiktäide	0,08	0,0048	Aggregate. General
Raudbetoonplokid 400 mm, $\lambda < 1,56$	1,81	0,1522	Concrete blocks - 10 MPa (and reinforcement)
Hüdroisolatsioon (bituumenvõõp)	51,00	0,40	Bitumen. General
EPS 200 150+100 mm ($\lambda < 0,037$)	88,60	2,55	Plastics. Expanded polystyrene
Tsementkiudplaat (Kivex), 10 mm	15,30	1,28	Cement. Fibre cement panels (colored) coated

Näide korterelamu välisseinatarindist ning sellele lisatavate puitpaneelide emissiooniteguritest on toodud järgnevalt (Tabel 5).

Tabel 5. Kuuma 4 hoone materjalide emissioonitegurid. Välissein

Materjali kirjeldus	Kehastunud energia, [MJ/kg]	Kehastunud CO ₂ , [kgCO ₂ /kg]	Allikas
Kandvad silikaltsiitplokid 300 mm ($\lambda < 1,56$)	3,50	0,28	Autoclaved aerated blocks (AAC)
Sisemine kipsikiht 20 mm	6,75	0,38	Plaster. Plasterboard
Siseviimistlus (värv, tapeet)	70,00	2,42	Paint. General
Klaasvill 50 mm (puhverisolatsioon)	28,00	1,35	Insulation. Fibreglass (glasswool)
Aurutõkkemembraan (Proclima Intello)	95,40	4,98	Polypropylene
Puitkarkass C24, 45x145 ($\lambda < 0,013$)	7,40	0,20	Sawn softwood
Kivivill $\rho = 28$ kg/m ³ 100+50 mm ($\lambda < 0,035$)	16,80	1,12	Rockwool
Roovid 45x45 mm ($\lambda < 0,013$)	7,40	0,20	Sawn softwood
Kivivill $\rho = 28$ kg/m ³ 45 mm ($\lambda < 0,035$)	16,80	1,12	Rockwool
Tuuletõkkeplaat (tsemendibaasil) (Paroc WAB 10T 13 mm, $\lambda < 0,036^*$ / Cembrit) + teip (Wigluv)	15,30	1,28	Cement. Fiber cement panels (colored) coated
Fassaadiplaat Stonerex 8 mm (kiudtsementplaat)	15,30	1,28	Cement. Fiber cement panels (colored) coated
Roovid 28x90 mm	7,40	0,20	Timber. Sawn softwood
Vertikaalne puit fassaadil Cladding UYSK 21x145 mm	7,40	0,20	Timber. Sawn softwood

Kogu materjalimahus sisalduv energia ning CO₂ leitakse korrutustehte abil, kus materjali mass (kg) on läbi korrutatud energia või CO₂ sisalduse teguriga. (Hammond et al. 2011).

$$E_{,n} = M \times Et_{,n}, (3.1)$$

$E_{,n}$ – vastav koguemissioon materjali kohta

M – materjalikogus, k

$Et_{,n}$ – vastav emissioonitegur, kas $Et_{,e}$ ehk kehastunud energia (MJ/kg) või $Et_{,s}$ ehk kehastunud süsiniku kohta (kgCO₂/kg)

Valem 3.1. Emissiooni leidmine materjali kohta

ICE tabelitest saadud andmed lisatakse töö lisas olevasse materjalide mahtude tabelisse (*Lisa 1. Kuuma 4 hoone materjalid*) ning saadud näitajate abil arvutatakse välja näidiseks olevalt korterelamult pärineva konkreetse materjalihulga süsinikujalajärg.

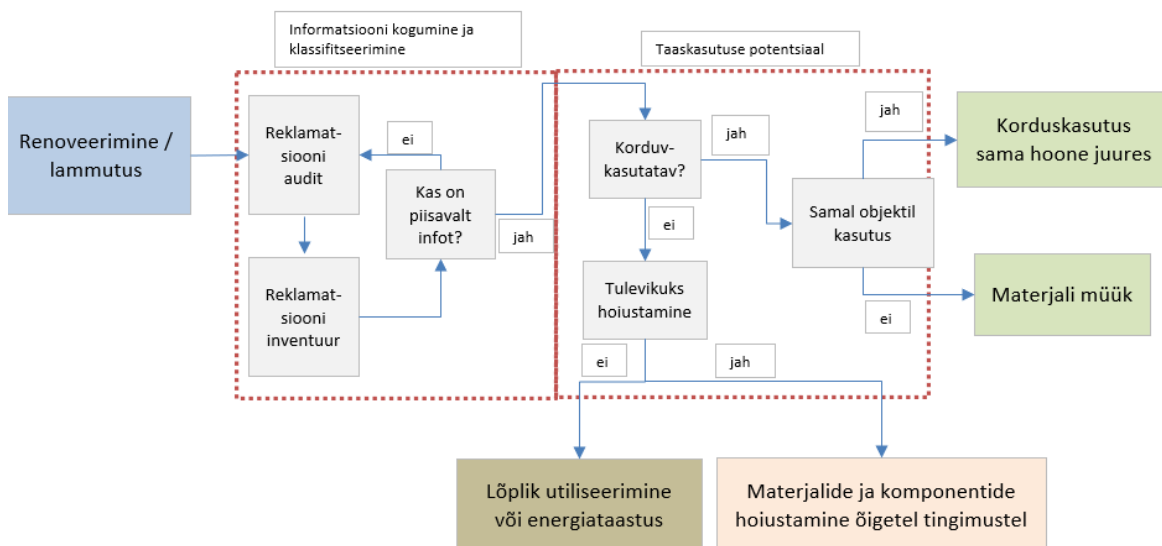
Arvutustulemuste põhjal saab teha järeldused sarnaste hoonete ehitustegevuse puhul nii kasutatud materjalide kui ka renoveerimisel lisatavate materjalide ringmajanduslikkusele juhul, kui renoveerimislahendusena kasutatakse sarnaseid võtteid. Hoone materjalide süsiniku- ja energiasisalduse tabelid koostatakse kolme olukorra jaoks:

- algne olukord (enne renoveerimist);
- renoveerimisjärgne olukord (renoveerimislahendused);
- lammutusjärgne olukord (pärast hoone tehaselist renoveerimist, kui hoone lõpuks lammutatakse).

3.4 Materjali taaskasutusse suunamine

3.4.1 Ringmajanduslikkuse suuna valimine

Järgneval skeemil (Joonis 3-1) on kujutatud materjalide hindamise puhul tekkivad küsimused ning komponentide, toodete ja materjalide võimalikud suunad hoone renoveerimise või lammutamise käigus, mida antud töös rakendatakse. (Cottafava, Ritzen, van Oorschot 2020)



Joonis 3-1. Materjali taaskasutuspotentsiaali määramine (Cottafava et al., 2020)

Esmaselt tuleb materjalide hindamisel lähtuda vähemalt järgnevatest teguritest:

- Materjal tuleb klassifitseerida teatud jäätmeklassi (tavaline, ohtlik, muu jääde);
- Materjali maht (möödetud t, m³ või muus ühikus).

Lisainformatsioonina tuleb käsitleda materjali kvaliteeti, materjali taaskasutusvõimalusi, materjalimahu paiknemist, kättesaadavust ja tasuvust.

Juhul kui materjali puhul pole tegemist jäätmega, siis tuleks kindlasti analüüsida selle taaskasutusvõimalusi. Materjalide korduvkasutuse potentsiaali puhul hinnatakse erinevaid olukordi ja võimalusi:

- Uued materjalid, mida renoveeritavale objektile tuuakse;
- Renoveeritava hoone materjalide ja toodete uuesti kasutamine samas hoones;
- Renoveeritava hoone materjalide ja toodete kasutamine mõnes teises hoones;
- Materjalide ja toodete ümbertöötlemine;
- Ladustamine prügimäele.

3.4.2 Materjali olulised omadused selle taaskasutuseks

Kõige lihtsamaks viisiks tagada materjali ringmajanduslikkus, on võimaldada materjali taaskasutus oma algsel kujul ning algses mahus. Sellisel juhul ei teki jäätmeid ega lisamaterjali uuesti tootmise vajadust. Taaskasutamise puhul on vajalik eelnevalt uurida materjali omadusi, et see täidaks vajalikul määral oma ülesannet tarindis, kas konstruktsiooni-, isolatsiooni-, viimistuse- või muu materjalina. Vastasel juhul ei oleks materjali kasutus põhjendatud.

Konkreetse elemendi taaskasutuse võimalikkuse määramine on olenevalt selle kasutuseesmärgist võrdlemisi keeruline ning materjali omaduste uurimisel tuleb arvestada mitmete teguritega. Antud töö raames arvestati järgnevaid omadusi, mida hinnati vaatluse käigus:

- Füüsikalised omadused;
- Esteetika, visuaalne olukord;
- Modullaarsus – seotud tehaselise tootmisega, ringmajanduslikult oluline;
- Erinevad ohutusfaktorid.

Materjalis sisalduv energia on oluline materjali tootmise, taaskasutuse ja käitlemise seisukohalt. Konkreetse materjali kasutuse tulemuslikkuse, keskkonnanahoidlikkuse analüüs ning võrdlus alternatiivsete lahendustega annavad selge pildi antud materjali tähtsusest ringmajanduslikkuse mõistes. Näiteks on suurema energiasisaldusega materjali oleks targem uuesti kasutada kui uuesti toota. Samas võib leida elemente, mille kulu demontaažile, hooldusele, transpordile, tööjõule ja muudele ressurssidele oleks kordades suurem, kui seda kuluks lihtsalt uue materjali tootmise peale. (Designing Buildings Ltd. 2011; Ehitusseadustik 2021)

3.5 Materjalide demontaaži hindamine

3.5.1 Üldine lähenemine hinnangu andmisele

Materjalide ringmajanduslikkuse näitamise puhul hinnatakse käesoleva töö käigus:

- ühendusviisi teiste elementidega;
- materjalide ja elementide omavahelisi ristumisi tarindites;
- materjali seisukorda (esteetilisus, tehniline toimivus);
- uue materjali hinda;
- logistikat, transpordikuludid jm.

Käesolevas töös analüüsiti korterelamu renoveerimisel projekteeritud ning täideviidud lahenduste sõlmi, sest just seal läheb enamasti palju materjali raisku. Valituks osutusid enim võimalikke murekohti tekitavad sõlmed, seega vaadeldi ja kirjeldati lähemalt kolme olulist ehitussõlme lahendust, mis on vajalikud hoone terviklikkuse juures ning mis vajavad võrreldes muude elamu osadega tihedamat hooldust, kiiremat väljavahetust või parandamist.

Nende kolme lahenduse jaoks esitati sõlme demonteerimise analüüsid, mille juures näidati vajalikud sammud ning leiti materjalide võimalikud säästmislahendused.

3.5.2 Kirjeldava koefitsiendi tähendus

Materjalide ning elementide omavaheliste ühenduste ja kättesaadavuse hindamiseks võeti käesolevas töös aluseks DRIVE 0 pilootprojektide raames kasutusel olevad tabelid, mis on võrdlemisi lihtsasti käsitletavad ning annavad tulemused koefitsientide abil. See meetod põhineb peamiselt neljal teguril: ühenduse tüüp, juurdepääsetavus, elementide integratsioon ja geomeetria.

Elemendi koefitsient võib olla vahemikus 0,1–1,0, kusjuures 0,1 annab eemaldatavuse madalaima hinde ja 1,0 kõrgeima. Seega, mida suurem on koefitsient mõne näitaja juures, seda parem on materjal ringmajanduslikkuse mõistes, sest seda lihtsam on antud elementi demonteerida, vahetada ja mujal uuesti kasutada. Saadud tegurite aritmeetiline keskmine väärtus määrab kõnealuse elemendi eemaldatavuse. Kõikide hoones kasutatavate elementide kaalutud keskmised väärtused kokku moodustavad aga hoone kui terviku demontaaži indeksi.

Antud töös käsitletakse antud koefitsiente kui vaadeldava materjali mahu tervelt kätte saadud protsendilist kogust.

Näitena: Materjali hinnangu 0,25 puhul oleks materjalimahust taaskasutatav 25 % ning raisku läheks $1-0,25=0,75$ (%) materjalist. Eraldatavuse indikaatorite numbrid kuvatakse värvidena ning näidatakse värvilisena ka joonisel. Analüüsis käsitletakse nii materjali (sealjuures ka hoone) eluea lõppolukorda kui ka põhiliste hooldustööde käigus tekkivaid materjalijääke. Analüüs viiakse läbi demontaaži järjekordade ja võimalike kinnitusvahendite „läbimängimise“ põhjal.

3.5.3 Abistavad tabelid

Erinevate tulemite võrdluseks ja ehituslahendusele hinnangu andmiseks kasutati alljärgnevalt toodud tabelleid, kus on välja toodud materjalide omadused koos kirjeldatud teguritega.

Järgnevas tabelis (Tabel 6. Ringmajanduslikud tegurid. Üldised näitajad (Cottafava, D., Ritzen, M., & van Oorschot, J. 2020)) on toodud materjali iseloomustamise tegurid, mis võetakse arvesse hoone ringmajanduslike näitajate leidmisel.

Tabel 6. Ringmajanduslikud tegurid. Üldised näitajad (Cottafava, D., Ritzen, M., & van Oorschot, J. 2020)

Üldised näitajad materjali juures		Ühik
1.	Eeldatav materjali eluiga	Aastates
2.	Materjalide mass	kg/m ² (põrandapind)
3.	Materjalides kehtastunud energia	MJ/m ² (põrandapind)
4.	Materjalides kehtastunud CO ₂	kg/m ² (kasulik põrandapind)
5.	Materjalide jaotus uue, kasutatud ja ümbertöödeldud vahel	%-des (kg, kehtastunud energia, kehtastunud CO ₂)

Siinkohal ei toodud töös materjalide eeldatavat eluiga eraldi spetsiifiliselt välja, vaid seda arvestati renoveerimisvajaduse kasvamise juures, võttes arvesse materjali funktsiooni ja asupaika ning tuginedes eelnevalt välja toodud Skeem 2. Hooneosade renoveerimise vajadus (Brand 1994).

Tabel 7 kirjeldab materjalide ning elementide omavahelisi ühendusviise. Tulenevalt demonteerimise lihtsusest ja materjalikulust on erinevad võimalikud variandid jaotatud viite gruppi: kuiv ühendus, lisatud elementidega ühendus, läbiv ühendus, nõrk keemiline ühendus ja tugev keemiline ühendus.

Tabel 7. Ringmajanduslikud tegurid. Kinnitused ja ühendused (Cottafava, D., Ritzen, M., & van Oorschot, J. 2020)

Ühendusviis		Koefitsient
Kuiv ühendus	Tappühendus	1,0
	Klõpsuga ühendus (<i>click</i>)	
	Magnetühendus	
	Takjapael-ühendus	
Ühendus lisatud elementidega	Nurgikuga ühendus	0,8
	Kruviühendus	
	Poldi ja mutriga ühendus	
Läbiv ühendus	Neetühendus	0,6
	Naelühendus	
Nõrgem keemiline ühend	Montaaživahuga ühendus (PUR)	0,2
Tugev keemiline ühend	Liimühendus	0,1
	Keevisühendus	
	Jootebetooniga tehtud ühendus	
	Keemiliste ankrutega ühendus	
	Tõrvamine, pigitamine	
	Muu keemiline ühendus	

Tabelist nähtuvalt on kõige halvema ringmajandusliku näitajaga ehk kõige väiksema koefitsiendiga keemilised ühendused. Põhjus seisneb selles, et need liited on väga tugevad ja püsivad ning nende ühenduste lammutamisel peab mingil määral lõhkuma ka materjali ennast, mistõttu on antud ühenduste puhul materjalikulu suur ning samuti mõjutab see märgatavalt ka materjali taaskasutamise võimalusi. Kõige lihtsam on kasutada kuivade ühenduste alla kuuluvaid variante, sest need ei eelda muude materjalide olemasolu ning demonteerimise käigus on võimalik element vigastamata eemaldada.

Järgnevalt kirjeldab Tabel 8 elemendile juurdepääsetavust ehk kui lihtne on töölisel vajaliku materjalini või elemendini jõuda ilma teisi materjale kahjustamata. Näitena saaks siinkohal tuua ventilatsioonisüsteemi tuletõkkeklapid, mis on paigutatud ligipääsmatusse kohta ja nende hooldus nõuaks näiteks lae lõhkumist.

Tabel 8. Ringmajanduslikud tegurid. Elemendi kättesaadavus (Cottafava, D., Ritzen, M., & van Oorschot, J. 2020)

Ligipääsetavus ühendusele	Koefitsient
Vabalt ligipääsetav	1,0
Ligipääsetav koos lisategevustega, mis ei põhjusta kahjustusi	0,8
Ligipääsetav koos lisategevustega, mis põhjustavad parandatavaid kahjustusi	0,4
Ligipääs puudub – parandamatu kahju elementidele	0,1

Tabel 9 annab ülevaate sellest, kui lihtne on vajaliku materjalini või elemendini jõuda ilma teisi materjale kahjustamata ehk kas üks element on integreeritud (näiteks põrandaküte betoonpõranda sees, mis eeldaks põranda lõhkumist) või on tehnosüsteemid või elemendid loogiliselt ja mugavalt eraldi tsoneeritud.

Tabel 9. Ringmajanduslikud tegurid. Elementide ristumised (Cottafava, D., Ritzen, M., & van Oorschot, J. 2020)

Ristumised	Koefitsient
Moodulid on eraldi tsoneeritud ja ristumised puuduvad	1,0
Ristumised ühe või rohkemate elementide vahel	0,4
Täielik elementide integratsioon	0,1

Ristumiste puhul võetakse arvesse seda, kui keeruline on üht elementi teisest sõltuvalt demonteerida. Heaks näiteks siinkohal oleks põrandaküttetorustik, mis valatakse betoonpõrandasse – küttesüsteemi kättesaamiseks tuleks betoonplaat lõhkuda.

3.5.4 Materjalide koosmõju arvestamine

Kogu sõlme või tarindi ringmajanduslikkuse hindamise näitajaks kasutatakse antud töös kaht viisi. Esiteks võetakse kõigi kasutatud materjalide saadud koefitsientide aritmeetiline keskmine ehk tehakse järgnev arvutuskäik:

$$\frac{A,1 + A,2 + \dots + A,n}{\text{materjalide arv}} \quad (3.2)$$

kus A – materjali koefitsient (vahemikus 0 kuni 1,0)

Valem 3.2. Sõlme ringmajanduslikkuse koefitsiendi leidmine. Aritmeetiline keskmine

Lisaks kasutatakse töö käigus ühe näitajana kaalutud aritmeetilise keskmise väärtuse arvutust, millega ning arvestatakse juurde materjali sääst ja CO₂ sääst ehk kui suur osa jääb uuesti tootmata. Sellisel juhul on näha teoreetiliselt võimalik taaskasutatav osa kasutatud materjalidest ja nendes sisalduvast CO₂-st. Selle jaoks tehakse järgnev arvutuskäik:

$$\frac{CO_{2,1} \times A,1 + CO_{2,2} \times A,2 \dots + CO_{2,n} \times A,n}{\text{kogu CO}_2}, \quad (3.3)$$

kus A – materjali koefitsient (vahemikus 0 kuni 1,0)

Valem 3.3. Sõlme ringmajanduslikkuse koefitsiendi leidmine. Kaalutud aritmeetiline keskmine

3.6 Tarindite ja sõlmede demontaaži hindamine massi, energiasisalduse, CO₂ ning rahalise kulu põhjal

3.6.1 Kokkuhoid demontaažil

Konkreetse materjali või elemendi kättesaamise tulemuslikkuse ja tegevuse kasuteguri analüüs arvestab sellega, et osa seda elementi katvatest materjalidest tuleb demontaaži käigus utiliseerida. Sõlmes olevate üksikute materjalide rahaline väärtus, mass, sisalduv energia ja materjali valmistamisele kulunud CO₂ emissioonid annavad kokkuvõttes ülevaate sellest, milliseid materjale on kõige olulisem tervelt kätte saada. Materjalide teoreetilisele kokkuhoiule hinnangu andmise jaoks koostatakse arvutused ning näidatakse iga materjali kohta, näitena on toodud Tabel 10.

Tabel 10. Demontaaži korral säästetud energia, CO₂ ja rahaline kokkuhoid

Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst võrreldes uue materjali tootmisega	Sisalduv energia	Sisalduv CO ₂	Materjali kulu, €
327.15	14139.85	187795	15711	363.5
€/m ³	kgCO ₂ /kg	[MJ/kg]	[kgCO ₂ /kg]	€

Tabelis on leitud teoreetiline võimalik CO₂ emissioonide ning rahaline sääst juhul, kui materjal või element suudetakse ettenähtud meetoditel demonteerida. Seejuures võetakse arvesse ka eelnevate materjalikihtide kadu ning uue materjali tootmiseks kuluvat CO₂ kogust. Arvutustel kasutatakse valemit 3.4.

$$A,1 * CO_{2,1} - (1 - A,2) * CO_{2,2} - \dots - (1 - A,n) * CO_{2,n}, \quad (3.4)$$

kus A - materjali koefitsient (vahemikus 0 kuni 1,0)

Valem 3.4. Materjali demontaažil võimaliku emissioonide kokkuhoiu leidmine

Valemis kasutatavad materjalide näitajad A,2 kuni A,n on materjalid, mis katavad materjali A,1 ning millised on tarvis eemaldada, et vaadeldava materjalini A,1 jõuda.

Negatiivse või nullilähedase väärtuse puhul on tegemist olukorraga, mis ei ole tasuv ehk vaadeldava materjali ideaalselt kätte saamine ei too nii palju säästu kui oleks majanduslikult või keskkonna säästmise mõistes kasulik. Samas ei ole väikese jalajäljega materjali uuesti tootmine nii keskkonnakahjulik. CO₂ puhul peetakse siinkohal nullilähedaseks väärtuseks vahemikku 0...1000 (kgCO₂/kg). Rahalise väärtuse puhul on andmed esitatud eurodes ning nullilähedase väärtuse vahemik jääb piiridesse 0...100 (eurot/m³) materjali kohta.

Juhul, kui elemendi eemaldamise kohta ei teki positiivset tulemit, siis on tarvis materjali ühendusviisi tarindis parandada, selle süsinikujalajälge vähendada või arvestada, et antud materjali demonteerimisel (ja uuesti kasutamisel) ei saavutata märkimisväärset rahalist ega keskkondlikku säästu.

3.6.2 Materjali taaskasutusprotsessi hindamine energia- ja CO₂ kulu põhjal

Materjali taastamise kulusid arvestatakse samuti mahu ja/või kaalu põhjal ning arvutatakse teatud koefitsiendiga, millega arvestatakse kulusid materjali ümbertöötlemiseks, taaskasutamiseks jne.

Kasutatud materjalide taas ringlusesse saatmise hindamisel lähtutakse eelkõige just nendest materjalidest, mille mahud antud hoone juures on märkimisväärsed ning missuguste materjalide CO₂ jalajälg on suurim, sest just need materjalid on ringmajanduslikkuse mõistes kõige olulisemad. Töös tuuakse välja materjalide mahud, nende CO₂ jalajälg, energiakulu ning ka uueväärse materjali maksumus, et kujundada arusaama väärtuslikest materjalidest keskkonnasäästlikkuse huvides.

Uue materjali tootmine nullist on juba eeldatavalt energia- ja ressursikulukam kui vana materjali taas ringlusesse suunamine. Tabel 11 näitlikustab erinevate võimaluste puhul rakenduvaid ligikaudseid koefitsiente energiakulule. Mida väiksem koefitsient, seda vähem energiat kulub materjaliga seonduvatele tegevustele, näiteks kõige väiksem kulu - ainult transpordile ja tööjõule kuluv ressurss - on materjali oma algses olekus uuesti kasutamisel.

Tabel 11. Materjalide ringlusesse suunamise võimalused. Koefitsiendid

Utiliseerimine	Ümbertöötlus	Renoveerimine	Taaskasutus (mujal objektil)	Taaskasutus (samal objektil)
1.2	0.5	0.3	0.2	0.05
Protsess vajab suures mahus energiat	Protsess vajab energiat	Lisamaterjali(de) vajadus	Transpordi- vajadus	Minimaalne ressursivajadus.

3.7 Tehaselise puitpaneeli demontaaži katse

Olles leidnud materjalide teoreetilise ringmajanduslikkuse teguri, saab uurida ka realselt ehitussõlmedes kasutatavate konkreetsete materjalide taaskasutusvõimalusi. Tarindi- ja sõlmelahenduste analüüsi ühe osana jälgitakse tehases läbiviidavat seinapaneeli materjalide demontaaži ehk kinnitusvahendite eemaldamist ja elementide ja materjalide järjestikust lahti võtmist. Materjalide demontaažil tuleb tähelepanu pöörata töövõtetele ja -vahenditele, materjalide eemaldamise järjekorrale ning ka edasisele ladustamisele, transpordile ja muule, et toote maksimaalne võimalik seisukord ning maht säiliks.

Välitööde analüüsi käigus tuuakse välja:

- Elemendi demontaažiks kulunud aeg;
- Materjalide kogused:
 - Koheselt uuesti kasutatav;
 - Sobilik ümbertöötlemiseks;
 - Kasutamatu ehk prügi;
- Materjali kvaliteedi kirjeldus (toote mõõtude ja vormi säilimine).

Katseline osa viiakse läbi ühe kasutusel olnud seinapaneeliga, mis on koostatud samade põhimõtete järgi nagu ka hiljem realselt renoveerimisel paigaldatud paneelid. Nimelt oli tegemist aastatel 2020-2021 katsetuste ja mõõtetulemuste saamiseks, Kuuma 4 korterelamu seinas olnud samasuguse testpaneeliga (vt Pilt 1).



Pilt 1. Kuuma 4 testseinapaneel (Drive 0 2021)

3.8 Piloobjekti Kuuma tn 4 kirjeldus

Käesolevas töös on vaatluse all aadressil Kuuma tn 4, Saue (Pilt 2) asuv kortermaja, mis on ehitatud aastal 1986 hoone tüüpseeria 113-EKE-11 järgi.



Pilt 2. Kuuma 4 korterelamu asukoht

Kuuma 4 puhul on tegemist kolmekorruselise täiskeldri ja viilkatusega kortermajaga ning hoonel on kokku neli trepikoda, millest pääseb nii maja ette kui ka maja taga asuvasse sisehoovi. Majas on 24 korterit ning kõiki kasutatakse elamispindadena. Hoone tänavapoolsel küljel paiknevad rõdud. Korterialamu kuulub tulepüsivusklassi TP1 ja selle projekteeritud kasutusiga on 50 aastat.

Hoone tehnilised andmed:

- EHR kood: 116021554

- Ehitisealune pind: 762 m²
- Suletud netopind: 2415,3 m²
- Maht: 7944 m³
- Üldkasutatav pind: 858,9 m²
- Eluruumide pind: 1556,4 m²



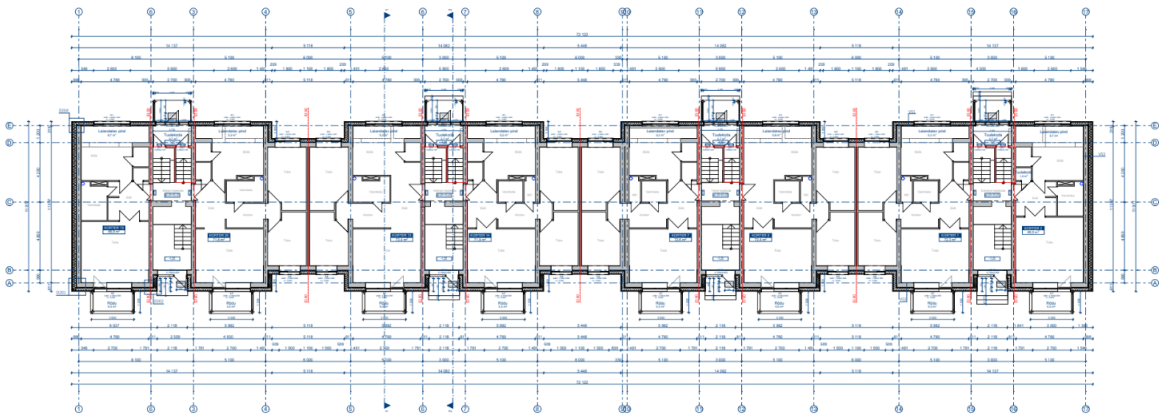
Pilt 3. Kuuma 4 korterelamu, tänavapoolne vaade (Kullerkupp 2021)



Pilt 4. Kuuma 4 korterelamu, hoovipoolne vaade. (Timbeco 2021)

Vaadeldaval kortermajal on lintvundament, mis on rajatud monteeritavatest 400 mm laiustest raudbetoonplokkidest. Hoone seinad on 300 mm laiustest silikaltsiitplokkidest. Vahelagedeks on 220 mm paksused monteeritavad betoonõõnespaneelid. Katuse kandekonstruktsiooniks on puitsarikad, katusekatteks plekkkatvus. Pinnasega kokkupuutuvad keldri välisseinad on kaetud bituumenvõõbaga. Hoone põikjäikuse tagavad trepikoja seinad, otsa- ja vaheseinad. (MiHo OÜ 2019)

Kuuma 4 hoone korrused on analoogsed. Joonis 3-2 kirjeldab näitliku skeemina antud korterelamu esimese korruse plaani.



Joonis 3-2. Kuuma 4 esimese korruse plaan (MiHo OÜ 2019)

3.8.1 Hoones esinenud probleemide kirjeldus

Korterelamu on mõningasel määral renoveeritud aastal 2001. Toonased ehitustööd sisaldasid esialgse eterniitkatuse väljavahetust trapetsprofiiliga plekk-katuse vastu, trepikodade tuulekodade kinni ehitust, sealset esteetilist remonti ning elektrijuhtmestiku vahetust. Keldriaknad ning mõnede korterite aknad on vahetatud pakettakende vastu. Lisaks on mõned korteriomanikud muutnud oma rõdude lahendusi ning puurinud välisseina lisaventilatsiooniavasid.

Vaatamata juba tehtud renoveerimistöödele on korterelamus siiski mitmeid probleeme ja puudujääke. Probleemsed kohad puudutavad nii hoone konstruktsioone, tehnovõrkude lahendusi kui ka hoone välisilmet.

Esiteks, hoonet ümbritsev sillutisriba on ära vajunud ning ei täida oma eesmärki, et vesi hoonest eemale juhtida, mistõttu on soklil olnud suur niiskuskooormus, mis soodustab materjalide lagunemist. Maja seinte välisviimistluseks olev krohv on kohati mõranenud ning seina küljest lahti pudenenud. Hoone seintes on kohati pragusid ja veejooksujälgi.

Veelgi enam, hoone ehituslahendused ei vasta enam tänapäevastele energiatõhususnõuetele ega tavapärasele ehitustavale. Elamu välisseinad ja vundament on soojustamata, katuslael (pööningul) olev soojustus pole piisav. Hoones on ainult loomulik väljatõmbeventilatsioon ning põhiline soojusenergia allikas on kaugküte, mille abil soojendatakse ka tarbevett. Lisaks sellele on osad korterite aknad veel vanad puitaknad, mille tehnilised omadused on nõrgad. (MiHo OÜ 2019)

3.8.2 Rekonstrueerimislahenduste kirjeldus

Kuuma 4 hoone rekonstrueerimiseks koostati rekonstrueerimisprojekt MIHO Arhitektuuribüroo OÜ ning Timbeco AS koostööl. Laserskaneerimise abil mõõdistati nii hoone kõik fassaadid kui ka ümbrus, mille abil saadi kortermajast digitaalne 3D lähteolukorra mudel. Projektis piiritleti tehtavad tööd nii hoone väliskülgedel kui ka

hoone sees ning käsitleti ka hoone laiendust lodžade kinniehitamise ja rõdude juurdeehituse mõistes. Rekonstrueerimiseks sooviti kasutada tehases eeltoodetud soojustuselemente.

Pilootprojekti ehk hoone renoveerimise raames käsitleti järgnevaid ehitustöid:

- Fassaadide soojustamine puitkarkasselementidega ning viimistlemine;
- Olemasolevate rõdude kinniehitamine, soojustamine ning uute rõdude rajamine;
- Akende välja vahetamine, sh olemasolevate akende kohal olevate puitkonstruktsioonide lammutamine;
- Vundamendi soojustamine ja viimistlemine;
- Hoonet ümbritseva sillutisriba asendamine;
- Olemasolevate välistreppide ja Kuuma tn poolsete varikatuste lammutamine;
- Uute välistreppide ja varikatuste rajamine;
- Katusealuse soojustamine puistevillaga;
- Uue katusekatte paigaldamine;
- Katuse äravoolusüsteemi parandamine, vihmaveetorude paigaldamine;
- Trepikodade siseviimistluse värskendamine;
- Keskküttesüsteemi rekonstrueerimine;
- Soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi paigaldamine;
- Elekritööde teostamine.

Kuuma 4 korterelamu vundament (taldmikust 1.korruse põrandani) soojustati 250 mm paksuse vahtpolüstüreenikihiga. Hoone välisseinaperimeeter soojustati 195 mm paksuste tehases toodetud puitkarkasselementidega (Tabel 12 ja Pilt 5). Hoone välisseinad ja ka sokkel viimistleti tsementkiudplaatidega, välisseina sissepoole ulatuv osa kaeti kuumõlitatud vertikaalse puitvoodriga.

Puitpaneeli fassaad on välisõhuga tuuldav ja sinna on juba tehases paigaldatud aknad (Pilt 6) ning ventilatsioonikanalid.

Tabel 12. Timbeco puitelementide materjalid

<p>VS1. Soojustatavate röödude välissein</p> <p>Tarindi laius 297 mm; U=0,16 W/(m²· k)</p>	<p>Tsementkiudplaat Stonerex 8 mm; Tuulutusliist 28x95 mm; Tuuletõkkeplaat Cembrit 13 mm ($\lambda < 0,036$ W/(m·K)); Hor. latt 45x45 mm + kivivill $\rho = 28$ kg/m³ 45 mm; Karkass C24 45x195 mm, vahel kivivill $\rho = 28$ kg/m³ 100+50 mm; Aurutõkkemembraan (Proclima Intello); Roov 45x45 mm vahel kivivill $\rho = 28$ kg/m³ 50 mm; Kipsplaat 13 mm.</p>
<p>VS2. Hoone põhimaht</p> <p>Tarindi laius 609 mm U=0,14 W/(m²· k)</p>	<p>Tsementkiudplaat Stonerex 8 mm; Tuulutusliist 28x95 mm; Tuuletõkkeplaat Cembrit 13 mm ($\lambda < 0,036$ W/(m·K)); Hor. latt 45x45 mm + kivivill $\rho = 28$ kg/m³ 45 mm; Karkass C24 45x195 mm, vahel kivivill $\rho = 28$ kg/m³ 100+50 mm; Aurutõkkemembraan (Proclima Intello); Klaasvill 50 mm; Olemasolev silikaltsiitplokk 300 mm; Olemasolev krohv 20 mm.</p>
<p>VS6. Trepikodade sisehoovi poolne välissein</p> <p>Tarindi laius 650 mm, U=0,14 W/(m²· k)</p>	<p>Vertikaalne kuumõlitatud laudis UYSK 21x145 mm Roovitus 28x70 mm; Tuulutusliistud 28x70 mm; Tuuletõkkeplaat Cembrit 13 mm ($\lambda < 0,036$ W/(m·K)); Hor. latt 45x45 mm + kivivill $\rho = 28$ kg/m³ 45 mm; Karkass C24 45x195 mm, vahel kivivill $\rho = 28$ kg/m³ 100+50 mm; Aurutõkkemembraan (Proclima Intello); Klaasvill 50 mm; Olemasolev silikaltsiitplokk 300 mm; Olemasolev krohv 20 mm.</p>



*Pilt 5. Paigaldatud väliseinapaneel
(Kullerkupp 2021)*



*Pilt 6. Avatäitega seinapaneel
(Kullerkupp 2021)*

Seoses rõdude kinniehitamisega muudeti korterite planeeringut ning lammutati köögi ja lodža vaheseinad. Rõdupaneelile tehti tasandusvalu ning esimese korruse rõdude alune pind soojustati vahtpolüstürooliga. Hoone lõunakülge rajati postvundamendile (Pilt 7) uued rõdud.



Pilt 7. Rõdude vundamendid (Kullerkupp 2021)

Lammutatakse vanade akende kohal olevad puitkonstruktsioonid ning kõik hoone aknad vahetatakse välja kolmekordse klaaspaketiga PVC-akende vastu. Paigaldatakse uued 22 mm PVC aknalauad. Veepleki ja laudise vahele paigaldatakse putukavõrk. Samuti vahetatakse välja tänavapoolsed välisüksed. Fassaadi soojustamise ja katuse renoveerimise käigus pikendatakse räästaid ning ehitatakse ümber tuulekastid ning tuulesuunajad. Räästalaua alla kinnitatakse klambritega linnuvõrk.

Hoonele paigaldatakse uus valtsprofiilplekist katusekate ning vihmaveesüsteem. Pööningu põrand soojustatakse puistevillaga. Hoone ümber rajatakse 60 cm laiune sillutisriba sademevee juhtimiseks. Vastavalt vajadusele teostatakse kohtparandusi ning peale ehitustööde tegemist taastatakse hoone siseviimistlus.

Korterelamu Kuuma 4 renoveerimise käigus kuuluvad lammutamisele järgnevad osad:

- Köögi välissein lodžale (osaline lammutus);
- Rõduukse paigaldamiseks aknaalune seinosa;
- Hoovi pool akende kohal olev seinosa (aken saab olema kõrgem);
- Lodža esiserv (tuuakse ettepoole).

Ehitusjätmete kogus Kuuma 4 kinnistul tehtavate renoveerimistööde käigus oli algsete hinnangute põhjal umbes 80 m³, millest põhilise osa moodustaksid metall- ja kivimaterjalid. Võimaluse korral tekkivad ehitusjätmed kas taaskasutatakse, töödeldakse ümber või kõrvaldatakse sellekohase jäätmeloaga ehitusjätmete käitluskohas. (MiHo OÜ 2019)

Puitpaneelidega renoveeritud Kuuma 4 korterelamu lõpptulemus renoveerimisjärgselt on näha järgnevatel piltidel (Pilt 8, Pilt 9).



Pilt 8. Kuuma 4 renoveeritud kujul. Tänavapoolne vaade (Timbeco 2021)



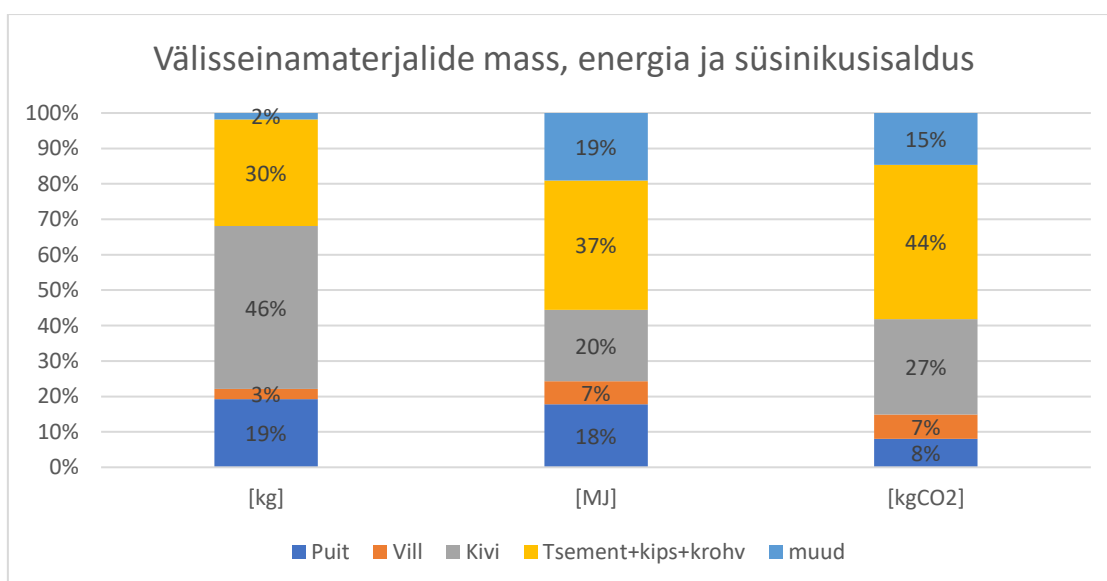
Pilt 9. Kuuma 4 renoveeritud kujul. Hoovipoolne vaade (Timbeco 2021)

4 Tulemused. Hoone renoveerimisel või lammutusel käsitletavad materjalid

4.1 Materjalide energia ja CO₂ sisalduse hindamine

Hoone materjalides sisalduv energia ning CO₂ on välja toodud ühtses korterelamu materjalide mahutabelis (*Lisa 1. Kuuma 4 hoone materjalid*).

Alljärgnev Joonis 4-1 näitab üldiselt kui suure osakaaluga on teatud laadi materjalid Kuuma 4 hoone välisseinatarindis nii massi, energia kui ka kehastunud süsinikdioksiidi poolest.



Joonis 4-1. Välisseinamaterjalide massi, energia ja süsinikusisalduse osakaalud

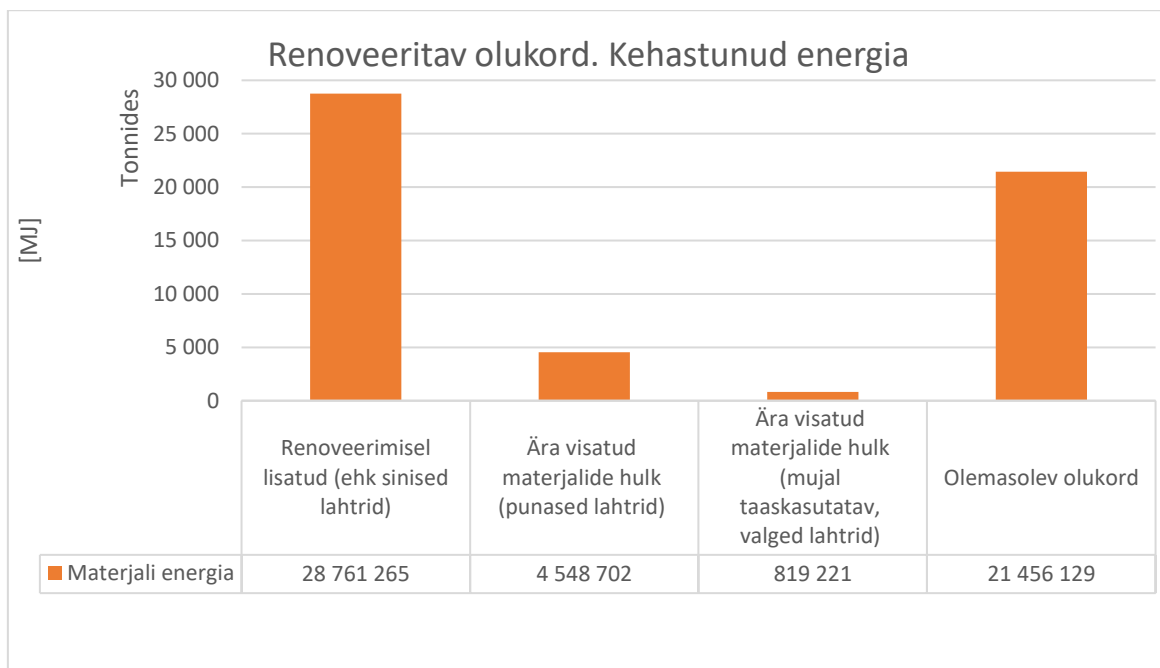
Tabel 13 kajastab näitena Kuuma 4 hoone välisseina ning sellele lisatavate materjalide osa lähteandmeid, mille alusel sisalduv energia ja süsinikdioksiid on leitud.

Tabel 13. Välisseina materjalide energia ja CO₂ sisaldus

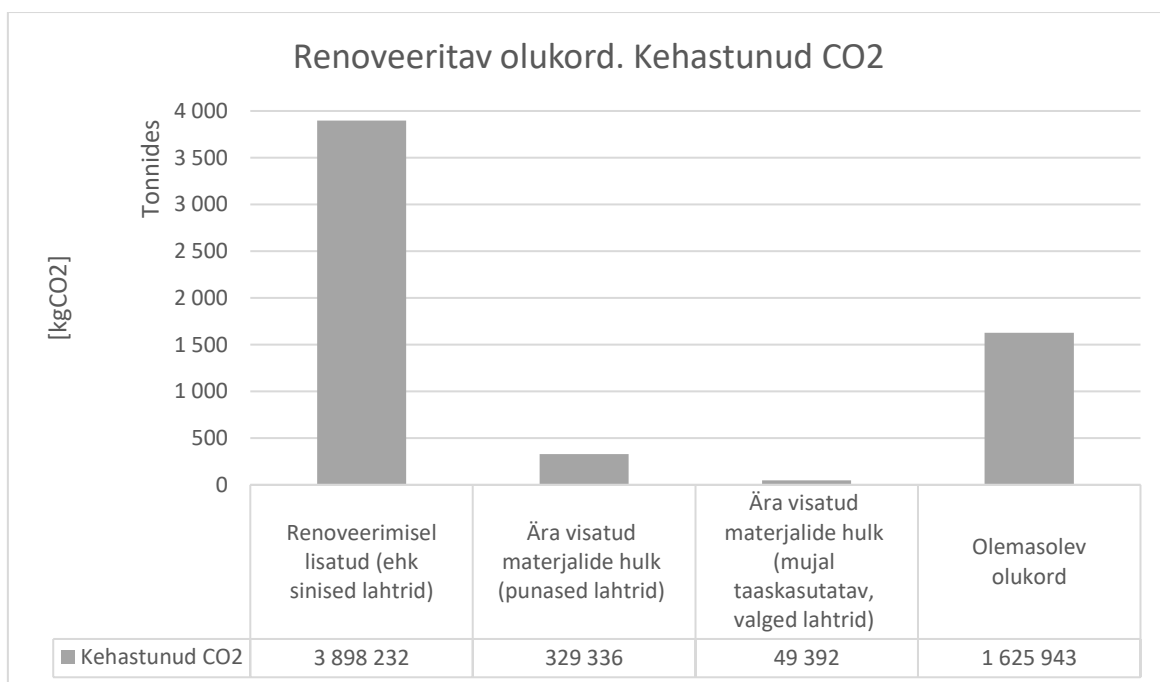
Materjali kirjeldus	Kirjeldataud järgnevas ühikus:	Kehastunud energia	Kogu kehastunud energia	Kehastunud CO ₂	Kogu kehastunud CO ₂	Allikas
	[kg]	[MJ/kg]	[MJ]	[kgCO ₂ /kg]	[kgCO ₂]	Viide elemendile ICE andmebaasis
Kandvad silikaltsiitplokid 300 mm ($\lambda < 1,56$)	170,614.53	3.50	597,150.86	0.28	47,772.07	Autoclaved aerated blocks (AAC)
Sisemine krohvikihit 20 mm	60,330.00	6.75	407,227.50	0.38	22,925.40	Plaster. Plasterboard
Siseviimistlus (värv, tapeet)	2,876.56	70.00	201,359.47	2.42	6,961.28	Paint. General
Kipsplaat, 13 mm (rõdude kinniehitamisel siseviimistluseks)	12,202.20	6.75	82,364.88	0.38	4,636.84	Plaster. Plasterboard
Klaasvill 50 mm (puhverisolatsioon)	1,416.25	28.00	39,655.04	1.35	1,911.94	Insulation. Fibreglass (glasswool)
Aurutõkkemembraan (Procli)	3,816.01	95.40	364,047.41	4.98	19,003.73	Polypropylene
Puitkarkass C24, 45x145 ($\lambda < 0,013$)	21,243.77	7.40	157,203.90	0.20	4,248.75	Sawn softwood
Kivivill $\rho = 28 \text{ kg/m}^3$ 100+50 mm ($\lambda < 0,035$)	7,081.26	16.80	118,965.11	1.12	7,931.01	Rockwool
Roovid 45x45 mm ($\lambda < 0,013$)	35,406.28	7.40	262,006.50	0.20	7,081.26	Sawn softwood
Kivivill $\rho = 28 \text{ kg/m}^3$ 45 mm ($\lambda < 0,035$)	2,124.38	16.80	35,689.53	1.12	2,379.30	Rockwool
Tuuletõkkeplaat (tsemendibaasil) (Paroc WAB 10T 13 mm, $\lambda < 0,036^*$ / Cembrit) + teip (Wiguv)	26,594.05	15.30	406,889.01	1.28	34,040.39	Cement. Fibre cement panels (colored) coated
Fassaadiplaat Stonerex 8 mm (kiudtsementplaat)	12,274.18	15.30	187,794.93	1.28	15,710.95	Cement. Fibre cement panels (colored) coated
Roovid 28x90 mm	11,015.29	7.40	81,513.13	0.20	2,203.06	Timber. Sawn softwood
Vertikaalne puit fassaadil Cladding UYSK 21x145 mm	3,717.66	7.40	27,510.68	0.20	743.53	Timber. Sawn softwood

Selgub, et renoveerimise käigus lisatavas välisseinaelemendis on kehastunud CO₂-te kokku 47753 kgCO₂ ning kehastunud energiat kokku 861860 MJ. Seega moodustab lisapaneelis kehastunud CO₂ ja energia kogu välisseinatarindis antud väärtustest vastavalt 21 % ja 25 %.

Hoone renoveeritava olukorra puhul on Kuuma 4 korterelamu kõikides materjalides sisalduv energia ning CO₂ sisalduse osakaal välja toodud järgnevatel joonistel (Joonis 4-2 ja Joonis 4-3), kusjuures viidatavad punased, valged ja sinised lahtrid on nähtavad Lisa 1. Kuuma 4 hoone materjalid tabelis.



Joonis 4-2. Materjalide energiasisalduse jaotus renoveeritavas olukorras



Joonis 4-3. Materjalide CO₂ jaotus renoveeritavas olukorras

Juhul, kui hoonelt võetavad jääkmaterjalid suunatakse taas ringlusesse, siis lisanduks edasisel käsitlusel veel teatud hulk energia ja süsiniku kulu. Täpsem emissioonide hulk onoleb sellest, et mis suunas edasine käsitlus valitakse.

Järgnev Tabel 14 näitab lisatavate välisseinamaterjalide puhul hilisemat energiakulude võrdlust olenevalt ringmajanduslikust suunast. Antud tabel annab parema ettekujutuse

energiasalduste suurustest, sh et ümbertöötlemiseks vajaminev energia on üle seitsme korra suurem kui materjali oma algsel kujul taaskasutades.

Tabel 14. Materjalide ringlusesse suunamine. Energiakulu

Materjali kirjeldus	Utiliseeri- mine	Ümber- töötlus	Renoveeri- mine	Taaskasu- tus (mujal objektil)	Taaskasu- tus (samal objektil)
	MJ	MJ	MJ	MJ	MJ
Klaasvill 50 mm	47586	19828	11897	7931	1983
Aurutõkkemembraan	436857	182024	109214	72809	18202
Puitkarkass C24, 45x145	188645	78602	47161	31441	7860
Kivivill $\rho=28$ kg/m ³ 100+50 mm	142758	59483	35690	23793	5948
Roovid 45x45 mm	314408	131003	78602	52401	13100
Kivivill $\rho=28$ kg/m ³ 45 mm	42827	17845	10707	7138	1784
Tuuletõkkeplaat + teip	488267	203445	122067	81378	20344
Fassaadiplaat 8 mm (kiudtsementplaat)	225354	93897	56338	37559	9390
Roovid 28x90 mm	97816	40757	24454	16303	4076
Vertikaalne puit fassaadil	33013	13755	8253	5502	1376

4.2 Renoveerimise käigus eemaldatavad materjalid

Kuuma 4 kõikide materjalide mahud on välja toodud Lisa 1. Kuuma 4 hoone materjalid. Samuti annab materjalide edasise käekäigu kohta infot Lisa 5. Renoveerimise jääkmaterjalide edasine käekäik.

Korterelamu renoveerimisel eemaldati suurim kogus ehk 3,7 tonni puidujätmeid lammutavatelt rõdudelt, kus puitu oli kasutatud kasutati piirdeelemendina (vt Pilt 10). Ülejäänud osa puidust saadi akende kohal olnud laudise, tuulekastide ja räästa lammutamisest. Puitakende raame eraldi ei kogutud, sest aknaid käsitleti ühe elemendina.



Pilt 10. Rõdupiiretelt ja akende kohalt eemaldatav puitmaterjal (Kullerkupp 2021)

Puitmaterjalide seisukorrast annab ülevaate järgnev Tabel 15. Kuuma 4 renoveerimisel tekkinud puitehitus- ja lammutusjätmed (ELJ). Puitdetailide korduvkasutamisel oleks tarvis täiendavat töötlemist näiteks nende mõõtu lõikamise, lihvimise, värvimise või lakkimise näol.

Tabel 15. Kuuma 4 renoveerimisel tekkinud puitehitus- ja lammutusjätmed (ELJ)

Kuuma 4 puitehitus- ja lammutusjätmed, %							
	Korduvkasutatav samaks otstarbeks		Korduvkasutatav uueks otstarbeks		Ümber-töödeldav	Kütteks	Prügilasse ladustamine
	Algses olekus	On vaja täiendavalt töödelda*	Algses olekus	On vaja täiendavalt töödelda*			
Osakaal kogu EHJst	-	30	-	30**	-	70	-
Täiendaval töötlemisel tekkiv potentsiaalne kadu*	-	50	-	50	-	0 ehk kõik on köetav	0 ehk kõik võib ladustada
* Täiendav töötlemine: puhastamine, parandamine, viimistlemine vms.							
** Võimalus kasutada ka muuks otstarbeks, v.a konstruktsiooniliste tugevusnõuetega määratud elemendid.							

Vanadelt rõdudelt ära võetavad metallpiirded olid roostes ning nende värv oli suures osas maha tulnud (Pilt 11). Muu metallmaterjali eemaldati trepi käsipuude, torude, katusepleki, radiaatorite, metalluste näol. Täpsema info materjalide seisukorrast annab tekkinud terasjätmete võimalike edasiste kasutuskohtade Tabel 16, samuti Lisa 1 ja Lisa 5.



Pilt 11. Rõdupiirete metallosad (Kullerkupp 2021)



Pilt 12. Demonteeritud vana aken (Kullerkupp 2021)

Tabel 16. Kuuma 4 renoveerimise tekkinud **terasehitus-** ja lammutusjätmed (ELJ)

Kuuma 4 terasehitus- ja lammutusjätmed, %						
	Korduvkasutatav samaks otstarbeks		Korduvkasutatav uueks otstarbeks		Ümber-töödeldav	Prügilasse ladustamine
	Algses olekus	On vaja täiendavalt töödelda*	Algses olekus	On vaja täiendavalt töödelda*		
Osakaal kogu EHJst	-	30	-	30**	70	-
Täiendaval töötlemisel tekkiv potentsiaalne kadu*	-	20	-	20	-	0 ehk kõik võib ladustada

*Täiendav töötlemine: puhastamine, parandamine, viimistlemine vms.

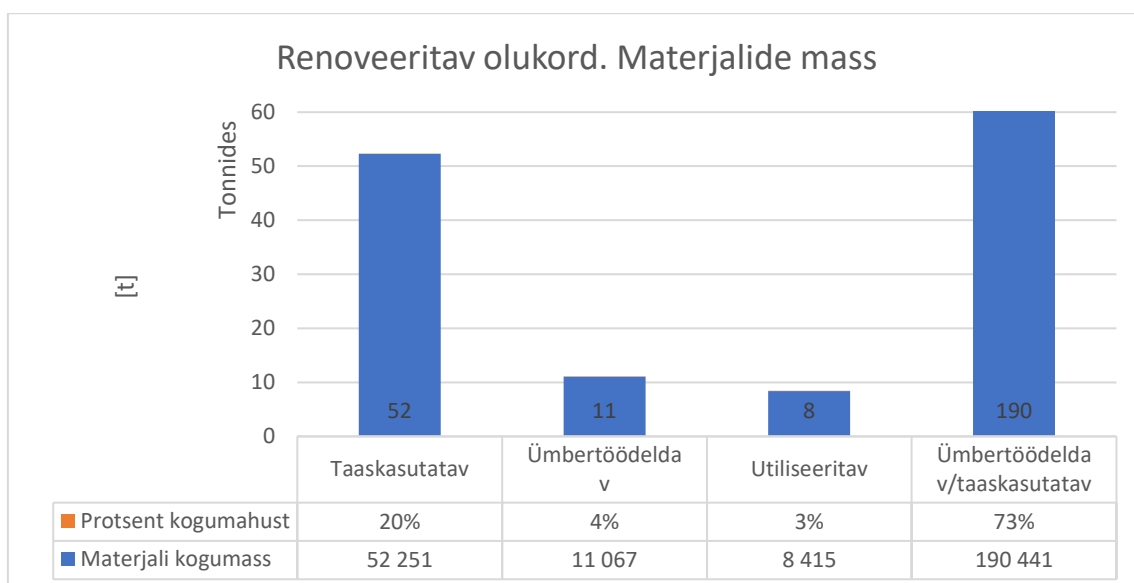
** Võimalus kasutada ka muuks otstarbeks, v.a konstruktsiooniliste tugevusnõuetega määratud elemendid.

Vanad aknad olid kõik tuhmunud, nende raamid olid pragunenud ning värv maha koorunud (Pilt 12). Eeldatavasti on ka aastate jooksul paketi klaaside vahele lisatud gaas sealt välja immitsenud, sest aken pole enam hermeetiline (AUF Paigaldus OÜ, Montaažikeskus). Akende renoveerimisaegse seisukorra info on täpsemalt toodud Tabel 17. Sealjuures võib akende täiendavaks töötlemiseks lugeda näiteks uue aknaraami valmistamist või ka vanale aknale tihendusmaterjalide lisamist, aknahingede õlitamist jms. Otsest materjalikulu viimaste variantide puhul ei esine, kuid lisamaterjalid on tarvilikud.

Tabel 17. Kuuma 4 renoveerimise tekkinud ehitus- ja lammutusjäätmed (ELJ) akendest

Kuuma 4 ehitus- ja lammutusjäätmed akendest, %							
	Korduvkasutatav samaks otstarbeks		Korduvkasutatav uueks otstarbeks		Ümbertöödeldav		Prügilasse ladustamine
	Algses olekus	On vaja täiendavalt töödelda *	Algses olekus	On vaja täiendavalt töödelda *	Klaasvill	Uus klaas	
Osakaal kogu EHJst	75	-	75**	-	25***	25***	
Täiendaval töötlemisel tekkiv potentsiaalne kadu*	-	50	-	50	20	20	0% ehk kõik võib ladustada
<p>* Täiendav töötlemine: puhastamine, parandamine, viimistlemine, mõõtu lõikamine, lihvimine vms.</p> <p>** Võimalikud on ka alternatiivsed kasutusvariandid</p> <p>*** Variandid on sarnase ringmajandusliku näitajaga, ühte ei eelistata teisele.</p>							

Kõikide materjalide käsitletud andmed on toodud Materjalide passis (Lisa 1. Kuuma 4 hoone materjalid). Sealt nähtub ka materjalide massi jaotus olemasolevate (ja alles jäävate), lisanduvate ning eemaldavate materjalide kohta, mida ilmestab Joonis 4-4. Antud kogumassi ei arvestata sisse materjalimahte, mille mahuarvestus on tehtud muu ühiku (näiteks m² või jm) põhjal.



Joonis 4-4. Materjalide mass renoveeritavas olukorras

4.3 Renoveerimistöödel tekkivad jäätmed

Korterelamu renoveerimistöde käigus sorteeriti tekkivad jäätmed suures osas nii nagu juhendid ette näevad. Ülevaate jäätmete sorteerimisest annab järgnev Tabel 18.

Tabel 18. Sorteeritud jäätmed ehitusplatsil

Jäätmed	Kas sorteeriti? (jah/ei)
1. Puit	Jah
2. Kiletamata paber ja kartong	Ei
3. Metall (eraldi must- ja värviline metall)	Jah
4. Mineraalsed jäätmed (tellised, (ehitus)kivid, krohv, kips betoon, lehtklaas jne)	Jah
5. Raudbetoon- ja betoondetailid	Jah
6. Kile	Ei

Jäätmetena käsitletava materjalihulga kogus Kuuma 4 korterelamu näitel on toodud tarindite kaupa välja allolevates tabelites (Tabel 19, Tabel 20, Tabel 21), milles iga tabelirea puhul käsitletakse erinevat tüüpi materjale eraldi, näiteks puit, klaas, betoon, teras ja muud materjalid.

Tabel 19. Kuuma 4 rekonstrueerimisel eemaldatavate (utiliseeritavate või mujal taaskasutatavate) materjalide mahud. Fassaad, katus ja väliosad

Trepid	Rauast piirded (1 m)	ÜMBERTÖÖDELDAV/TAASKASUTATAV	0,30	m3
Rõdu	Poorbetoonist seinad	TAASKASUTATAV/ÜMBERTÖÖDELDAV	92,10	m3
	Puitpiirded	TAASKASUTATAV	6,37	m3
	Metallpiirded	ÜMBERTÖÖDELDAV/TAASKASUTATAV	2,16	m3
Katus	Roovid	RENOVEERITAV/TAASKASUTATUD	4,58	m3
	Katuse aluskate	Ei ole taastatav	2,04	m3
	Katuseplekk	TAASKASUTATAV/ÜMBERTÖÖDELDAV	5,09	m3
Väliselemendid	Raudbetoonist sillutisriba, C30/37	TAASKASUTATAV/ÜMBERTÖÖDELDAV	10,09	m3
	Kruusatäide sillutise all	TAASKASUTATAV	25,23	m3
	Veerennid ja -torud	TAASKASUTATAV	12,00	tk
	Varikatuse plekk	TAASKASUTATAV/ÜMBERTÖÖDELDAV	0,07	m3
	Varikatuse betoon	TAASKASUTATAV/ÜMBERTÖÖDELDAV	3,20	m3

Tabel 20. Kuuma 4 rekonstrueerimisel eemaldatavate (utiliseeritavate või mujal taaskasutatavate) materjalide mahud. Avatäited

Aknad	Klaaspakett 2x2	TAASKASUTATAV	1,28	m3
	PVC raam	TAASKASUTATAV/ÜMBERTÖÖDELDAV	3,59	m3
	Puitraam	TAASKASUTATAV	1,20	m3
	Puitosad (akna kohal)	TAASKASUTATAV/ÜMBERTÖÖDELDAV	2,80	m3
	Klaasvill (akna kohal)	ÜMBERTÖÖDELDAV	3,11	m3
	Kips (akna kohal)	Ei ole taastatav	0,81	m3
	Puitlaudis (akna kohal)	TAASKASUTATAV	1,37	m3
Uksed	Metalluksed (vanad)	ÜMBERTÖÖDELDAV	1,21	m3

Tabel 21. Kuuma 4 rekonstrueerimisel eemaldatavate (utiliseeritavate või mujal taaskasutatavate) materjalide mahud. Tehnosüsteemid

Kanaliseerimine, veevarustus	Malmist ja rauast torud	ÜMBERTÖÖDELDAV	-	-
Küttesüsteem	Radiaatorid (malm)	TAASKASUTATAV/ÜMBERTÖÖDELDAV	84	tk
	kesküttetorud	TAASKASUTATAV	-	-
Ventilatsioon	Telliskividest ventilatsioonišaht, korsten	TAASKASUTATAV/ÜMBERTÖÖDELDAV	1,64	m ³
Elektrisüsteem	Elektrikaablid, lülitid jms	Ei ole taastatav.	2 400	jm

Korterelamu Kuuma 4 renoveerimisel tekkis kokku ligikaudu 200 tonni jäätmeid, millest 0.2 % ehk 0.4 tonni läks utiliseerimisele (Tabel 22). Kokkuvõtvalt jaotus renoveerimise käigus erinevate materjalide osakaal alljärgnevalt.

Tabel 22. Materjalide kasutus renoveerimisel.

Uute materjalide osakaal kogukulust	8.6 %
Äraviidavate materjalide osakaal	86 %
Samal objektil uuesti kasutatavad materjalid (modifikatsioonidega)	5.4 %
Prügilasse jõudev osa (<i>landfill</i>)	0.25 %

Modifikatsioonidega tabeli ehk ideaalse olukorra puhul, kus tehakse suuremas osas platsil kohapeal taaskasutust, oleks tabel prügilasse jõudvate jäätmete osas võrdlemisi sarnane (Tabel 23).

Tabel 23. Materjalide kasutus renoveerimisel. Optimeeritud variant

Uute materjalide osakaal kogukulust	8.6 %
Äraviidavate materjalide osakaal	6.9 %
Samal objektil uuesti kasutatavad materjalid (modifikatsioonidega)	84.5 %
Prügilasse jõudev osa (<i>landfill</i>)	0.21 %

Siinkohal kirjeldab „ära viidavate materjalide osakaal“ materjali taaskasutust oma algses olekus või parandatuna mujal objektil või selle ümbertöötlemist. Siia alla kuulub ka kasutus täitematerjalina. Kõik ehitustööde käigus üle jäävad jäätmed sorteeriti objektil vastavalt materjali liigile ning suur osa jäätmetest käideldi ümber.

Tervest jäätmekogusest moodustasid puidujäätmed kokku 15 tonni (Tabel 24), millest suurim kogus tuli vanadelt lammutatavatelt rõdudelt, kus puitu kasutati piirdeelemendina. Ülejäänud suur osa puidust saadi akende kohal olnud laudise lammutamisest. Puidujäätmed transporditi objektilt ära kahes osas. Need taaskasutati soojusallikana ehk tekkinud puidujäätmed viidi LG Energy OÜ poolt hakkimisse ning hiljem Tallinna Elektriijaama põletamisele.

Tabel 24. Puidujäätmed (AKT nr-J 01473 Timbeco Ehitus OÜ n.d)

Pakendi- materjal	Kogus (tonn)	Taaskasutus- toimingu nimetus	Taaskasutus- toimingu kood	Riik, kus teostati taaskasutamine
Puit	11,34	Hakkimine	Põletamine	Eesti
Puit	3,7	Hakkimine	Põletamine	Eesti
Kokku:	15,04			

Suurim kogus betoonijäätmeid tulenes köögi vaheseinte lõhkumisest. Ühtekokku koguti aga nii telliskivi-, betooni-, tsemendi- kui ka keraamikajäätmed (Pilt 13). PTT Recycling OÜ arvestuse kohaselt saadi kõnealuseid jäätmeid kokku 156 tonni. Suures osas läksid need jäätmed kasutusele tagasitaitena. Betoon-, tellis- jms sorteeriti, purustati ja sõeluti ning eraldati võimalikult suures koguses välja sobilik materjal, mida kasutada Väo karjääri rekultiveerimiseks. (PTT Recycling 2021)



Pilt 13. Tekkinud betoonijäätmed hoone renoveerimisel (Kullerkupp 2021)

Metallijäätmeid, mille hulka kuulusid rõdupiirete metallosad ning näiteks ka katuseplekk, ei kogutud selle objekti juures eraldi, vaid need jäätmed läksid üldiste ehitusjäätmete hulka. Olenemata katusepleki heast seisukorrast ja teoreetiliselt võimalikust taaskasutusest katuseplekina, ei leidnud see antud objekti puhul rakendust.

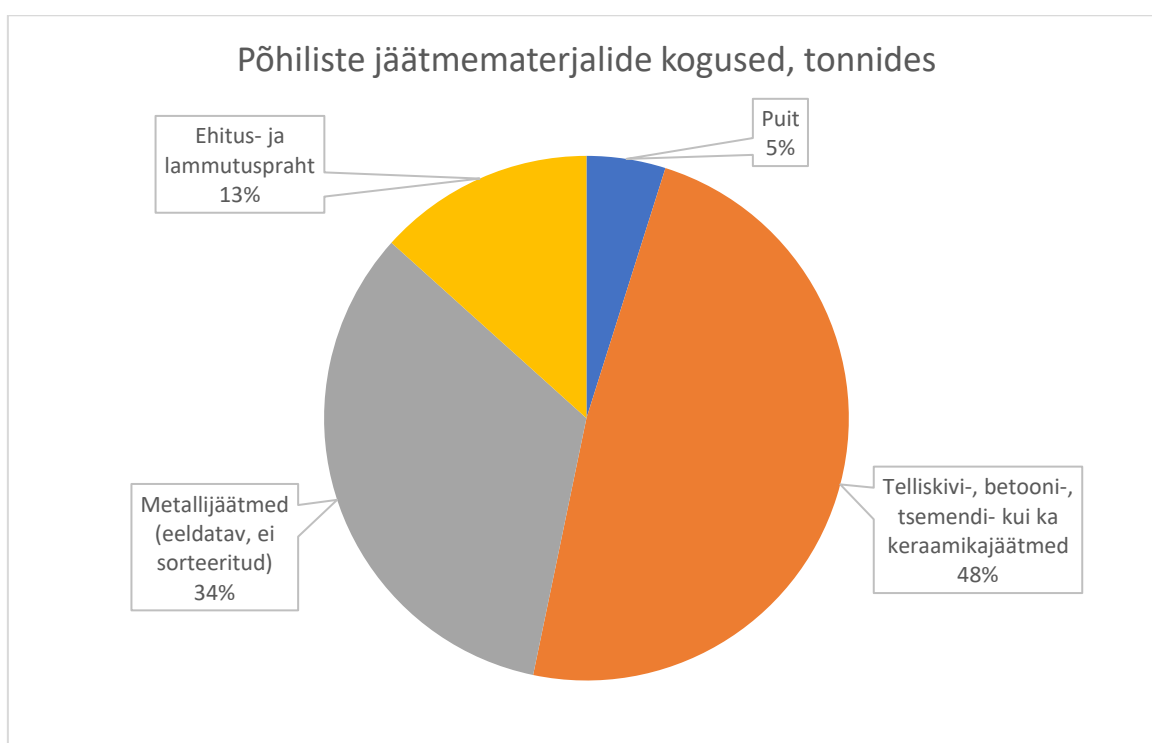
Tavalist ehitus- ja lammutusprahti tekkis Tallinna Jäätmete Taaskasutuskeskus AS ning Metal Capital OÜ andmetel kokku 43 tonni. Ilmastikuolude eest puitpaneelide kaitseks

kasutatud kiled olid samuti üks jäätme hulga osa. Lisaks tekkis teatud määral materjalikadusid ka paigalduse ja ka transpordi käigus, kus osa materjalidest purunes. Mahutabelites on toodud põhiliselt põhimaterjalid. Jäätmetena peaks aga käsitlema ka järgnevat materjale:

- Võõbad;
- Liimid;
- Mastiksid,
- Õlid,
- Värvivid,
- Jm.

Nimetatud on materjalid, mille puhul tuleb arvestada toote täieliku kaoga ning neid ei ole võimalik taaskasutada. Samuti võib kulude ja seega ka jäätmete hulka arvestada kinnitusvahendid, mida on keeruline tehniliselt heas korras kätte saada ja taaskasutada, näiteks naelad.

Ülevaatliku näite põhilistest tekkinud jäätmetest Kuuma 4 korterelamu renoveerimisel loob Joonis 4-5.



Joonis 4-5. Põhiliste jäätmematerjalide kogused Kuuma 4 renoveerimistöõde käigus

4.4 Renoveerimisel üle jäävate materjalide kasutamise võimalused

Materjalide korduvkasutuse potentsiaali hinnatakse erinevates olukordades:

- Uued materjalid, mida renoveeritud objektile tuuakse;
- Renoveeritava hoone materjalide ja toodete kasutamine samas hoones;
- Renoveeritava hoone materjalide ja toodete kasutamine mõnes teises hoones;
- Materjalide ja toodete ümbertöötlemine;
- Ladustamine prügimäele.

Üleüldine jaotus materjalide taaskasutamisest on toodud Lisa 5. Renoveerimise jääkmaterjalide edasine käekäik. Seejuures on näidatud ka materjalide võimalik ringlusesse suunamine Lisa 6. Renoveerimise jääkmaterjalide edasise suunitluse võimalikud variandid tabelis.

Hoonest üle jäävad materjalid, mida ei saa sama hoone puhul kohapeal kasutada, aga mida ei pea ka jäätmetena käsitlema, saaks kasutada muude ehitustööde ja objektide puhul. Teoreetiliselt on võimalik ka vastupidine tegevus ehk mõne teise objekti ükskõik millist kasutuskõlblikku materjali Kuuma 4 hoone juures kasutada, mis vastab esitatud renoveerimislahenduste nõuetele.

Muude hoonete materjalide kasutamine nõuaks eelnevat koostööd mõne ehitus- või lammutusfirmaga, täpsemat ajalist planeerimist, materjalide vaheladustamist ja muid organisatoorseid küsimusi. Lisaks hõlmaks antud tegevus rohkem riskifaktoreid, näiteks ei saa kindel olla, et võõralt ehitusobjektilt saadakse vajalik kogus piisavalt kvaliteetset ja kasutatavat materjali. Ehitusmaterjalide puhul on oluline ka nende toimivust ja päritolu tõendavate sertifikaatide olemasolu.

Järgnevates alapeatükkides on kirjeldatud tüüpsest korterelamust saadavate materjalide taaskasutuse võimalused ja viisid renoveeritavas hoones ning mujal.

4.4.1 Fassaadipuit

Muutes hoone tulepüsimusklassi järgi TP2 hooneks, oleks võimalik (taas)kasutada puidupõhiseid tooteid. Selle jaoks tuleks välja sorteerida puitelemendid, mis vastaksid järgnevatele omadustele: puit on mädaniku-, seene-, vetika- jms vaba, puuduvad mehaanilised vigastused ning on visuaalselt korralik. Vähese töötlemise abil saaks fassaadilaudu uuesti näiteks fassaadil ära kasutada.

4.4.2 Roovid, latid ja muud puitosad

Võimalik kasutada abimaterjalina ehitustegevuses. Puitu saab kasutada detailelementidena, roovitisena või abimaterjalina (ladustamisel allapanuna, et koorem ei vigastaks alust jm). Tervet, vigastuste- ja mädanikuvaba puitu on võimalik ka uuesti ehitusmaterjali näol kasutada, sellest näiteks sõrmjätkude abil uusi profiile tehes.

4.4.3 Radiaatorid

Radiaatorid taaskasutatakse korterelamu trepikodades küttekehadena. Radiaator peab olema vigastusteta, see tuleb puhastada ning, kui visuaalne pool on oluline, uuesti üle värvida. Antud korterelamus sai taaskasutada nelja korteritest eemaldatud radiaatorit, mis on kogumahust 6 %. Vanad radiaatorid paigaldati trepikodadesse.

4.4.4 Rõdu- ja välisüksed, aknad

Vanu puituksi võiks taaskasutada nt keldriustena, tamburi vaheustena, köögiustena või ka näiteks disainielemendina sisekujunduses või rõdupiirdena. See eeldab, et elemendil puuduvad vigastused ja selle vajalikud tolerantsid vastavad normaalse kasutuse jaoks nõutule. Puituste osad saab vajadusel puhastada, lakkida, immutada.

Akende taaskasutamisel mõnes muus hoones peavad need olema terved ja sobivas mõõdus. Võimalus on vanu aknaid kasutada näiteks kasvuhoonete ehitusel või suvilates, kuid elamuhoonesse paigaldades tuleb arvestada asjaoluga, et vana aken on suurema tõenäosusega kaotanud oma algsed omadused nagu päikesevalguse eest kaitsev kiht klaasil. Samuti on välja immitsenud klaaside vahel olev gaas, aken pole enam hermeetiline.

Uuel paigaldusel on oluline tagada akna õhutihedus ehk vahe raami ja seinaga tuleb korralikult tihendada ning tuuletõkketeibiga teipida. Näide Kuuma 4 akende taaskasutusest on toodud alljärgnevalt (Pilt 14). Samuti on võimalik vanu aknaid kasutada disainielementidena.



Pilt 14. Akende taaskasutus (Kuuma 4 korterelamu elanik 2022)

4.4.5 Metallist elemendid. Piirded, katuseplekk

Trepikäsipuud on enamasti paigaldatud siseruumidesse, seega suured kahjustused neil puuduvad. Rõdupiirete puhul on oluline roostemäär ja muude kahjustuste osakaal. Kui antud detailid on roostevabad ja vigastusteta, siis on võimalik neid piiretena taaskasutada või asendada juba katkised/määrduvad piirded. Lisavõimalusena on võimalik kasutada disainelementidena, rattahoidikutena või näiteks väliste istepinkide valmistamisel.

Katuseplekk on kinnitatud kruvidega, mistõttu on materjali kerge lahti võtta ning materjali vigastamise oht on seejuures minimaalne. Taaskasutuse korral peab plekk olema vigastusteta ning omama ettenähtud kuju (trapetsprofiil). Osa katuseplekist saaks kasutada näiteks sama hoone varikatustel. Kirjeldatava renoveerimise käigus seda siiski ei tehtud. Kuuma 4 hoone katuseplekk vahetati täies mahus välja ning uus katus tuli teist tooni. Plekki on võimalik kasutada ka teistel objektidel, näiteks elamu- või abihoonete katusel või muul otstarbel (Pilt 15, Pilt 16).



Pilt 15. Katusepleki paigalduse eeltööd (Kuuma 4 korterelamu elanik 2022)



Pilt 16. Katusepleki taaskasutus aedikul (Kuuma 4 korterelamu elanik 2022)

4.4.6 Batoon, tellised, kruus, liiv

Batoon ja muud materjalid purustatakse ning kasutatakse tagasitaitena. Siinkohal kriteeriumid materjalile puuduvad, ka konstruktsioonides kasutatud betoon kõlbab tagasitaiteks. Kõnealuseid materjale on võimalik kasutada ka betooni taastootmiseks.

4.4.7 Elektri kaablid ja -seadmed

Lampe saab taaskasutada keldrite koridorides või keldriboksidest. Muid elektriseadmeid ja -kaableid pole võimalik uuesti kasutada tulenevalt (tule)ohutusnõuetest. Antud materjalidel on ranged sertifitseerimise ja vastavuse tõendamise nõuded, mida saab tagada vaid uue toote puhul. Vaskelektri kaableid on võimalik aga ümber töödelda vastavalt Jäätmeseaduse § 105 (2) alusel. (Jäätmeseadus 2021)

4.5 Materjalide maht tehaseliselt renoveeritud hoone lammutusel

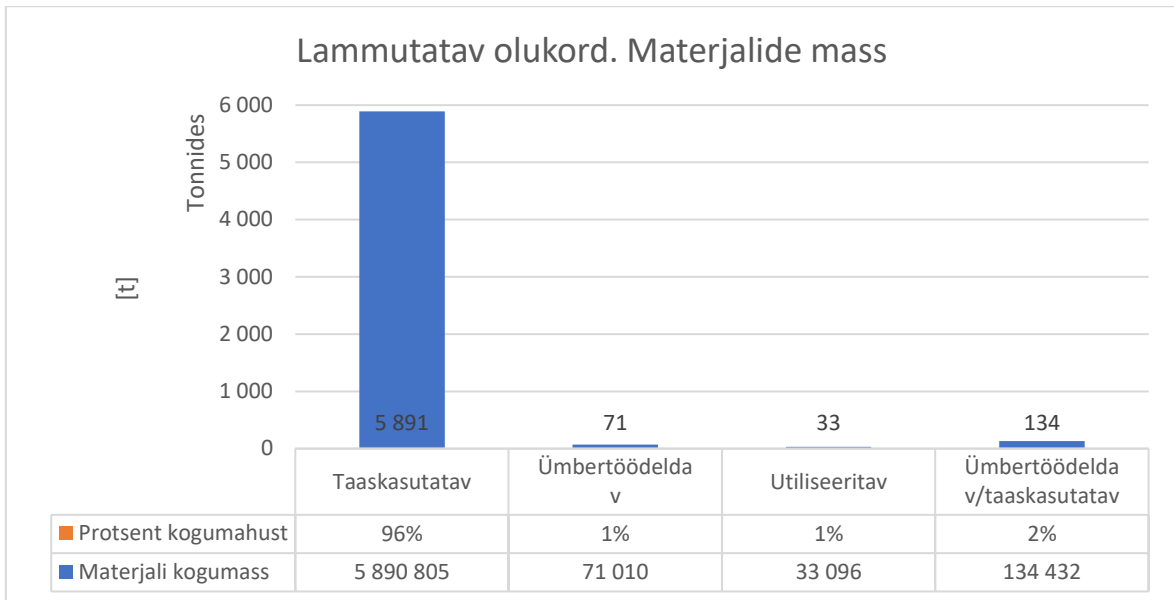
Kuuma 4 korterelamu lammutamisel tulevikus tuleb lähtuda kohalduvatest normdokumentidest nagu Saue valla jäätmehoolduseeskiri ning muud. Ehitustööde käigus tekkinud ehitusjätmed tuleb taaskasutada või kõrvaldada läheduse põhimõtet järgides mõnes vastava jäätmelooga ehitusjätmete käitluskohas.

Kuuma 4 korterelamu renoveeritud hoone eluea lõppedes hoones sisalduv materjalidest tulenev energia ja süsiniku potentsiaal on näidatud Lisa 1. Kuuma 4 hoone materjalid. Sealse „Lammutusolukorra“ tabeli juures kajastatakse realiseeritud renoveerimislahenduste materjalikulusid ning neis sisalduvat energiat ja süsinikdioksiidi. Väljavõte antud tabeli kokkuvõttest on toodud alljärgnevalt (Tabel 25).

Tabel 25. Kuuma 4 materjalid lammutusolukorras

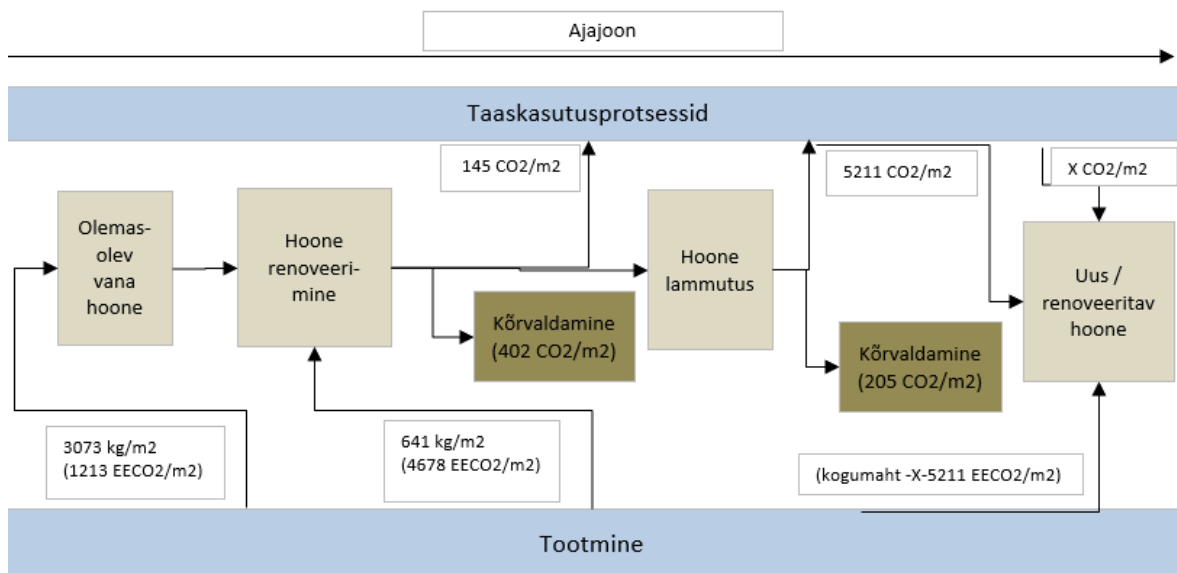
Taaskasutatav	Total Mass	3,586,018.92	Total EE	8,822,504.91	Total EECO2	2,590,752.57
	Total Mass/m ²	4,387.64	Total EE/m ²	10,794.70	Total EECO	3,169.89
Ümber-töödeldav	Total Mass	68,869.71	Total EE	2,102,301.70	Total EECO2	554,972.73
	Total Mass/m ²	84.26	Total EE/m ²	2,572.25	Total EECO	679.03
Utiliseeritav	Total Mass	43,726.24	Total EE	3,314,266.92	Total EECO2	167,865.54
	Total Mass/m ²	53.50	Total EE/m ²	4,055.14	Total EECO	205.39
Ümbertöödeldav/taaskasutatav	Total Mass	134,431.68	Total EE	20,834,673.79	Total EECO2	1,107,519.99
	Total Mass/m ²	164.48	Total EE/m ²	25,492.08	Total EECO	1,355.10

Järgnevalt jooniselt (Joonis 4-6) nähtub, et taaskasutatava materjali massi osakaal on 96 % ehk valdav osa hoones kasutatavatest materjalidest saab uuesti kasutada. Seevastu utiliseeritavate materjalide osakaal on ligikaudu 1 %.



Joonis 4-6. Materjalide massi jaotus lammutatavas olukorras

Joonis 4-7 näitab materjalikoguste ja nendes sisalduva CO₂ liikumist hoone eluperioodil ja ehitusahelas. Sellest nähtub, et oluline osa materjalidest on võimalik suunata taaskasutusse ning samuti on võimalik hoone ehitusel või ka renoveerimisel kasutada taaskasutatavaid materjale. Siinkohal on aga taaskasutatavate materjalide kogused arvestatud vaid olemasolevalt hoonelt eemaldatud materjalimahtude näol. Tegelikult on võimalik taaskasutatavat materjali saada veelgi rohkematest allikatest, kuid nende materjalide ja sisalduva CO₂ hulka on keeruline hinnata, sest see sõltub konkreetse hoone eripäradest, tehnoloogiliste lahenduste arengust ja muudest teguritest.



Joonis 4-7. Materjali samaväärses mahus taaskasutamise loogika, tuginedes Kuuma 4 andmetele

4.6 Tehaseliselt renoveeritud hoone lammutusjätmed

4.6.1 Puitpaneelide materjalide taaskasutusvõimalused

Käesoleva töö raames kasutatud Timbeco poolt tehaseliselt valmistatud puitpaneelid on renoveerimisel olemasoleva hoone külge kinnitatud kronsteinide abil. Tehaseliste paneelidega renoveerimise üks eeliseid ongi see, et need paneelid on kinnitatud lihtsal moel, mis võimaldab paneele hiljem kergesti demonteerida ning transportida.

Üheks taaskasutuse variandiks võiks siinkohal tuua puitpaneelide kasutamise uute ridaelamute ehitusel ehk sisuliselt peaks toimuma hoone puitpaneelide ümbertöstmise uude formaati ja asetusse. Paneelid toimivad tervikliku seinatarindina ehk sisaldavad kandvat osa, isolatsioonmaterjale, avatäiteid ning võimalusi tehnosüsteemide ja muude võrkude paigalduseks. Siiski tuleks antud lahenduse puhul läbi viia täiendavad uuringud ning katsetused.

Samuti saab uuesti kasutada muid paneelist kättesaadavaid materjale nagu soojustus, tuuletõkkeplaat, puitosad. Võimalik oleks taaskasutada ka fassaadiplaati ning ka näiteks aurutõkkemembraani, kuigi selle taaskasutus on soovitud oluliste tehniliste näitajate poolest raskendatud.

4.6.2 Muude materjalide taaskasutusvõimalused

Muude, lisaks puitpaneelidest saadavatele materjalidele, on samuti võimalik taaskasutusvariante leida. Need materjalid ja elemendid, mida pole varasemalt juba renoveerimisjätmete juures kirjeldatud, on toodud järgnevalt:

- Betoonpaneelid – samamoodi võimalik kasutus ridaelamute juures, näiteks kasvõi vaheseinapaneelidena. Betoonelemendid on võimalik ka lihtsalt lammutada ning pinnasetäiteks või uue betooni tegemisel kasutada. Ühe variandina võib näha ka paneelide kasutust muulide konstrueerimisel.
- Kips, kipsplaadid – Kipsi on võimalik purustada pulbriks või teha sellest pelleteid. Standardset kipsplaati, mida pole värvitud, saab ka kasutada pinnasetäitena. (Rubberbond Co 2021)
- Klaas – Taaskasutus dekoratiivelementidena. Ümbertöödeldud klaasi sulamit saab kasutada klaasvilla tootmiseks. Samuti saab klaasi kasutada telliste ja keraamika tootmisel. (Rubberbond Co 2021)
- Isolatsioonmaterjalid – Plaatisolatsioonimaterjale ning mineraalvilla on võimalik kasutada betoonplokkide, klaasvillaplaatide või klaasvillast laepaneelide tootmisel. Puistevilla puhul on võimalik see uuesti kohevaks ajada ning samamoodi taaskasutada (Rubberbond Co 2021)

- Ülejäänud materjalide puhul saaks rakendada sama kasutusviisi nagu renoveerimisel tekkinud jääkmaterjalide puhul (Vt. „Renoveerimisel üle jäävate materjalide kasutamise võimalused“), sh katuseplekk, ukсед, aknad, jms.

4.7 Testseina demontaaži jälgimine

4.7.1 Üldine katse eesmärk

Timbeco OÜ tehases vaadeldava testseina 2,4 x 2,98 m puitpaneeli demontaaži tulemusena sooviti saavutada mitmed eesmärgid. Esiteks sooviti tuvastada võimalikud murekohad materjalide kättesaamisel. Oluline oli analüüsida kättesaadavate materjalide seisukorda ja millises koguses on võimalik ühe tervikliku paneeli seest kätte saada näiteks puitprusse, tuuletõkkeplaati või villa. Lisaks arvestati tööde maksumuse hindamiseks ka töödele kuluvat ajakulu.

Paneeli lahti võtmise käigus katsetati eelkõige ventilatsioonitorustiku kättesaamist, seejuures ka „uute torude“ uuesti paneeli asetamist. Seda selleks, et näha, kuidas võiks toimida torustikuvahetus ja kas see on kerge vaevaga ning tehnoloogiliselt võimalik teostada. Paneeli demonteerisid kaks töölisi.

4.7.2 Katse käik

Paneel demonteeriti korterelamu seinalt võimalikult hoolikalt ning transporditi Timbeco Woodhouse OÜ tehasesse. Puitpaneel asetati töölauale horisontaalselt nii, et aurutõkkemembraan jääks kõige alla ning tuuletõkkeplaat peale poole (Pilt 17).



Pilt 17. Testseinapaneeli demontaaž (Kullerkupp 2021)

Esiteks eemaldati paneeli küljest naeltega kinnitatud vertikaalne roovitus, mille külge oli kinnitatud fassaadiplaat. Seejärel võeti ära näriliste eemale hoidmiseks mõeldud metallriba. Edasi eemaldati vajalikud mineraalvillatükid.

Töö käigus kasutati tikksaagi, et puitprussidest välja lõigata ligikaudu 300 mm osa torudele ligi pääsemiseks (vt Pilt 18). Hiljem oli võimalik sama puidujupp uuesti kasutusele võtta, sest lõigatud osa oli piisavalt lühike ning tegemist ei olnud kandva karkassiosaga. Lõigatud prussiosa kinnitati uuesti kruvidega olemasolevate puitosade külge. Lisati soojustus ja kinnitati tuuletõkkeplaat. Lisaks oli vajalik tuuletõkkeplaadi vuugid uuesti aurutõkketeibiga üle kleepida.



Pilt 18. Ventilatsioonitorustike kättesaamine (Kullerkupp 2021)

Pärast avati paneel uuesti, et näidata paneeli üht võimalikku lammutusprotsessi. Selle käigus lõigati lahti tuuletõkkeplaadi vuugid (teibitud kohad) ning eemaldati selle kruvid. Soojustusmaterjali (villa) sai kätte terves mahus. Edasi võeti paralleelselt lahti puitosad, karkass (nurgikud) ja paneelis sisalduvad torud.

Seinaelemendi demonteerimisel kulub aega kokku 70 minutit, seejuures oli kõige ajamahukam tsementkiudplaadi eemaldamine. Lisaks jagunes ajakulu erinevate osade vahel: kummitihendid 0,5 min; roovid 7,5 min; põhja paigaldusvöö 3 min; näriliste liist ja tsementkiudplaat 28 min; soojustusvill 3 min; kronsteinid ja karkass 1,5 min; puhvervill ja aurutõkketeib 4 min.

4.7.3 Katse materjalimahtude analüüs

Tehtud katse ajal koguti kokku kogu paneelis olnud mineraalvill, et hinnata selle kogust ja seisukorda. Villatükid jaotati oma seisukorra järgselt kolme hunnikusse: täismöödus, poolikus möödus ja utiliseerimisele minevad villatükid ehk osad, mis on rikunud või liialt väikesed, et neid saaks uuesti kasutada (Pilt 19, Pilt 20).



Pilt 19. Poolikus möödus villatükid (Kullerkupp 2021)



Pilt 20. Täismöödus villatükid (Kullerkupp 2021)

Arvestades asjaolu, et halvas seisukorras materjali ei saa oma algsel kujul uuesti kasutada, siis tuleb antud maht esmase taaskasutuse koha pealt elimineerida. Seda materjali on aga võimalik ümber töödelda. Antud puitpaneeli puhul oli sellise materjalimahu osakaal 5 % kogumahust (Pilt 21).



Pilt 21. Utiliseeritavad villatükid (Kullerkupp 2021)

Poolikus mõõdus materjali on keeruline uuesti kasutada, sest see eeldaks mõõtudele vastavat asupaika, kui sihtkohana on tegemist näiteks uue puitpaneeliga. Samasse puitpaneeli tagasi paigaldades on võimalik need villatükid samas kohas ära kasutada, kus need eelnevalt olid. Kindla peale on võimalik ja tehniliselt lihtne ära kasutada terves mõõdus olevaid villatükke, mida selle paneeli puhul oli kogumahust 60 %.

Paneeli materjali taaskasutusest jäävad kõrvale kruvid ja naelad, mida ei saa nende tavapärase materjalist eemaldamisel tekkiva kujumuutuse või purunemise tõttu uuesti kasutada. Mõned kinnitusvahendid jäid katse käigus küll terveks, kuid neid on ebamugav uuesti kasutada ning naelte ja kruvide kulu on minimaalne. Oleks tunduvalt ressursikulukam kulutada aega kinnitusvahendite sorteerimisele ning sellele, et leida lahendus, kuidas näiteks naelu uuesti naelapüstolisse saada või neid muul moel efektiivselt taaskasutada.

Uuesti tuleks paigaldada ka paneelide vahel tihendusmaterjaliks olnud mastiks. Juhul, kui on tegemist avatäitega paneeliga, siis sinna juurde ka silikoonid ja avatäiteid ümbritsevate plekkide kinnitusliim.

Ülejäänud materjale, sh puitprusse, ventilatsioonitorusid, aurutõkkemembraani ja tuuletõkkeplaati sai paneeli taas kokkupanemisel uuesti kasutada. Antud katse puhul sai need lisakinnitusvahendite abil samalaadselt tagasi paigaldada. Reaalse kasutuse korral ehk materjalide paiknemisel hoone seinas tuleb paneel lahti võtta eeldatavalt alles siis, kui üks seal sisalduvatest materjalidest on katki ja/või oma tehnilised omadused minetanud või kui hoone eluiga on lõppenud ning paneel läheb lammutusele või teatud määral taaskasutusse.

4.8 Materjalide hind ja tööde kulud

Testpuitpaneeli demonteerimise analüüsil arvestati aja- ja tööjõukulusid. Kokkuvõtvalt saadi puitpaneelis kasutatud 45 x 195 mm puitprusside hinnaks 6,18 eur/jm. Suuremate mahtude ehk rohkemate paneelide lahti võtmise puhul oleks hind vähenenud ajakulu ja töölise vilumuse tõttu ligikaudu poole madalam ehk 3,38 eur/jm. Võrreldes uute materjali hinnaga on see aga siiski kallis – näiteks, enne hoone renoveerimist aastal 2020, oli 45x195 mm prussi hinnaks 2,83 eur/jm.

Arvestades, et ehitusmaterjalide hinnad on tõusuteel, siis võib hinnavahe peagi võrdsustuda. Näiteks 2022 aasta alguses oli sarnase puitmaterjali hinnaks juba 3,63 eur/jm, mis ületab paneeli demonteerimisel saadava materjali hinna suuremahulise töö korral. (Taltech ja Timbeco OÜ 2021)

Sarnaselt puitprussidele on hinnad tõusnud ka muude materjalide puhul, mis sisaldavad ka töö tegemise maksumust ligikaudu 40 % ulatuses. Allolevas tabelis (Tabel 26) on

toodud Kuuma 4 hoone ehitusmaterjalide reaalsed maksumused hooneosade kaupa ning väljatoodud hinnad sisaldavad ka käibemaksu. Võrreldes eelarvestatud hindadega kallines kogu ehitusmaksumus 25 % ja seda põhiliselt kallinenud materjalide arvelt.

Tabel 26. Tegelikud kulud tööloikude kaupa (Taltech and Timbeco OÜ 2021)

Tööloik	Hind kokku (eur)	Ruutmeetri hind (eur/m ²)
Lisasojustuselemendid koos paigaldusega, sh aknad, fassaadikate, tõstetehnika.	425848	166
Ventilatsioon	118764	46
Küte	65012	25
Vesi ja kanalisatsioon	45021	18
Elekter	44736	17
PV paneelid	45997	18
Rõdud (uued)	44234	17
Keldri hüdroisolatsioon ja soojustamine	49101	19
Sisetööd, sh aknalauad, kipsitööd, viimistlus	124222	48
Katus, sh pööningu soojustus	113880	44
Uksed (välisüksed, tuulekodade uksed)	19726	8
Ülejäänud kulud, sh projekteerimine, laserskaneerimine, jäätmevedu, seadmete rent, juhtimine jne	199454	77
Kokku	1296000	505

5 Tulemused. Tehaselise renoveerimise ehituslikud lahendused

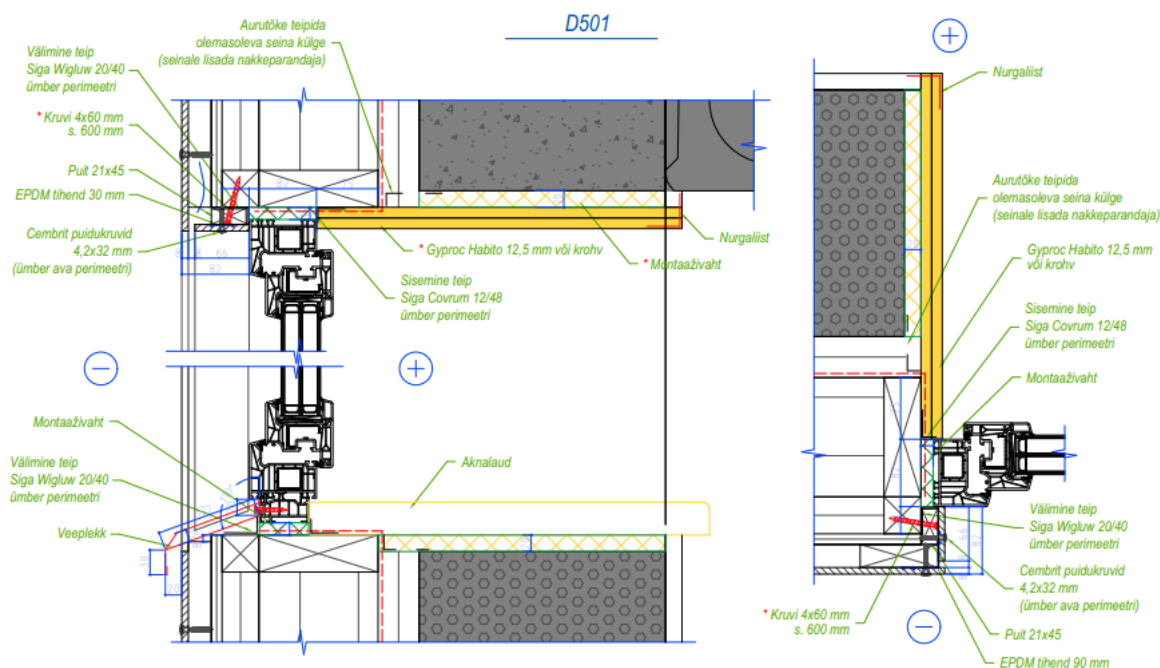
5.1 Avatäite (akna) sõlm

5.1.1 Projekteeritud sõlmelahenduse demontaaži analüüs

Antud korterelamu puhul olid aknad ja ukсед algselt kinnitatud betoonpaneelide külge. Renoveerimislahenduse puhul eemaldati vanad aknad ning uued paigaldati fassaadi soojustuse ehk lisatava paneeli tasapinda, et vältida külmasildu ning tagada parem valgustus. Akende kvaliteedi, koostisosade sobivuse ja eluea tagab akende tootja vastavate sertifikaatidega.

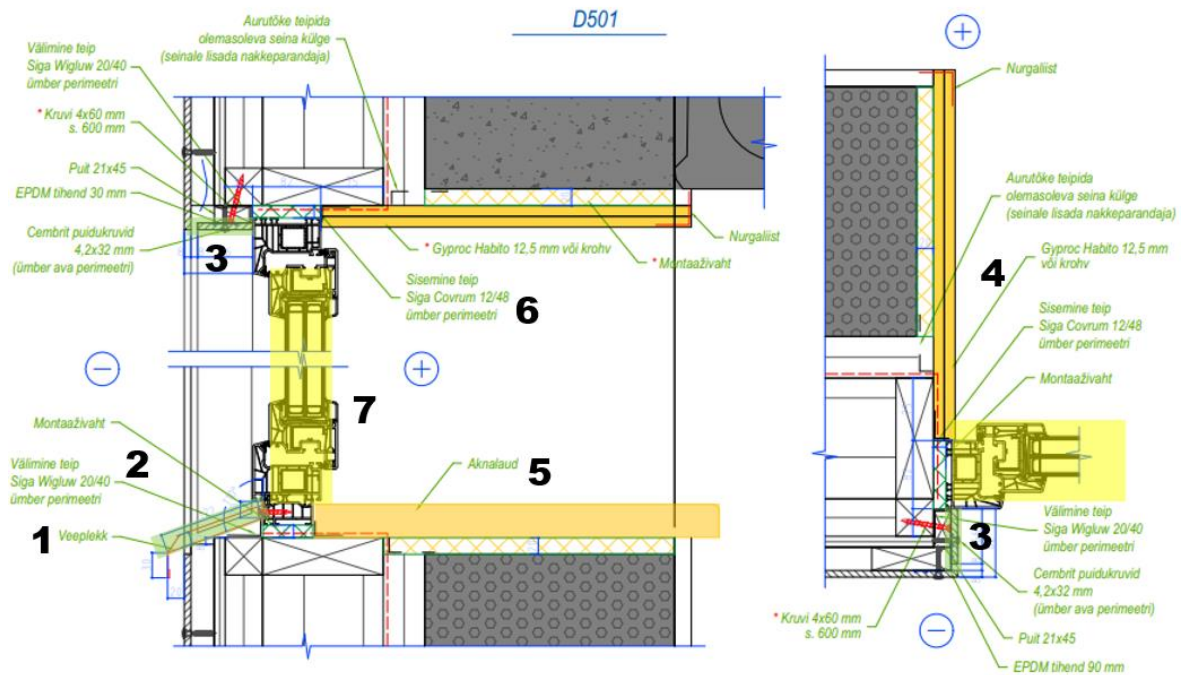
Avatäidete paigaldamisel kasutati auru- ja tuuletõkkelinte, mis parandavad soojapidavust ja õhutihedust. Projektis oli näitena toodud materjalideks Penosil Premium Sealing Tape Internal – aurutõkkena ja External – tuuletõkkena. Akna ja sellega piirduva konstruktsiooni vahelised vuugid tuli tihendada polüuretaanvahuga.

Järgnevatel joonistel on näidatud avatäidete sõlmede realselt teostatud lahendus tehaseliste paneelide kasutamisel pilootprojekti käigus. Arvutused on näidatud Exceli tabelis Lisa 2. Aknasõlme analüüs. Sarnaselt aknasõlmele lahendati ka välisuste sõlmed ning nende teoreetiline demontaaži analüüs.



Joonis 5-1. Aknasõlm tehaselisel renoveerimisel (MiHo OÜ 2019)

Sõlmejooniselt on näha, et hilisemate renoveerimistööde jaoks lammutuse jaoks või aknavahetuse tarvis tuleks järgida teatud järjekorda, et materjale mitte rikkuda. Joonisel märgitud numbrid tähistavadki hilisemat sõlme demontaaži või lammutuse järjekorda materjalide või elementide lõikes. Selle kirjeldamiseks on toodud Joonis 5-2. Aknasõlme demontaaži järjekord ja Tabel 27. Akna(sõlme) demontaaži järjekorra kirjeldus ja ringmajandusliku faktori hindamine.



Joonis 5-2. Aknasõlme demontaaži järjekord.

Jooniselt on näha, et akent demonteerida ei saa ainult seest poolt või ainult väljastpoolt. Sõlme lahendus oleks palju ringmajanduslikum, kui akent saaks vahetada ainult seestpoolt või väljastpoolt, kuna siis oleks lammutatavate materjalide tõttu kadu väiksem.

Tabel 27. Akna(sõlme) demontaaži järjekorra kirjeldus ja ringmajandusliku faktori hindamine

Veeplekk									0,90	
	Kinnitusviis								0,80	Kruviühendus
	Ligipääs ühendusele								1,00	Vabalt ligipääsetav
Teip Siga Wigluv 20/40									0,45	
	Kinnitusviis								0,10	Liimühendus
	Ligipääs ühendusele								0,80	Ligipääsetav tegevustega, mis ei põhjusta kahju
Fassaadi-plaat									0,90	
	Kinnitusviis								0,80	Kruviühendus
	Ligipääs ühendusele								1,00	Vabalt ligipääsetav
Kipsplaat (pale)									0,30	
	Kinnitusviis								0,20	Vahuga ühendus (PUR)
	Ligipääs ühendusele								0,40	Ligipääsetav tegevustega, mis põhjustavad parandatavat kahju
Aknalaud									0,45	
	Kinnitusviis								0,10	Liimühendus
	Ligipääs ühendusele								0,80	Ligipääsetav tegevustega, mis ei põhjusta kahju
Aken (teip)									0,45	
	Kinnitusviis								0,10	Liimühendus
	Ligipääs ühendusele								0,80	Ligipääsetav tegevustega, mis ei põhjusta kahju
Aken (raam)									0,80	
	Kinnitusviis								0,80	Kruviühendus
	Ligipääs ühendusele								0,80	Ligipääsetav tegevustega, mis ei põhjusta kahju
Puitpaneel									0,80	
	Kinnitusviis								0,80	Ühendus lisatud elementidega
	Ligipääs ühendusele								0,80	Ligipääsetav tegevustega, mis ei põhjusta kahju

Üldine aknasõlme ringmajanduslikkuse koefitsient tuleb aritmeetilise keskmise arvutuskäigu järgi 0,58. Kui kasutada kaalutud keskmise arvutuskäiku ning arvestada CO₂ säästu, siis oleks teoreetiliselt võimalik akna sõlme lammutuse puhul taaskasutada 65 % materjale ehk uuesti tootmisest on võimalik säästa 65 % kasutatavates materjalides sisalduvast CO₂-st.

Akna sõlmelahenduse ringmajanduslikkuse koefitsienti saab suurendada, kui lahendada aknalaua kinnitamine näiteks *click*- või magnetühenduse näol. Samuti oleks hea leida alternatiivne lahendus kipsplaatide paigaldusele. Siinkohal võiks kasuks tulla kruviühenduse kasutamine, et säilitada suurem osa eemaldatavast kipsplaadist kui liimühenduse puhul.

5.1.2 Hoone eluea jooksul tehtavad hooldustööd

Antud sõlmes olevate materjalide hooldus-, parandus- ja vahetustööde ehk eeldatavalt aknavahetuse puhul tekkiva materjalide kulu kirjeldamiseks võib kasutada samuti eelnevas peatükis toodud tabelit (Tabel 27). Akna eemaldamise lahendus on mõlema

olukorra puhul sarnane nii demontaaži järjekorra kui ka eemaldamist vajavate materjalide näol.

Uue akna paigaldamisel tuleb arvestada uute tihendusvahendite, kinnitusvahendite ning palede viimistlemisele kuluvate materjalidega nagu kipsplaat ning näiteks seinavärv. Võib juhtuda, et on vaja ka uut fassaadiplaati või muud elementi, mis võib tööde käigus vigastatud saada. Sellist materjalikulu ei saa aga üheselt fikseerida.

5.1.3 Ringmajanduslikud tegurid. Kulud

Analüüsidest aknasõlme demontaaži, saadakse järgnevas tabelis (Tabel 28) toodud andmed kulutatava energia, CO₂ ning rahalise väärtuse kohta. Täpsem info on toodud *Lisa 2. Aknasõlme analüüs*.

Tabel 28. Demontaaži kulude analüüs aknasõlme puhul

Veeplekk	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO ₂	Materjali
			[MJ/kg]	[kgCO ₂ /kg]	kulu, €
	2127,04 €/m ³	2195,10 kgCO ₂ /kg	31860	2439	2363,4
Teip Siga Wigluv 20/40	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO ₂	Materjali
	662,60 €/m ³	20,48 kgCO ₂ /kg	897	588	1997,6
Fassaadi-plaat	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO ₂	Materjali
	327,15 €/m ³	14139,85 kgCO ₂ /kg	187795	15711	363,5
Kipsplaat (pale)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO ₂	Materjali
	36,20 €/m ³	687,76 kgCO ₂ /kg	40723	2293	120,7
Akna laud	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO ₂	Materjali
	-20,74 €/m ³	6045,45 kgCO ₂ /kg	502850	17000	141,6
Aken (teip)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO ₂	Materjali
	736,59 €/m ³	-1418,27 kgCO ₂ /kg	897	588	1997,6
Aken	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO ₂	Materjali
	38008,14 €/m ³	9908,83 kgCO ₂ /kg	652821	29156	50800,7
Puitpaneel	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO ₂	Materjali
	89122,77 €/m ³	34155,14 kgCO ₂ /kg	1225836	66753	127394

Materjalide demontaaž on antud sõlme puhul võrdlemisi lihtne, sest mitmed kinnitused on tehtud mehaaniliselt. Mõningane materjalikadu on tingitud liimide kasutusest ja membraane läbistatavatest kinnitustest. Suurimad materjalikulud tulebki arvestada just tihendusmaterjalide puhul.

Antud tüüppoone puhul tekib oluline materjalikulu ka aknaava suurendamisel. Välisseinas olev aknaava tehakse suuremaks, lõhkudes seejuures nii siseviimistlust kui ka välisseina kandvaid osi (poorbetonpaneeli). Antud materjalikulu või töömahtu pole analüüsis arvestatud, sest see oleneb soovitatavast akende suurusest ning pole ilmtingimata vajalik tegevus.

5.2 Räästasõlm

5.2.1 Projekteeritud sõlmelahenduse demontaaži analüüs

Räästasõlm ühendab endas nii katuslae kui ka fassaadilahendusi, seega tuleb see hoolikalt läbi mõelda. Renoveerimise käigus eemaldatakse korterelamult vananenud materjalid, olemasolevate sarikate peale paigaldatakse hingav katuse aluskattekiile, tuulutusliist ja roov. Trapetsprofiiliga plekk-katus vahetatakse valtsprofiilpleki vastu ning fassaadile lisatakse puitpaneel ja fassaadiplaadid.

Järgneval joonisel (Joonis 5-3) on näidatud reaalne räästasõlme lahendus, mida kasutati pilootprojekti korterelamu Kuuma 4 renoveerimise käigus. Sõlmelahendusele on märgitud elementide demontaaži järjekord. Arvutused on näidatud Exceli tabelis *Lisa 3. Räästasõlme analüüs*.

Tabel 29. Räästasõlme elementide hooldustööde kirjeldus

katuseplekk									0,75	
	Kinnitusviis								0,80	Kruviühendus
	Ligipääs ühendusele								0,80	Ligipääsetav tegevustega, mis ei põhjusta kahju
	Koguhinnang ühendusele								0,80	
	Materjalide kaasamine								1,00	Avatud, ülekate puudub
	Läbivus								0,40	Ühe või mitme elemendi poolt läbistatav
puistevill									1,00	
	Kinnitusviis								1,00	Kuiv ühendus
	Ligipääs ühendusele								1,00	Vabalt ligipääsetav
	Koguhinnang ühendusele								1,00	
	Materjalide kaasamine								1,00	Avatud, ülekate puudub
	Läbivus								1,00	Läbistavaid detaile pole
ventilatsiooni-torustik katuse all									0,65	
	Kinnitusviis								1,00	Klõpsuga ühendus (Click)
	Ligipääs ühendusele								0,40	Ligipääsetav tegevustega, mis põhjustavad parandatavat kahju
	Koguhinnang ühendusele								0,70	
	Materjalide kaasamine								0,20	Ühelt poolt suletud
	Läbivus								1,00	Läbistavaid detaile pole
ventilatsiooni-torustik seinas									0,60	
	Kinnitusviis								0,80	Ühendus lisatud elementidega
	Ligipääs ühendusele								0,40	Ligipääsetav tegevustega, mis põhjustavad parandatavat kahju
	Koguhinnang ühendusele								0,60	
	Materjalide kaasamine								0,20	Ühelt poolt suletud
	Läbivus								1,00	Läbistavaid detaile pole

Hooldustööde juures on kõige kriitilisem osa seintes ja katuse all olevate torustike vahetuse või paranduse lahendamine, mis nõuab praeguse lahenduse järgi tarindites mitmete elementide eemaldamist, sest torustikud pole lihtsasti ligipääsetavad. Olukorra parandusettepanekud on toodud peatükis Tehnosüsteemide integreerimine, kus näidatakse võimalikke lahendusviise torustike iseseisvamaks hoolduseks.

5.2.3 Ringmajanduslikud tegurid. Kulud

Analüüsidest sõlme demontaaži, saadakse järgnevas tabelis (Tabel 30) toodud näidisandmed materjalide demontaažil kulutatava energia, CO₂ ning rahalise väärtuse kohta. Täpsemad ja täielikumad andmed on toodud *Lisa 3. Räästasõlme analüüs*.

Tabel 30. Demontaaži kulude analüüsi näide räästasõlme puhul

fassaadiplaat	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO2	Materjali kulu, €
	327.15	14139.85	187795	15711	363.5
	€/m ³	kgCO ₂ /kg	[MJ/kg]	[kgCO ₂ /kg]	€
fassaadiroovitus	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO2	Materjali kulu, €
	18116.84	191.35	81513	2203	22691.5
	€/m ³	kgCO ₂ /kg	[MJ/kg]	[kgCO ₂ /kg]	€
puitpaneelid/vent	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO2	Materjali kulu, €
	84860.36	50179.36	1225836	66753	127394
	€/m ³	kgCO ₂ /kg	[MJ/kg]	[kgCO ₂ /kg]	€

Materjalide demontaaž on antud sõlme puhul võrdlemisi lihtne, sest mitmed kinnitused on tehtud mehaaniliselt. Küll aga on mõningane materjalikadu tingitud liimide kasutusest ja membraane läbistatavatest kinnitustest. Suurimad materjalikulud tuleb arvestada aurutõkkemembraani ja tuuletõkkeplaadi puhul.

Aurutõkkemembraani kulu:

Sisalduv energia	Sisalduv CO ₂	Materjali kulu, €
364047	19004	5043
[MJ/kg]	[kg CO ₂ /kg]	€

Liimitud tuuletõkkeplaadi kulu:

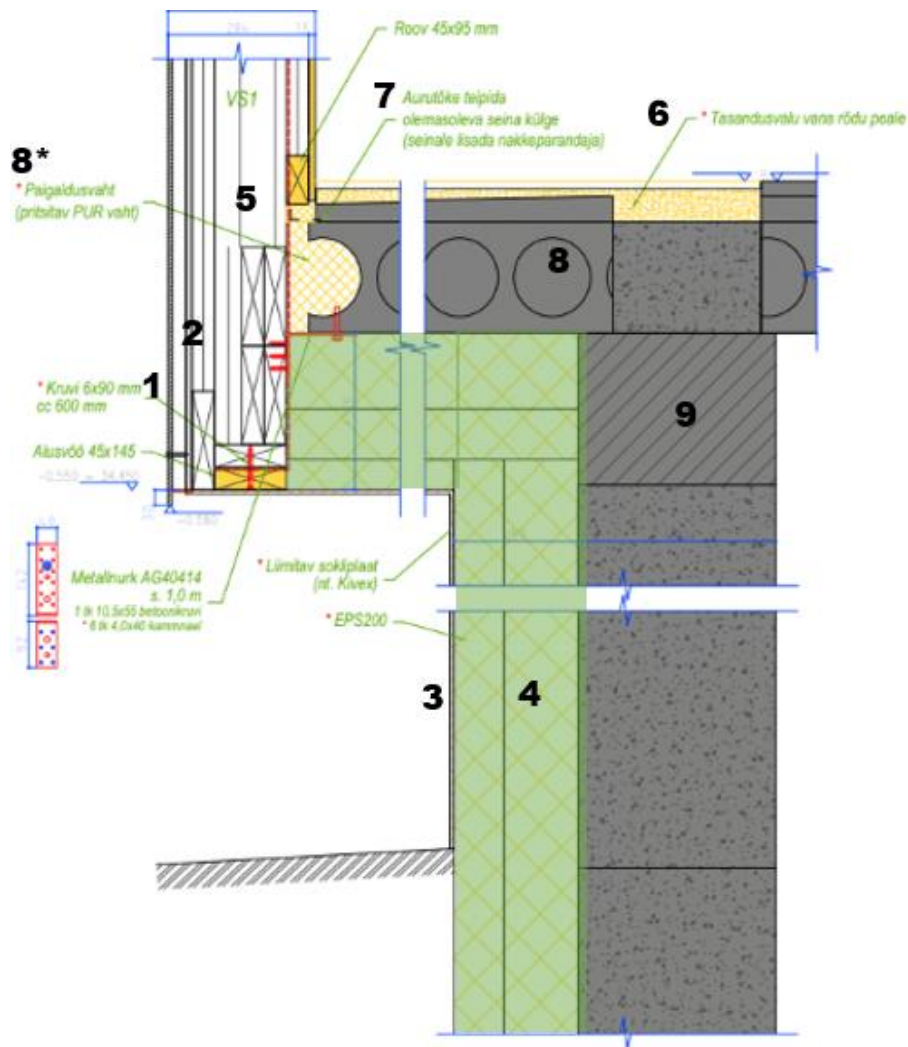
Sisalduv energia	Sisalduv CO ₂	Materjali kulu, €
40689	3404	80
[MJ/kg]	[kg CO ₂ /kg]	€

5.3 Soklisõlm

5.3.1 Projekteeritud sõlmelahenduse demontaaži analüüs

Soklisõlme lisatakse renoveerimistöde käigus soojustuskiht ning tsementkiud fassaadiplaadid. Puitseinapaneeli lisamisel jääb eelnevalt väliskeskkonnas olnud rõdu betoonpaneel sisekeskkonda, mistõttu on vajalik tekkinud lisaühendused korralikult tihendada.

Järgneval joonisel (Joonis 5-4) on näidatud kasutatud soklisõlme lahendus vana rõduga ühendamise kohast. Sõlmelahendusele on märgitud elementide demontaaži järjekord. Soklisõlme demontaaži või lammutuse järjekord materjalide või elementide lõikes ning sellekohased arvutused on näidatud tabelis Lisa 4. Soklisõlme analüüs.



Joonis 5-4. Soklisõlm demontaaži järjekorraga (MiHo OÜ 2019)

Demontaaži järjekord ning materjalide ühenduse analüüsid on toodud alljärgnevas tabelis. Nagu tabelist nähtub, siis kõige halvemate ühendusviisidega on soklisõlme juures aurutõkke materjal ning konstruktiivsed osad. Samuti raskendab asjaolusid tasandusvalu olemasolu. Siiski on võimalik betoonosaid ka nende purunemisel taaskasutada, mistõttu ei ole siinkohal otseselt tegemist parandamist vajava aspektiga.

Tabel 31. Soklisõlme demontaaži järjekord ja ringmajanduslikkuse koefitsiendid

1	fassaadiplaat									0.90
	<i>Fassaadiroovitusel</i>									
		Kinnitusviis								0.80 Kruiühendus
		Ligipäas ühendusele								1.00 Vabalt ligipääsetav
2	Fassaadiroovitus									0.80
	<i>Puitpaneeli peal (tuuletõkkeplaadil)</i>									
		Kinnitusviis								0.80 Kruiühendus
		Ligipäas ühendusele								0.80 Ligipääsetav tegevustega, mis ei põhjusta kahju
3	Sokliplaat									0.90
	<i>Soojustuse peal</i>									
		Kinnitusviis								0.80 Kruiühendus
		Ligipäas ühendusele								1.00 Vabalt ligipääsetav
4	Soojustus EPS									0.90
	<i>Sokli kandva osa peal</i>									
		Kinnitusviis								1.00 Kuiv ühendus
		Ligipäas ühendusele								0.80 Ligipääsetav tegevustega, mis ei põhjusta kahju
5	puitpaneelid/vent.šaftid									0.80
	<i>Konstruktiiisel seinal (mineraalvill nende vahel)</i>									
		Kinnitusviis								0.80 Ühendus lisatud elementidega
		Ligipäas ühendusele								0.80 Ligipääsetav tegevustega, mis ei põhjusta kahju
6	Tasandusvalu									0.55
	<i>Betoonõõnespaneelil</i>									
		Kinnitusviis								0.10 Tsementühendus
		Ligipäas ühendusele								1.00 Vabalt ligipääsetav
7	Aurutõke									0.25
	<i>Seina-põranda liitekohas</i>									
		Kinnitusviis								0.10 Liimühendus
		Ligipäas ühendusele								0.40 Ligipääsetav tegevustega, mis põhjustavad parandatavat kahju
8	Betoonõõnespaneelid									0.25
	<i>Konstruktiiisel osal, seinal</i>									
		Kinnitusviis								0.10 Tugev keemiline ühend
		Ligipäas ühendusele								0.40 Ligipääsetav tegevustega, mis põhjustavad parandatavat kahju
9	Sokli sein									0.45
	<i>Keldri põrandal</i>									
		Kinnitusviis								0.10 Tsementühendus
		Ligipäas ühendusele								0.80 Ligipääsetav tegevustega, mis ei põhjusta kahju

5.3.2 Hoone eluea jooksul tehtavad hooldustööd

Soklisõlme puhul ei ole ette näha hoone eluea jooksul tehtavaid hooldustöid, mis nõuaksid sõlme olevate elementide eemaldamist. Ainus probleem võib tekkida sokli katteplaadiga, mis võib puruneda või muul moel kahjustuda. Sellisel juhul on võimalik plaat hõlpsasti uuega asendada. Mured võivad tekkida ka erinevate läbiviikude ja näiteks avatäidete juures. Juhul, kui keldrikorruse aken puruneb, tuleks selle vahetusel tähelepanu pöörata tihendamisele ning et soojustus- või sokli katematerjal ei saaks tööde käigus kahjustada.

5.3.3 Ringmajanduslikud tegurid. Kulud

Analüüsidest sõlme demontaaži, saadakse järgnevas tabelis (Tabel 32) toodud andmed kulutatava energia, CO₂ ning rahalise väärtuse kohta.

Tabel 32. Soklisõlme demontaaži analüüs

fassaadiplaat	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO2	Materjali kulu, €
	327.15	14139.85	187795	15711	363.5
	€/m ³	kgCO2/kg	[MJ/kg]	[kgCO2/kg]	€
Tihend	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO2	Materjali kulu, €
	5636.52	-1020.33	81513	2203	22691
	€/m ³	kgCO2/kg	[MJ/kg]	[kgCO2/kg]	€
Fassaadiroovitus	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO2	Materjali kulu, €
	1098.22	-1460.94	81513	2203	22691.5
	€/m ³	kgCO2/kg	[MJ/kg]	[kgCO2/kg]	€
Sokliplaat	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO2	Materjali kulu, €
	85.63	3612.03	47972	4013	95.1
	€/m ³	kgCO2/kg	[MJ/kg]	[kgCO2/kg]	€
Soojustus EPS	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO2	Materjali kulu, €
	3858.49	6134.99	253856	7306	4297.8
	€/m ³	kgCO2/kg	[MJ/kg]	[kgCO2/kg]	€
puitpaneelid/vent.s	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO2	Materjali kulu, €
	79797.04	44994.65	1225836	66753	127394
	€/m ³	kgCO2/kg	[MJ/kg]	[kgCO2/kg]	€
	-30075	3600	1495144	84667	150449
Tasandusvalu	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO2	Materjali kulu, €
	19.80	158.40	2016	288	36.0
	€/m ³	kgCO2/kg	[MJ/kg]	[kgCO2/kg]	€
Aurutõke	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO2	Materjali kulu, €
	-16.20	-129.60	0	0	0.0
	€/m ³	kgCO2/kg	[MJ/kg]	[kgCO2/kg]	€
Betoonõõnespaneel	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO2	Materjali kulu, €
	64.80	518.40	18144	2592	324.0
	€/m ³	kgCO2/kg	[MJ/kg]	[kgCO2/kg]	€
Montaaživaht	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO2	Materjali kulu, €
	4142.63	-834.25	31625	2479	8803.7
	€/m ³	kgCO2/kg	[MJ/kg]	[kgCO2/kg]	€
Sokli sein	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Demonteerimisel tekkiv sääst (kokkuhoid uue materjali tootmiselt)	Sisalduv energia	Sisalduv CO2	Materjali kulu, €
	-184.91	7054.13	274579	23038	9946.9
	€/m ³	kgCO2/kg	[MJ/kg]	[kgCO2/kg]	€

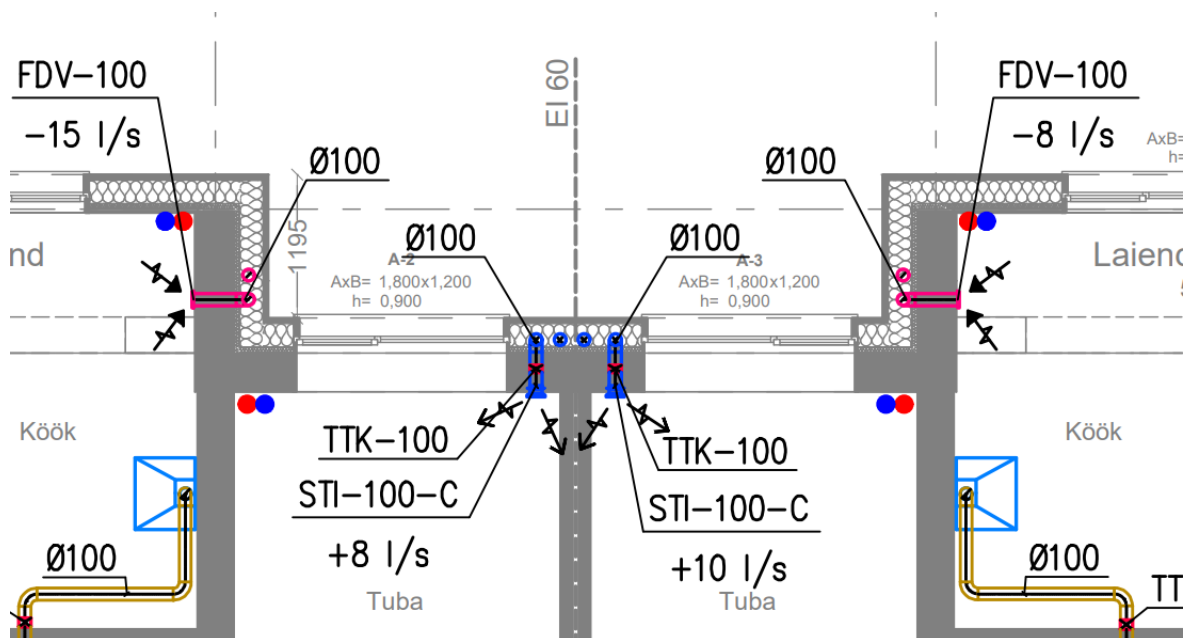
Tabelist selgub, et suur sääst tekiks fassaadiplaadi demontaažil alles jääva kasutatava materjali näol ehk sellel materjalil on potentsiaali vähendada uue materjali tootmisest tulenevate saasteainete hulka. Montaaživaht ning tihendid on materjalid, mida ei saa uuesti kasutada ning neid või arvestada 100 % kuluvana. Täpsemad andmed sõlme materjalide kohta on saadaval *Lisa 4. Soklisõlme analüüs*.

5.4 Tehnosüsteemide integreerimine

5.4.1 Renoveerimisprojekti lahenduse kirjeldus

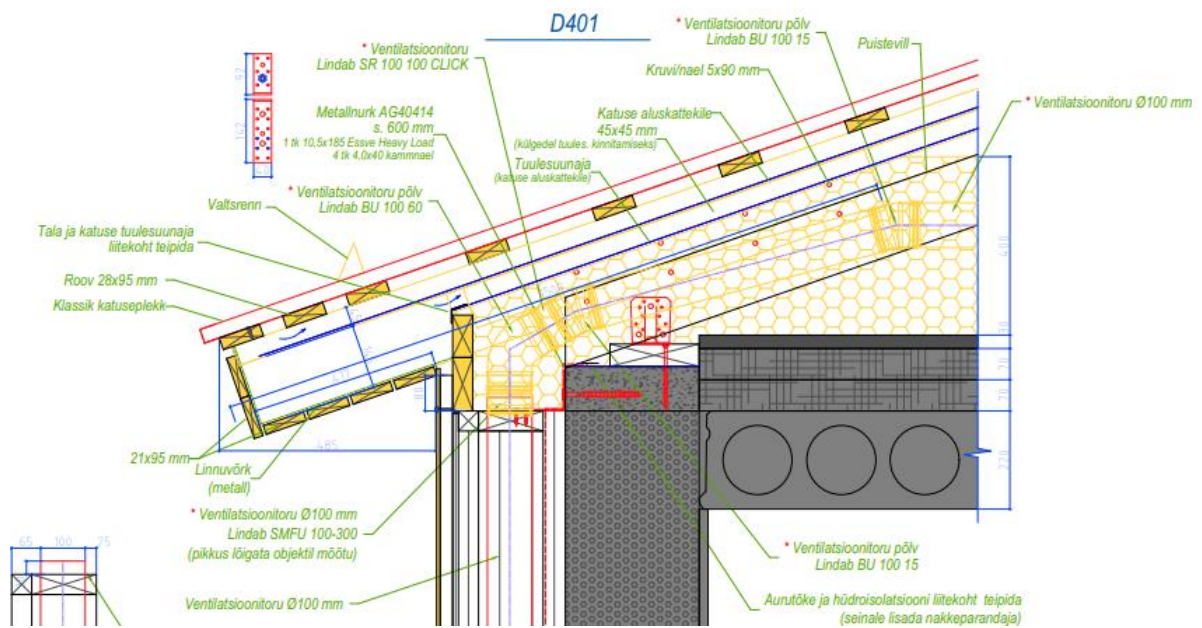
Tehnosüsteemidele on eeldatavaks elueaks määratud paarkümmend aastat, samas kui kogu hoone kestab 50+ aastat. Olgugi, et võrgustikud ja süsteemid võivad kesta ka kauem, tuleb arvestada nende uuendamisega hoone eluea vältel. See tähendab, et tuleb välja vahetada näiteks mõned ventilatsioonitorustike osad, et tagada ventilatsioonisüsteemi toimivus.

Kuuma 4 hoone renoveerimisel oligi üheks uuendatud tehnosüsteemide lahenduseks ventilatsioonitorustike väljavahetus. Need paigaldati välisseinte lisapaneelide soojustusse nagu on näidatud alloleval projektjoonisel, kusjuures sinisega on märgitud sissepuhe ning roosaga väljatõmme.



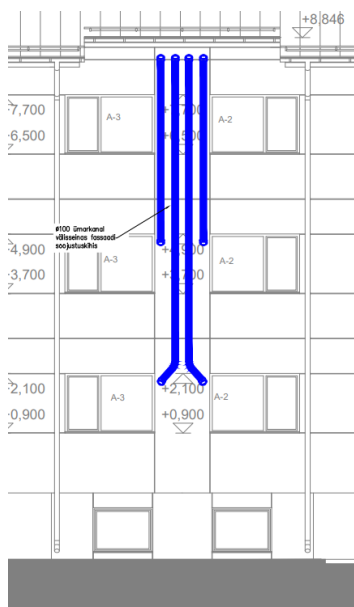
Joonis 5-5. Ventilatsioonitorustike plaan. II korrus (MiHo OÜ 2019; TIB OÜ 2020)

Lahenduses on kasutatud 100 mm läbimõõduga torusid. Projekti käigus võeti arutluse alla mitmeid erinevaid torustiku asukohaga seotud variante, et leida parim võimalik lahendus. Ülejäänud variandid jäid aga tagaplaanile ruumipuuduse tõttu. Kuna hoonel on viilkatus, siis oli vaja arvestada torustikule ligipääsuga katuslae all, mistõttu on torustikud paigaldatud plaanivaate mõistes seina keskosasse.



Joonis 5-6. Ventilatsioonitorustik räästasõlmes (MiHo OÜ 2019)

Keldrikorrusele projekteeriti vaid värskeõhuklappide olemasolu. Eestvaates näeb torustike paigutus seinas välja järgneval Joonis 5-7 toodul.



Joonis 5-7. Ventilatsioonitorustik eestvaates (MiHo OÜ 2019)

On selge, et torustikud on paigutatud seinapaneelidesse võimalikult tihedalt ning ruumi asupaikade muutmiseks pole lihtne leida.

5.4.2 Täiendatud lahendused

Olgugi, et Kuuma 4 korterelamu renoveerimisprojekti raames on tegemist tehniliselt hea lahendusega, siis sõlmede optimeerimiseks ning edaspidiste hooldustööde lihtsustamiseks oleks vaja leida veelgi paremaid lahendusi.

Üheks võimalikuks variandiks on tekitada ventilatsioonitorustikele omaette paneelidest šaht. Sellisel juhul ei pea torustikele ligi pääsemiseks suurt paneeli lammutama, vaid piisab väiksema, ainult torude ning vajaliku isolatsioonimahuga paneeli eemaldamisest. Pakutud variant rikuks aga teatud määral hoone arhitektuurilist välisilmet, sest tekitab fassaadile fassaadiplaatidest lisasektsioone, mis ei pruugi esteetilised jääda.

Samuti tekivad lisakulutused paneelide kinnituste arvu suurenemisest. Kui arvestada, et hoonele lisandub sama hulk ventilatsioonišakte nagu on ventilatsioonitorustikud Kuuma 4 hoone projektis paigutatud, siis kokku oleks vaja 29 lisa šahti korruse peale ehk paneelide mõistes: $29 * 3$ (korrust) = 87 torustikuga paneeli.

See aga tähendab, et lisaks tulevaid paneelide kinnitusvahendeid on $87*2=174$ ning lisaks tuleks arvestada nende paneelide kinnitusi, mis tehakse šahtiga „pooleks“.

Sellise lahenduse kasutamine ühest küljest hõlbustab torustike hooldustööde tegemist ja torustike vahetust ning seejuures ka vähendab materjalikadu. Lisaks võib olla lihtsam hoolduse käigus paneel eemaldada ehk pole tarvis suurt kraanat ja veokit, mis mitme meetrist puitpaneeli demonteeriks, vaid on võimalus väiksemate masinatega hakkama saada. Teisest küljest pikeneb nii tootmisperiood kui ka ehitusaegne tegevus, sest töömaht suureneb paneelide arvu mõistes. Tuleb teostada rohkem tõsteid kraanaga, tuleb lahendada kinnitused, täita rohkem vuuke ning keerulisemaks muutub ka paneelide tähistuste jälgimine, mis võib töid raskendada. Samuti, mõni sisse ulatuv sein, mis praeguse lahenduse käigus sai kaetud ühe paneeliga, tuleks šahtide lahenduse puhul kaheks või lausa kolmeks teha.

5.4.3 Jäätmemahutude võrdlus

Kuuma 4 hoone puhul võib ventilatsioonisüsteemi hoolduse või torusiku osade asenduse töödel tekkiva jäätmemahu võrdsustada testseina demonteerimistöödel tekkinud materjalikuluga. Seda seetõttu, et torustikule ligipääsemiseks on tarvis lisapuitpaneel hoonelt eemaldada ning lahti võtta. Seega, ventilatsioonisüsteemi vahetusel tekiks utiliseeritavaid jäätmeid järgnevalt:

- Mineraalvillatükid, millest läheks utiliseerimisele 5 %;
- Kinnitusvahendid (kruvid, naelad), mis tuleb torudele ligipääsemiseks eemaldada;
- Tihendusmaterjalid (mastiks), mis tuleb torudele ligipääsemiseks eemaldada.

Ventilatsioonitorustike lahenduse analüüs näitab, et sõltuvalt torustiku asukohast (katusel, seinas) on kokkuvõtlik ringmajanduslik näitaja 0,60 või 0,65 (vt Tabel 33).

Tabel 33. Ventilatsioonisüsteemi paigutuse ringmajanduslik näitaja

ventilatsiooni-torustik katuse all										0.65
	<i>Konstruktiivsel osal</i>									
	Kinnitusviis									1.00
	Ligipääs ühendusele									0.40
	Koguhinnang ühendusele									0.70
	Materjalide kaasamine									0.20
	Läbivus									1.00
ventilatsiooni-torustik seinas										0.60
	<i>Puitpaneelis</i>									
	Kinnitusviis									0.80
	Ligipääs ühendusele									0.40
	Koguhinnang ühendusele									0.60
	Materjalide kaasamine									0.20
	Läbivus									1.00

Eelnevalt kirjeldatud ventilatsioonisüsteemide täiendatud ehk uue pakutud lahenduse puhul, kus torustikud on omaette eraldi puitpaneelides, jäävad tekkivad jääkmaterjalid samaks – soojustus, kinnitus- ning tihendusvahendid. Jäätmemahud oleksid antud lahenduse puhul täpselt samad, sest paneel tuleb niisamuti avada, et torustikele ligi pääseda. Suure paneeli puhul saab seda teha samalaadselt nagu väikese paneeli puhul ehk eemaldada materjalid vaid sealt puitosade vahest, kus torud asuvad (vt Pilt 22).



Pilt 22. Ventilatsioonitorustiku avamine

Juhul kui aga muuta kinnituslahendusi, siis on võimalik jäätmemahutu ning kinnitusvahendite vajadust vähendada. Kui praeguse lahenduse puhul on vajalik eemaldada osa puitprussidest ning need hiljem kruvikinnitusega tagasi paigaldada (Pilt 23. Eemaldatav puitosa), siis ainult torustikku sisaldava paneeli puhul saaks puitraamistiku teha näiteks tappühenduste abil. Sellisel juhul hoitakse ära liigsete kinnitusvahendite kasutamine ning väheneb ka töömaht.



Pilt 23. Eemaldatav puitosa praeguse Kuuma 4 lahenduse puhul

Seinapaneeeli ringmajanduslik näitaja oleks tappühenduse puhul 0,75, mis on parem kui eelneva lahenduse korral (Tabel 34).

Tabel 34. Ventilatsioonitorustik seinapaneeelis tappühenduse korral

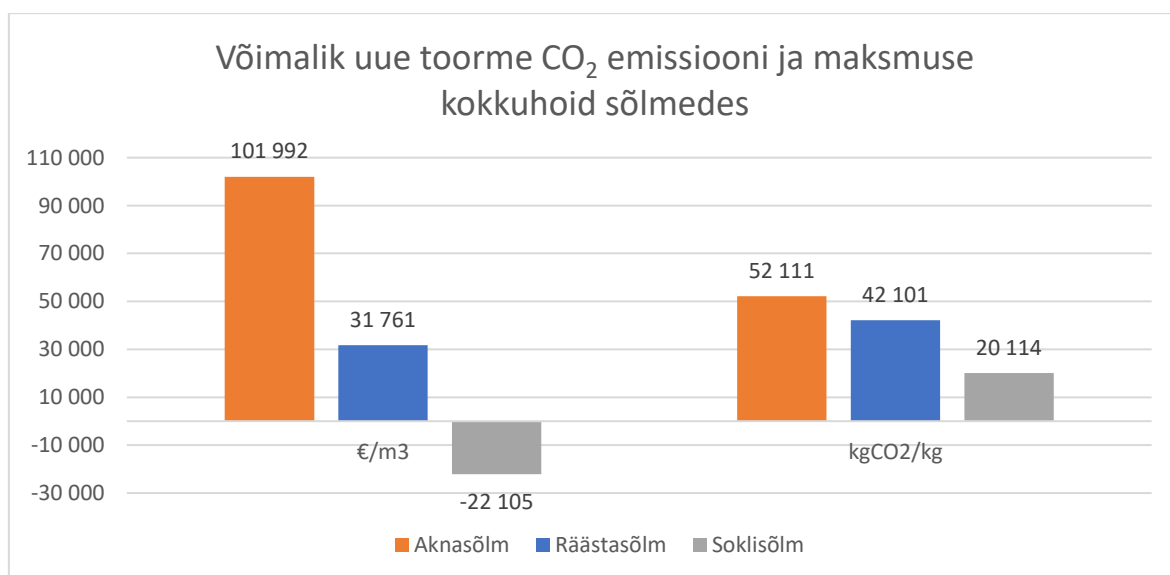
ventilatsiooni-torustik seinas										0.75
<i>Puitpaneelis</i>										
Kinnitusviis										1.00
Ligipääs ühendusele										0.80
Koguhinnang ühendusele										0.90
Materjalide kaasamine										0.20
Läbivus										1.00

6 Tulemuste hindamine

6.1 Materjalide ja sõlmede analüüsi hinnang

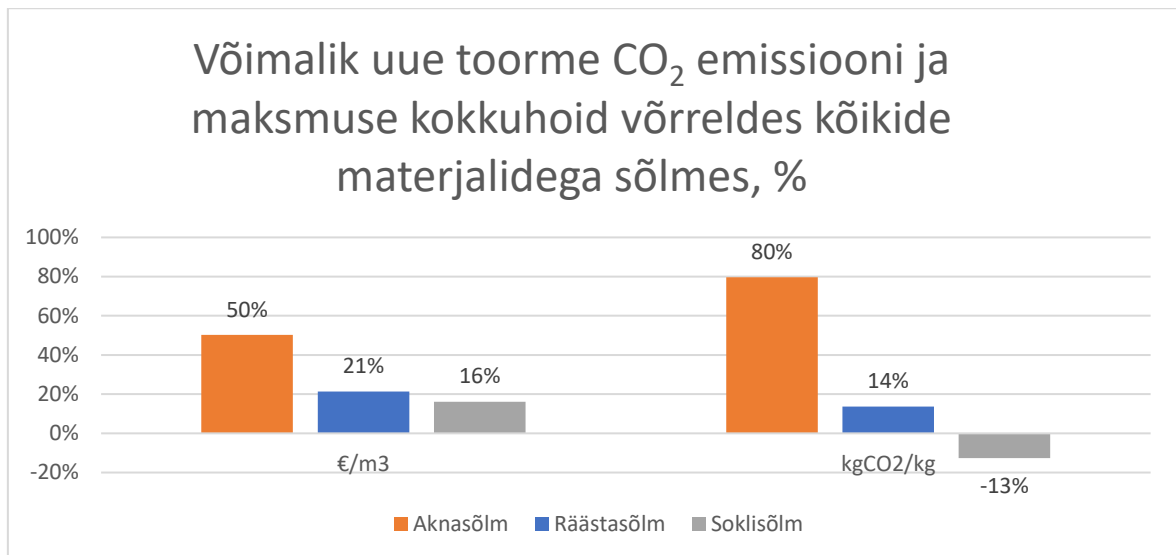
Materjalide ja tarindite sõmelahenduste analüüsi käigus saadi hea ülevaade kinnitusviiside ning materjalide omavaheliste asetuse ja ühenduste keerukusest. Kasutusel olnud Drive 0 juhendmaterjalid olid pisavaks indikatsiooniks ja aluseks, et välja selgitada materjalikulu sõlme demonteerimisel.

Töös analüüsitud kolm ehituslikku sõlme näitasid, et kõnealused lahendused ja nende integreerimine on Timbeco poolt hästi väljatöötatud. Räästa-, sokli- ja aknasõlme puhul on elemendid ja materjalid tarindist mugavalt ligipääsetavad või ka eemaldatavad ning on suur tõenäosus, et hiljem saab neid kergesti taaskasutada.



Joonis 6-1. Võimalik uue toorme CO₂ emissioonide ja maksumuse kokkuhoid sõlmedes

Kokkuvõttes saab hoolsa demontaaži puhul taaskasutuspotentsiaaliga materjali olenevalt hoone konkreetsest sõlmest kätte 16 % kuni 50 %. Maksumuse koha pealt võib kokku hoida kuni 80 %. Andmete ilmastamiseks on toodud alljärgnev Joonis 6-2.



Joonis 6-2. Võimalik uue toorme CO₂ emissiooni ja maksimuse kokkuhoid võrreldes kõikide materjalidega sõlmes, %

Sõlme või tarindi hea ringmajanduslikkuse potentsiaali saavutamisel on oluline materjalide kinnitusviis ning -vahend, sest nendest oleneb materjali kättesaadavuse lihtsus ning materjalikulu. Kõige paremate omadustega antud küsimuse puhul olid vabalt asetsevad materjalid nagu puistevill, mis ei vajagi otsest kinnitamist. Järgnesid mehaanilised ühendused nagu kruvi või naelühendused. Kõige halvemad ühendused olid tehtud liimi, mida kasutati ka lisatavate soojustuspaneelide juures, ja tsementühendusena. Kruviühenduse puhul võis arvestada ligikaudu 20 % materjalikaoga, tsementühenduse juures on see näitaja lausa 90 %.

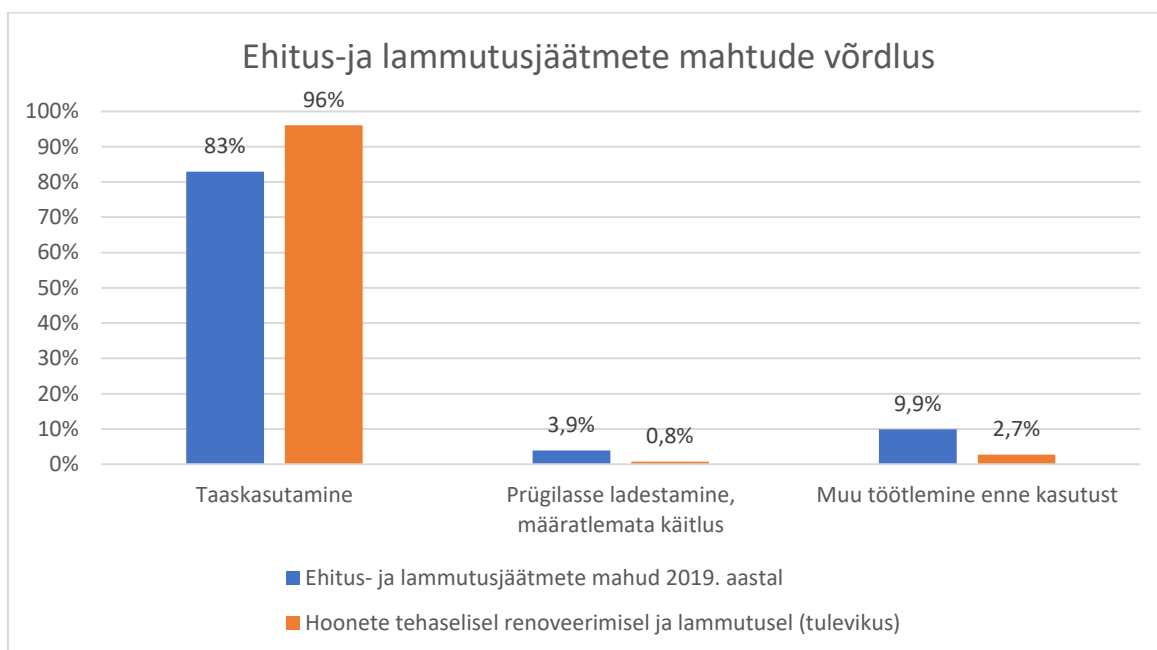
6.2 Ehitus ja lammutusjäätmete mahud tehasealise renoveerimise lahendusi kasutades

Antud töö käigus saadud tulemused Kuuma 4 korterelamu materjalide koguste, nende süsinikjalajälje, seisukorra, võimalike edasiste kasutusvariantide ning sõlmelahenduste kohta näitasid, et näitena kasutusel olnud tüüpkorterelamu puhul on renoveerimise ja/või lammutuse käigus võimalik saasteainete hulka ning energiakulu vähendada ning lisaks on võimalik saavutada ka teatud finantsiline sääst.

Mitmed materjalid asendati antud renoveerimiste käigus uutega, mis tehniliselt oleksid olnud siiski veel uuesti kasutatavad, näiteks katuseplekk. Antud korterelamu fassaadilt saadud puitmaterjali koguseks oli 7,8 m³, millest taaskasutatav oleks olnud ligikaudu 40 % ehk 3,12 m³, kuid mis praegusel juhul ümbertöötlusesse ja põletusse viidi.

Kokkuvõttes leidis näitehoonel 96 % materjale, mis hoone lammutusel oleks võimalik taas ringlusesse suunata.

Praegusel ajal tavapärase, krohvitud soojustusega seinte renoveerimislahenduse juures tekib prügilasse ladustatavaid või ebamäärase saatusega ehitusjätmeid ligikaudu 4 %. Kui aga renoveerimiste puhul hakatakse kasutama eelmainitud sõlmelahendusi, materjale ja tehaselist renoveerimisviisi, saaks jäätmete teket olulisel määral vähendada. Võttes arvesse ka materjalide erinevad võimalused nende taaskasutuseks, võiks renoveerimisel tekkivate jäätmete maht väheneda 0.2 % peale ehk ligikaudu 80 % võrra. Ehitus- ja lammutusjätmeid paralleelselt võrreldes võiks jäätmete suhe tulevikus kujuneda nagu on näidatud järgneval joonisel.



Joonis 6-3. Ehitus- ja lammutusjätmete mahtude võrdlus

Iga ehitustöö juures on oluline leida optimaalseim töövõtte ja hinnata materjalide taaskasutusvõimalusi. Antud pilootprojekti raames oli näha, et enamik korterelamult eemaldatud materjale on võimalik taaskasutada, seda kasvõi ümbertöötlemise või pinnasetäiteks kasutamise viisil. Materjale on võimalik ka samal objektil uuesti kasutada, tehes elementidest uusi vajalikke detaile (rattahoidlad) või disainelemente, mis tekkivate jäätmete hulka veelgi vähendaks.

Alapeatükkides „Renoveerimisel üle jäävate materjalide kasutamise võimalused“ ja „Tehaseliselt renoveeritud hoone lammutusjätmed“ toodi välja ka piisav loetelu võimalustest, millisel viisil võiks vanu materjali uuesti ringlusesse saata ning millest mõned, näiteks akende ja katusepleki taaskasutus, ka Kuuma 4 renoveerimistöde juures realiseeriti.

6.3 Uuringu puudused ja täiendavad tegevused

6.3.1 Reaalsete katseandmete vähesus

Töö käigus tehtud analüüs on suures osas teoreetiline. Saadud katseandmed põhinevad ainult ühe puitelemendi osa põhjal läbitehtud katsel, mis oli tehtud tehasetingimustes, esimest korda ning, suuresti kõrvalisel juhendamisel ning oluline oli ka ajaefektiivsuse faktor. Katsetused on aga puudulikud, sest nende põhjal ei saa täit pilti kõigi sõlmede reaalsest demonteerimisest ehk „kuidas töömees tarindit või sõlme päriselt lammutab“.

Kindlasti oleks reaalsetel ehitusplatsil vaja täiendavat juhendamist ja koolitusi, et ehitustööline teaks ja suudaks ettenähtud viisil materjale demonteerida ja et materjalikulud oleksid seejuures võimalikult minimaalsed. Tavapärane ehituspraktika näeb ette, et ehitusplatsil tehakse töö võimalikult kiiresti ning alles jäävatest materjalidest ei hoolita ning eriti võib see nähtus just lammutuse puhul välja tulla. Oluline oleks jälgida ka materjalide ladustamist platsil ning sihtotstarbelist edasise kasutuse määramist.

6.3.2 Hoone eripärad ja ebatäpsed sisendandmed

Olenemata sellest, et tegemist oli tüüpse korterelamuga, teostati Kuuma 4 korterelamu renoveerimise juures mitmeid erilahendusi nagu rõdude juurdeehitus ning katuseräästa pikendamine. Sellised lahendused ei pruugi iga hoone puhul paika pidada ning erilahenduste puhul kasutatavate materjalide mahud võivad oluliselt muutuda, olenevalt ruumipuudusest, finantsilistest võimalustest või muudest faktoritest.

Käesoleva töö raames analüüsitud hoone materjale on olenevalt olukorrast raske hinnata, sest ei ole võimalik kogu materjalimahu funktsionaalsuses või parameetrites visuaalselt kontrollides kindel olla. Materjalide ja elementide toimivuse väljaselgitamiseks tuleks teha lisamõõtmisi või katseid ning kasutada detailsemat analüüsi, et välja selgitada täpsemad elementide parameetrid, mis omakorda on aja lisaajakulu. Täpsemat analüüsi vajavad tehniliselt olulised tehnosüsteemide elemendid nagu kaablid, torustikud, seadmed, aga samuti ka aknad, villaplaadid, puitmaterjalid, kui on tahtmine neid suurematel objektidel ja mitte ainult eraviisiliselt taaskasutada.

Materjalimahtude kalkulatsioonides võis esineda mõningaid ebatäpsuseid tulenevalt sisendandmete allikast ning mõõtmiste või koguste ümardamistest ja ka tihedusnäitaja täpsusest. Lisaks, uuringute ja analüüsi tarbeks võiks olla kättesaadav info olemasolevates elamuhoonetes kasutatud ehitusmaterjalide kohta. Hetkel on seda keeruline leida, kuid digitaliseerimise korral on see küsimus uuemate hoonete puhul kergemini lahendatav, sest spetsifikatsioonid ning muud dokumendid on digitaalselt olemas.

6.3.3 Materjalide taaskasutusvõimalused

Taaskasutuse koha pealt tuleks leida rohkem võimalusi, mil määral saaks vanu materjale nende algses vormis efektiivselt ära kasutada. Lisaks väljapakutud variantidele on kindlasti veel valdkondi, kus võiks vanu materjale uuesti kasutusele võtta või tehnoloogilisi viise, mille abil nendega optimaalsemalt ümber käia.

Iga materjali või detaili taaskasutusse suunamine on töömahukas ja kellegi kuluv ressurss. Samalaadse analüüsi tegemisel – materjali või ehituslike sõlmede hindamine, hoolikas demontaaž, materjalide korrapärane ladustamine, materjalide transport ja organiseerimine - oleks vaja suures osas rakendada nii ajalist kui ka tahtelist ressursi. Võimalik, et oleks tarvis eraldi inimest, kes antud valdkonna eest vastutab. See oleks aga lisakulu ning on kaheldav, kas tellija sellise kuluga nõus oleks.

6.3.4 Ehituskorraldus ja väljakujunenud tavad

Kredexi osalus on Eesti korterelamute renoveerimisel võrdlemisi suur, mistõttu kasutatakse nende välja töötatud ning avalikult kätte saadavaid sõlmelahendusi üpris laialdaselt. Sellest tulenevalt oleks kasulik analüüsida Kredexi väljapakutud sõlmi ja tarindeid nende demonteerimisvariantide aspektist, et näha, kas need on täielikult optimaalselt ning ringmajandusliku suunitlusega lahendatud.

Tehaselise renoveerimise puhul on oluline miinuspool hetkel veel selle suur maksumus. Piisavate heade tehniliste näitajate, tagasiside ning kajastuse puhul oleks aga võimalik ühiskonnas tehaselise renoveerimise vastu aina rohkem huvi tekitada. Suurema nõudluse puhul on omakorda võimalik teenuse ja toodete maksumust allapoole tuua.

Tehaste võimekust ning konkurentsi tuleb suurendada ja panna paika kindlam korterelamute renoveerimise tööplaan. Võib juhtuda, et ühel hetkel pole muidu piisavalt võimekust, et efektiivselt ja kvaliteetselt puitpaneeli toota. Seega kaoks ka tehaselise renoveerimistö üks plussidest - kiireloomuline ning kontrollitud tööde käik.

Veelgi enam, ühiskonnas tuleks tekitada suurem nõudlus taaskasutatavate materjalide ning elementide koha pealt. Vajadusel tuleks välja arendada vahelaod või kogumispunktid, kus saaks hoida kasutuskõlblikke ehitusmaterjale, et need lihtsalt raisku ei läheks. Tuleks ka arvestada, et seoses valitsevate kriisiolukordadega võib materjalide maksimaalsele taaskasutusele ning renoveerimistöde mahtudele ja prognoosile kujuneda ühiskonnas uus tähendus ja mastaap.

7 Järeldused

Kokkuvõttes, töö sissejuhatavas osas püstitatud eesmärgid said täidetud ning leiti võimalusi ringmajanduse põhimõtete rakendamiseks. Tüüpse korterelamu näitel toodi välja nii reaalne kui ka teoreetiliselt võimalik jäätmete maht korterelamu tehaselisel renoveerimisel ja selle lammutusel ning näidati ära eemaldatavate materjalide potentsiaalne taaskasutuse osakaal. Samuti analüüsiti olulisemaid tehaselise renoveerimise ehituslahendusi, mille juures pakuti ka teisi, teoreetiliselt optimaalsemaid võimalusi.

Töö käigus leiti vastused esitatud uurimisküsimustele. Kasutatud materjalide ning sõlmelahenduste analüüsid näidati Lisade 1 kuni 4 hulgas. Lisaks pakuti mitmeid võimalusi materjalide taaskasutuseks ning tehti ettepanekuid ehituslahenduste parandamiseks. Samuti said eelnevalt püstitatud hüpoteesid antud töö mahu põhjal kinnitatud.

Kasutatud ehitusmaterjalide ja -toodete taas ringlusesse toomine on võimalik, kui järgida eelnevalt välja toodud ehitussõlmede lahendusi ning soovitusi materjalide ringlusesse suunamiseks. Seejuures on olulised nii elemendi tehnilised kui ka visuaalsed parameetrid, et see oma algses olekus või minimaalse töötlemisega korduvkasutusse suunata, mis oleks kõige keskkonnasäästlikum variant. Tavapärase renoveerimisprotsessi puhul ei mõelda veel piisavalt materjalide edasisele käekäigule ning nende suuremahulist ringlusesse suunamist ei toimu. Teoorias saaks aga tavapärase renoveerimise käigus taaskasutada sama suures mahus olemasolevalt hoonelt eemaldatavaid materjale nagu ka tehaselise renoveerimise puhul. Praegusel juhul taaskasutatakse tavapäraselt puhul vaid ligikaudu 85 % kõikidest ehitustöödel tekkivatest jääkmaterjalidest. Taaskasutusprotsent tehaselise rekonstrueerimise ning pakutud lahenduste puhul oleks aga kõrgem ehk kuni 98 %.

Renoveerimise või lammutuse käigus tekkivaid jäätmeid on võimalik vähendada juba ennetamise meetodil, kasutades väiksema keskkonnajalajälje materjale ning lahendades ehitussõlmed optimaalsemalt. Materjalide ning seega ka kogu hoone kui terviku keskkonnajalajälge on võimalik veelgi vähendada, kui pöörata tähelepanu materjalide CO₂ ja ka energiasaldusele. Juba algselt tuleks ehitustegevuse juures valida just need materjalid, mille tootmise käigus on tekkinud vähem emissioone või materjalid, mis on juba taaskasutuses või ümbertöödeldud ehk millised pole otse toormaterjalist toodetud. Sellisel moel aidatakse lahendada nii uue materjali tootmise vajadust ja ressursside raiskamise kui ka mujal tekkinud jäätmete probleemi.

Materjalide tarindist eemaldamise hindamine näitas, et keemiliste ühendite, liimide ja võõpade kasutamine ei ole väga jätkusuutlik tegevus, sest selliste kinnitusviiside puhul tekib demontaažil oluline materjalikulu - sõltuvalt kinnitatavast materjalist ja

kinnitusviisist kuni 90 %. Kõige parema lahenduse ringmajanduslikus mõistes annavad polt-, kruvi-, neet- ja muud taolised ühendusviisid. Võimaluse korral tasuks aga kasutada mehaanilisi ühendusi nagu tapid, *click*-ühendused ja muud, mis ei tekita materjalidele kahju. Materjalid ja elemendid saab tarindist paremini kätte, kui ristumas ei ole muid tehnilisi, konstruktiivseid või lisaelemente. Jäätmeid tekib vähem, kui materjali kinnitamisel kasutatakse mehaanilisi ühendusi ning oluline on ka eemaldatavate materjalide paiknemine demontaaži järjekorras ning eemaldatavate materjalide seisukord.

Viidates eelarvestatud ja reaalseste hindade vahelisele erinevusele, siis ehitusmaterjalide turg on viimasel ajal suuresti etteaimamatu. Lisades materjali hindade võrdlusesse hinnatõusud ülemaailmsest Covid-19 pandeemia puhangutest ja alates veebruarist 2022 ka Euroopas valitsevast sõjaolukorrast tulenevatest tootmis- ja tarnearastest, siis võib eeldada, et ehitusmaterjalide hinnad kallinevad veelgi. Arvestades juurde ka looduslike ressursside vähenemise, siis on oodata, et erinevate ehitusmaterjalide hinnad lähevad tulevikus aina kallimaks ning nende kättesaamine muutub raskemaks. Sellest tulenevalt võib veelgi kindlamalt öelda, et on oluline keskenduda materjalide taaskasutusele ning nende ringmajanduslikule käsitlusele.

Antud töös kasutatud juhendite ning analüüsi aluseks olnud tabelite põhjal on võimalik efektiivselt läbi mõelda hoone ehituslikud sõlmed ja ka tarindid üldiselt, saades nii parem ülevaade projekteeritud lahendusest. Välja toodud ehituslikke ja ka materjalide kasutamise lahendusi saab kasutada aluseks olnud hoonega sama tüüpi hoonete juures ehk lahendused saaks analoogidena üle kanda ka teistele raudbetoonpaneelidest korterelamutele. Samuti saab võtta aluseks Kuuma 4 hoone analüüsil saadud materjalide kogused, mille abil kirjeldada ka teistsuguste hoonete renoveerimislahendusi või jäätmemahatusid.

8 Kasutatud kirjandus

AKT Nr-J 01473 *Timbeco Ehitus OÜ (2022)*.

Äripäev. 2018. *Sovetiaja Kortermaja Sai Tehases Tehtud Uudsete Elementidega Liginullenergiahooneks. Äripäev.*

Brand, S. 1994. *How Buildings Learn: What Happens After They're Built. Shearing Layers of Change.* New York: Viking.

Cottafava, D., Ritzen, M., van Oorschot, J. 2020. *DRIVE 0. D6.1 Report on Benchmarking on Circularity and Its Potentials on the Demo Sites.*

Deloitte SA. 2015. *Construction and Demolition Waste Management in Estonia.*

Designing Buildings Ltd. 2011. *Construction Products Regulations.* https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Construction_Products_Regulation_CPR (24.03.2021).

Drive 0. 2021. <https://www.drive0.eu/> (3.03.2021).

Ehitusseadustik. 2021.

Emmelot, J. 2021. *Circular Housing Envelope Elements from Residual Materials.*

Euroopa Komisjon. 2008. *Euroopa Liidu Teataja 2008/98/EÜ.* 2011. *2011/753/EL.*

European Statistical Office. 2020. *Energy, Transport and Environment Statistics : 2020 Edition.* European Union.

Erbach, Gregor. 2021. *Adopting the European Climate Law.* European Parliamentary Research Service.

Hammond, Geoffrey. et al. 2011. *Embodied Carbon : The Inventory of Carbon and Energy (ICE).* BSRIA.

Idnurm, J., Kull, K. 2021. *Eesti Ringmajanduse Tulevikupotentsiaali Ja Vajalike Meetmete Uuring.* www.technopolis-group.com07. (juuni 2021).

ISO 14044:2006. *Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines*

Jäätmearuandluse infosüsteem. 2021. *Kokkuvõtte jäätmete taaskasutamisest 2019. aastal. Eesti jäätmekäitluse koondtabelid.*

<https://jats.keskkonnainfo.ee/main.php?page=content&content=summary> (14.11.2021)

Jäätmeseadus. 2021. *Riigi Teataja.*

Kalamees, Targo et al. 2009. *Eesti Eluasemefondi Suurpaneel-Korterelamute Ehitustehniline Seisukord Ning Prognoositav Eluiga. Uuringu Lõppraport.*

Keskkonnaagentuur. 2020. *Jäätmekäitluse Trendid 2014-2018. : 15–16.*

Keskkonnaamet. 2021. *Jäätmete Taaskasutamine.* <https://envir.ee/ringmajandus/jaatmed> (November 11, 2021).

Keskkonnainfo. 2019. *2019 a. Jäätmete Käitlus Tekkepõhise Nimistu Järgi. 22–24.*

- Keskkonnameedia. 2020. Polüstüreeni Tootmine Polüstüreenijäätmetest. *Keskkonnatehnika*.
- Keskkonnaministeerium. 2021a. Eesti Ringmajanduse Arengudokument Ja Tegevuskava.
- . 2021b. Jäätmed. *envir.ee*. <https://envir.ee/ringmajandus/jaatmed> (November 4, 2022).
- Kredex. Kredex Toetused. 2021. <https://kredex.ee/et/teenused/ku-ja-kov/rekonstrueerimistoetus-2020> (November 19, 2021).
- Kullerkupp, Kristel. 2021. Erakogu Pildid.
- Kuuma 4 korterelamu elanik. 2022. Erakogu Pildid.
- Lauri, Margit. 2014. *KORTERELAMUTE RENOVEERIMISTURU ÜLEVAADE JA PERIOODI 2010-2014 KORTERELAMUTE REKONSTRUEERIMISTOETUSE MÕJU ANALÜÜS*. Koostöös Kredex Eluaseme ja Energiatöhususe Divisjoniga
- One Click LCA Ltd. Life-Cycle Assessment for Green Building Experts. 2021. https://www.oneclicklca.com/life-cycle-assessment-explained/?utm_campaign=EEU%202020%20Search&utm_medium=cpc&utm_source=google&gclid=CjwKCAjwn8SLBhAyEiWAHNTJbYytjEPov04-L19jYIXvhuX6s8x654cRauO_1iiOcmNNUB-x4yp9BhoCCJkQAvD_BwE (7.01.2022).
- Lihtmaa, Lauri. 2018. *Korterelamute Renoveerimistoetuste Meetme Arendus-Lõpparuanne Tartu Regiooni Energiaagentuur*.
- Link, Sigit. 2015. *Keskkonnamõju Puitmaterjalide Tootmisest Ning Raudbetoon- Ja Puitkonstruktsioonide Ressursitöhususe Analüüs / Environmental Impact of Wooden Construction Material Manufacturing and Resource Efficiency Analysis of Concrete and Wooden Construction*. Tallinn.
- Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. 2020a. Riik Käivitab Korterelamute Tehaselise Renoveerimise Pilootprojekti. *Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium*. <https://www.mkm.ee/et/uudised/riik-kaivitab-korterelamute-tehaselise-renoveerimise-pilootprojekti> (October 9, 2021).
- . 2020b. *Tühjenud Hoonete Lammutusjäätmete Ringlussevõtu Rakendusuuringu Kava Kirjeldus*.
- Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, ja Taltech Ehituse ja arhitektuuri instituut. 2020. Hoonete Rekonstrueerimise Pikaajaline Strateegia. (2020).
- MiHo OÜ. 2019. Korterelamu Rekonstrueerimis- Ja Laiendusprojekt. Kuuma Tn 4, Saue Linn, Saue Vald, Harju Maakond. Töö Nr. 95-2019.
- Pihelo, Peep. 2018. *Tehnikaülikooli Üliõpilaselamu Tee 5A Liginullenergiahooneks*. Tallinn.
- PTT Recycling. 2021. PTT Recycling OÜ. <https://pttr.ee/ettevottest/>. (mai 2021)
- Rahandusministeerium. 2021. *Kevadine Majandusprognos*.

- Rehema, M., Nõges, K., Kirsimaa, K., Suik, K. 2020. *Kohalike Omavalitsuste Tuule-Ja Päikeseenergia Käsiraamat. Environment Institute Tallinn Centre (SEI Tallinn).* www.sei.org/tallinn.
- Riigi Teataja. 2017. Kliimapoliitika Põhialused Aastani 2050. <https://www.riigiteataja.ee/akt/307042017001> (November 10, 2021).
- Rohtmets, Merle. 2021. Ettevaatust Osaliselt Renoveeritud Kortermajadega. *Arco Vara Kinnisvarabüroo OÜ.* <https://www.arcovara.ee/et/blogi/218-maaklertegevus/112247-ettevaatust-osaliselt-renoveeritud-kortermajadega> (6.11.2021).
- Rubberbond Co. 2021. Recycling Buildings. <http://rubberbond.co.uk/blog/recycling-buildings-10-building-materials-that-can-be-reused-after-demolition/>.
- Saue Vallavolikogu. 2019. *Saue Valla Jäätmehoolduseeskiri.*
- Statistikaamet. 2021. Elamumajandus.
- Riigi Teataja.* Tallinna Jäätmehoolduseeskiri. 2011.
- TalTech et al. 2020. *Drive 0 Driving Decarbonization of the EU Building Stock by Enhancing a Consumer Centered and Locally Based Circular Renovation Process. WP3-Holistic Concept Development for the Demonstration Cases. D3.3.*
- Taltech, ja Timbeco OÜ. 2021. Tüüphoonete Rekonstrueerimise Aktuaalsed Teemad. *Ehituskeskus.*
- TIB OÜ. 2020. Ventilatsioon - Teise Korruse Plaan.
- Timbeco. 2021. Timbeco Team Develops Apartment Building Renovation Solution. <https://timbeco.ee/en/apartment-renovation-solution/> (25.03.2021).

9 Lisad

Lisa 1. Kuuma 4 hoone materjalid

Lisa 2. Aknasõlme analüüs

Lisa 3. Räästasõlme analüüs

Lisa 4. Soklisõlme analüüs

Lisa 5. Renoveerimise jääkmaterjalide edasine käekäik

Lisa 6. Renoveerimise jääkmaterjalide edasise suunitluse võimalikud variandid