



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Ehituse ja arhitektuuri instituut

**HOONETE TEHNOSÜSTEEMIDE
SÜSINIKUJALAJÄLJE ARVUTUS JA VÕRD
LUS
EESTI ARVUTUSMETOODIKA TEHNOSÜSTEEMIDE
VAIKEVÄÄRTUSEGA**

**CALCULATION OF THE CARBON FOOTPRINT OF
BUILDING SERVICES AND COMPARISON WITH THE
DEFAULT VALUES OF THE ESTONIAN METHODOLOGY
FOR BUILDING SERVICES**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Anette Kasemägi

Üliõpilaskood: 177637

Juhendaja: Ergo Pikas

Kaasjuhendaja: Kadri-Ann Kertsmik

Tallinn 2024

(Tiitellehe pöördel)

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.

“19” detsember 2024

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“19” detsember 2024

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“19” detsember 2024

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Anette Kasemägi

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

Hoonete tehnosüsteemide süsinikujalajälje arvutus ja võrdlus Eesti arvutusmetoodika tehnosüsteemide vaikeväärtusega,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Ergo Pikas ja kaasjuhendaja on Kadri-Ann Kertsmik

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.

19.12.2024

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loominguulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Ehitus ja Arhitektuuri Instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Anette Kasemägi, 177637

Õppekava, peeriala: Hoonete sisekliima ja veetehnika, Hoonete tehnosüsteemid ja energiatõhusus, EAKI02/17

Juhendajad: Ergo Pikas, Kadri-Ann Kertsmik

Lõputöö teema:

(eesti keeles) *Hoonete tehnosüsteemide süsinikujalajälje arvutus ja võrdlus Eesti arvutusmetoodika tehnosüsteemide vaikeväärtusega.*

(inglise keeles) *Calculation of the Carbon Footprint of Building Services and Comparison with the Default Values of the Estonian Methodology for Building Services*

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Arvutada ja analüüsida erinevate kasutusotstarvete hoonetele tehnosüsteemide süsinikujalajälge
2. Võrrelda arvutustulemusi Eesti süsinikujalajälje arvutusmetoodikas esitatud tehnosüsteemide vaikeväärtusega

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Koostada esmane kirjanduse ülevaade, sissejuhatus ja anda ülevaade teooriast. Kirjeldada metoodikat. Valida välja analüüsitavad projektid.	27.09.2024
2.	Arvutada hoonete tehnosüsteemide süsinikujalajäljed	25.10.2024
3.	Lõputöö põhiteksti koostamine, korrigeerimine, täiendamine, arvutuste analüüsimine. Valmistada ette vajalikud dokumendid ja failid lõputöö esitamiseks.	12.12.2024

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "...19.."..detsember....2024...a

Üliõpilane: Anette Kasemägi "...19..."..detsember.....2024.....a
/allkiri/

Juhendaja: Ergo Pikas "...19..."..detsember.....2024.....a
/allkiri/

Kaasjuhendaja: Kadri-Ann Kertsmik “.19...”.detsember.....2024.....a
/allkiri/

Programmijuht: Martin Thalfeldt..... “.19...”.detsember.....2024.....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

Lühendite ja tähiste loetelu	7
Tabelite loetelu	8
Jooniste loetelu	10
SISSEJUHATUS	12
1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE	15
Jätkusuutliku ehituse olulisus	15
1.1	15
1.1.1 Jätkusuutlik ehitus Euroopa Liidus	15
1.1.2 Põhjamaade jätkusuutliku ehitamise strateegia	16
1.1.3 Jätkusuutlik ehitamine Eestis	16
1.2 Hoone olulusring ja süsinikujalajälg.....	18
1.2.1 Hoone olulusring.....	18
1.2.2 Hoone olulusringi ajal tekkivad kasvuhoonegaasid	19
1.2.3 Hoone olulusringi analüüs ja arvutus	20
1.2.4 Hoone olulusringi hindamise lähteandmed: keskkonnadeklaratsioonid ja andmebaasid	21
1.2.5 Tehnosüsteemide süsinikujalajälg	22
2 METOODIKA.....	24
2.1 Hoonete valim	25
2.1.1 Kortermajade kirjeldus	26
2.1.2 Haridusasutushoonete kirjeldus	27
2.1.3 Kontorihoonete kirjeldus.....	28
2.1.4 Kaubandushoone kirjeldus	29
2.1.5 Majutushoone kirjeldus	30
2.2 Eesti süsinikujalajälje arvutusmetoodika	31
2.2.1 Ehitusmaterjalide tootmine (etapid A1-A3)	32
2.2.2 Ehitusmaterjalide transport ehitusobjektile (etapp A4)	34
2.2.3 Ehitustegevuse mõju (etapp A5).....	37
2.2.4 Toodete asendamine (B4).....	39
2.2.5 Hoone kasutusaegne energia (B6)	41
2.2.6 Hoone lammutus (C1)	41
2.2.7 Lammutatud materjali transport (C2).....	41
2.2.8 Lammutatud materjali töötlus (C3)	42
2.2.9 Lammutatud materjali kõrvaldamine (C4).....	43
3 TULEMUSED	45
3.1 Hoonete tehnosüsteemide süsinikujalajäljed.....	45
3.1.1 Kortermajade tulemused	45
3.1.2 Haridusasutushoonete tulemused	50
3.1.3 Kontorihoonete tulemused	54
3.1.4 Kaubandushoone tulemused	59
3.1.5 Majutushoone tulemused	63
3.1.6 Tehnosüsteemide süsinikujalajälje kokkuvõte.....	67
3.2 GWP _{fossiilne} ja GWP _{täielik} mõju tulemustele	68
3.3 Tehnosüsteemide kasutusea mõju süsinikujalajäljele.....	69
3.4 Arvustulemuste võrdlus Eesti süsinikujalajälje metoodika tehnosüsteemide vaikeväärtustega.....	71
4 ARUTELU JA ETTEPANEKUD.....	73
KOKKUVÕTE	74
SUMMARY.....	75
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	76
LISAD	79
LISA 1 Süsinikujalajälje arvutustes kasutatud materjalide mahud.....	79
LISA 2 Süsinikujalajälje arvutustes kasutatud vaikeväärtused.....	82

Lühendite ja tähiste loetelu

CO₂-ekvivalent – kasvuhoonegaaside mõõtühik, mis peegeldab kõikide KHG-de globaalse soojenemise potentsiaali 1 tonni süsinikdioksiidi kohta. Mõõtühikut saab kasutada kõikide Kyoto protokollis Lisa 1 väljatoodud kasvuhoonegaasidel. Nt1 tonn metaani on võrdväärne 28 tonni CO₂-ga. [1]

CPR - Ehitus kvaliteedi direktiiv

CRSD - Kestlikkuse aruandluse direktiiv

EED - Energiatõhususe direktiiv

EHEA – Eesti heitetegurite andmebaas

EPD – keskkonnadeklaratsioon

EPDB - Ehitiste Energiatõhususe direktiiv

GWP – global warming potetial ehk globaalse soojenemise potentsiaal

ISO – Rahvusvaheline standardi organisatsioon

KSG – kasvuhoonegaasid

LCA – Life Cycle Assesment ehk olelusringi analüüs

LCI – Life Cycle Invertory Analysis ehk olelusringi inventuuri analüüs

LCIA – Life Cycle Impact Assesment ehk olelusringi mõju hindamine

RED – Taastuvenergia direktiiv

SARV – Ehituse süsinikujalajälje hindamise vahend ehitussektori tarbeks Süsiniku jalajälje arvutamismetoodika

Tabelite loetelu

Tabel 1.1 Ehitusmaterjalide ja -toodete süsinikujalajälg elutsükli etapis A1–A3 [11]	23
Tabel 2.1 Hoonete valim kasutusotstarvete järgi	25
Tabel 2.2 Hoone 1 ja 2 tehnilised näitajad	26
Tabel 2.3 Hoone 1 ja 2 tehnosüsteemide üldised kirjeldused	26
Tabel 2.4 Hoone 3 ja 4 tehnilised näitajad	27
Tabel 2.5 Hoone 3 ja 4 tehnosüsteemide üldised kirjeldused	28
Tabel 2.6 Hoone 5 ja 6 tehnilised näitajad	28
Tabel 2.7 Hoone 5 ja 6 tehnosüsteemide üldised kirjeldused	29
Tabel 2.8 Hoone 7 tehnilised näitajad.....	29
Tabel 2.9 Hoone 7 üldised tehnosüsteemide kirjeldused	30
Tabel 2.10 Hoone 8 tehnilised näitajad.....	30
Tabel 2.11 Hoone 8 tehnosüsteemide üldised kirjeldused.....	31
Tabel 2.12 Eesti hoonete süsinikujalajälje arvutusse kaasatud hoone olelusringi etapid [35].....	31
Tabel 2.13 A1-A3 etapi arvutuses kasutatud väärtused	33
Tabel 2.14 A4 transport ehitusobjektile arvutustes kasutatud väärtused.....	35
Tabel 2.15 A4 transpordi tühisõidu arvutustes kasutatud väärtused	36
Tabel 2.16 A5 etapis arvutustes kasutatud ülekulutegurite väärtused.....	38
Tabel 2.17 B4 etapis arvutustes kasutatud süsteemiosade kasutusead	40
Tabel 2.18 C3 etapis arvutustes kasutatud väärtused.....	42
Tabel 2.19 C4 etapis arvutamiseks kasutatud väärtused	44
Tabel 3.1 Hoone 1 ja 2 tehnosüsteemide süsinikujalajälje tulemused	48
Tabel 3.2 Kortermajade olelusringide osakaal süsinikujalajäljest.....	49
Tabel 3.3 Hoone 3 ja 4 tehnosüsteemide süsinikujalajälje tulemused	52
Tabel 3.4 Haridusasutuste olelusringide osakaal süsinikujalajäljest	53
Tabel 3.5 Hoone 5 ja 6 tehnosüsteemide süsinikujalajälje tulemused	57
Tabel 3.6 Kontorihoonete olelusringide osakaal süsinikujalajäljest	58
Tabel 3.7 Hoone 7 tehnosüsteemide süsinikujalajälje tulemused.....	61
Tabel 3.8 Kaubandushoone olelusringide osakaal süsinikujalajäljest.....	62
Tabel 3.9 Hoone 8 tehnosüsteemide süsinikujalajälje tulemused.....	65
Tabel 3.10 Majutushoone olelusringide osakaal süsinikujalajäljest	66
Tabel 3.11 Hoone 1 süsinikujalajälje tulemuste võrdlus kasutades GWPfossiilne ja GWPtäielik	68
Tabel 3.12 Erinevate kasutusotstarvete hoonete tehnosüsteemide kasutusea mõju süsinikujalajäljele	69

Tabel 3.13 Eesti süsinikujalajälje meetodika tehnosüsteemide vaikeväärtused [40]	.71
Tabel 3.14 Eesti süsinikujalajälje meetodika vaikeväärtuse võrdlus uurimistöö arvutustulemustega	72

Jooniste loetelu

Joonis 1.1 Olelusringi analüüsi etapid [33]	20
Joonis 1.2 Hoone olelusringi hindamise raamistik EVS-EN 15978:2011 [29]	21
Joonis 3.1 Hoone 1 ja Hoone 2 ventilatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ e/m ²	46
Joonis 3.2 Hoone 1 ja 2 küttesüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ e/m ²	46
Joonis 3.3 Hoone 1 ja 2 vee- ja kanalisatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ e/m ²	47
Joonis 3.4 Hoone 1 ja 2 tugev- ja nõrkvoolusüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ e/m ²	47
Joonis 3.5 Hoone 1 jahutussüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ e/m ²	48
Joonis 3.6 Kortermajade olelusringide osakaal süsinikujalajäljest	49
Joonis 3.7 Kortermajade tehnosüsteemide osakaal süsinikujalajäljes	50
Joonis 3.8 Hoone 3 ja 4 ventilatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ e/m ²	51
Joonis 3.9 Hoone 3 ja 4 küttesüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ e/m ²	51
Joonis 3.10 Hoone 3 ja 4 vee- ja kanalisatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ e/m ²	52
Joonis 3.11 Hoone 3 ja 4 tugev- ja nõrkvoolusüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ e/m ²	52
Joonis 3.12 Haridusasutuste olelusringide osakaal süsinikujalajäljest	53
Joonis 3.13 Haridusasutuste tehnosüsteemide osakaal süsinikujalajäljes	54
Joonis 3.14 Hoone 5 ja 6 ventilatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ e/m ²	55
Joonis 3.15 Hoone 5 ja 6 küttesüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ e/m ²	55
Joonis 3.16 Hoone 5 ja 6 vee- ja kanalisatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ e/m ²	56
Joonis 3.17 Hoone 5 ja 6 tugev- ja nõrkvoolusüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ /m ²	56
Joonis 3.18 Hoone 6 jahutussüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ e/m ²	56
Joonis 3.19 Kontorihoonete olelusringide osakaal süsinikujalajäljes	58
Joonis 3.20 Kontorihoonete tehnosüsteemide osakaal süsinikujalajäljes	59
Joonis 3.21 Hoone 7 ventilatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ e/m ²	60
Joonis 3.22 Hoone 7 kütte- ja jahutussüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ e/m ²	60
Joonis 3.23 Hoone 7 vee- ja kanalisatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ e/m ²	61

Joonis 3.24 Hoone 7 tugev- ja nõrkvoolusüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ /m ² ..	61
Joonis 3.25 Kaubandushoone olelusringi etappide osakaalud tehnosüsteemide süsinikujalajäljes	62
Joonis 3.26 Kaubandushoone tehnosüsteemide osakaalud süsinikujalajäljes	63
Joonis 3.27 Hoone 8 ventilatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ e/m ²	64
Joonis 3.28 Hoone 8 küttesüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ e/m ²	64
Joonis 3.29 Hoone 8 vee- ja kanalisatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ e/m ²	65
Joonis 3.30 Hoone 8 tugev- ja nõrkvoolusüsteemi osade süsinikuheide, kgCO ₂ /m ² ..	65
Joonis 3.31 Majutushoone olelusringi etappide osakaalud tehnosüsteemide süsinikujalajäljes	66
Joonis 3.32 Majutushoone tehnosüsteemide osakaalud süsinikujalajäljes	67
Joonis 3.33 Tehnosüsteemide osakaal süsinikujalajäljes hoonete kasutusotstarvete järgi.....	67

SISSEJUHATUS

Eesti ehitussektoril on kohustus ehitada energiatõhusaid hooneid jätkusuutlikult. 2016. aastal jõustunud Pariisi kliima kokkulepe kohaselt peavad kõik osapooled vähendama heitgaaside koguseid, et hoida globaalset keskmist temperatuuri tõusu märgatavalt alla 2°C võrreldes tööstuseelse ajaga. Veel enam oodatakse osapooltelt jõupingutusi, mis hoiaksid ülemaailmset temperatuuri tõusu alla 1,5°C. [2] 2024. aasta on esimene aasta, millal keskmine temperatuur ületas 1,5°C piiri. [3] Selleks, et minna üle kliimanetraalsele majandusele on Euroopa Liit on koostanud Roheleppe, milles on reguleeritud erinevate sektorite sisesed ja sektorite vahelised poliitikaalgatused. See jõustus 2020. aastal ning eesmärgiks on saavutada kliimanetraalsus 2050. aastaks. [4]

Euroopa Ehitiste Energiatõhususe Direktiivist tulenevalt kehtib alates 2020. aastast Eestis kõikidele uusehitistele liginullenergia hoone nõue ehk kõik uusehitised peavad olema A-klassi energiamärgisega. Energiamärgis tõendab hoone vastavust energiatõhususe miinimumnõuetele ja annab võimaluse võrrelda erinevate hoonete netoenergia vajadust, mis kulub hoone tehnosüsteemide kasutamisele hoone kasutusajal. [5]

Hoone kogu olulusringi keskkonna mõju hindamiseks on võimalik koostada LCA (Life Cycle Assessment) ehk olulusringi analüüs, teisisõnu süsinikujalajälje arvutus. Erinevalt energiamärgisest, võtab süsiniku analüüs arvesse ehitises ja ehitusel kasutatud materjalide energiakulu ja heitkoguseid kogu olulusringi vältel. Olulusringi etapid hõlmavad tooraine kaevandamist, ehitusmaterjalide ja -toodete tootmisprotsesse, ehitusmaterjalide transporti platsile, nende paigaldamist ehitusplatsil, kasutusiga ja hooldust. Samuti hõlmab olulusringi hinnang lammutamist, jäätmekäitlust ja ringlussevõttu. [6] Süsinikujalajälje arvutuste tulemus kirjeldab ehitise globaalse soojendamise potentsiaali. Lisaks annab analüüs ülevaate, millisel olulusringi etapil on suurim mõju süsinikheitele. [7] 2024. aasta seisuga vaid viiendik Euroopa Liidu riikidest, sealhulgas Eesti naaberriigid Rootsi ja Soome, nõuavad uutele ehitatavatele hoonetele süsinikujalajälje arvutust. [8]

Eesti Vabariigi Valitsuse 2023-2027 aastate tegevusplaani kohaselt on ettenähtud, et 2025. aasta detsembriks peab olema valminud hoonete süsiniku jalajälje hindamis- ja arvutusmetoodika. [9] Eestis saab olema 2025. aasta 1. juulist süsinikujalajälje arvutamine kohustuslik kõikidele uusehitistele netopindalaga $\geq 1000 \text{ m}^2$. 2030. aastast on süsinikujalajälje arvutamine kohustuslik kõikidele uusehitistele. 2030. aastal on

plaan kehtestada ka süsinikujalajälje piirväärtused, mida püstitava hoone süsinikujalajalg ületada ei tohi. [10]

2022. aastal Eesti Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi poolt tellitud projekti raames avaldati esialgne süsinikujalajälje arvutusmetoodika olulusringi analüüsi tegemiseks. [11] Projekti raames loodud CO₂ kalkulaatori eesmärk on eelkõige tutvustada ehitussektorile, kuidas ja millised tegurid mõjutavad hoone elutsükli jooksul tekkivate CO₂ heitkoguste hulka. [12] 2024. aasta sügisel avaldati ghg.ee leheküljel Kliimaministeeriumiga koostöös hoonete süsiniku jalajälje arvutamise lihtsustamiseks erinevad tööriistad. Nende seas on süsiniku jalajälje arvutustööriist SARV, metoodika tehniline dokument ning Eesti ehitusmaterjalide heitetegurite andmebaas EHEA. [13]

EHEA hõlmab 127. Eestis enim kasutusel oleva ehitusmaterjali keskmiseid CO₂-ekvivalent heitetegureid. Heitetegurite väärtused on valminud erinevate materjalide tootjate poolt väljastatud keskkonnadeklaratsioonides (EPD) esitatud väärtuste põhjal. Tegurite väljatöötamisel kaasati Eesti ehitussektori materjalide tootjad. [13] Andmebaasis on väljatoodud viie eri kasutusotstarbega hoone tehnosüsteemide süsiniku jalajälje vaikeväärtus, mis näitab hoone globaalset soojenemise potentsiaali hoone 1 ruutmeetri kõetava pinna kohta.

Tehnosüsteemide vaikeväärtused tuginevad Soome andmebaasile co2data.fi. Tehnosüsteemide alla kuuluvad arvutusmetoodikas kõik süsteemid, mille eesmärk on tagada hoone sisekliima ehk muuta hoone mugavaks, funktsionaalseks, tõhusaks ja ohutuks nagu on kütte-, ventilatsiooni-, jahutus-, vee-, kanalisatsiooni-, nõrk- ja tugevvoolusüsteemid. [14] Eesti metoodikas on tehnosüsteemide vaikeväärtuses arvestatud vaid materjalide tootmisest tingitud süsinikuheidet. [13] Tehnosüsteemide kasutusega võib olla täielikult või osaliselt kaks kuni neli kord väiksem võrreldes hoone kogu eeldatava kasutusega, milleks on 50 aastat. [15] Süsinikuheidet, mis tuleneb tehnosüsteemide asendamisest ei ole metoodikas arvestatud, kuid see on märkimisväärne osa kogu tehnosüsteemide jalajäljest. Seda on aga arvesse võetud Soome süsiniku jalajälje metoodikas. [16] Eesti metoodika vajab tehnosüsteemide asendamisetapi täiendavat täpsustust. Käesoleva lõputöö peaesmärgiks on luua terviklikum ülevaade hoone tehnosüsteemide süsinikujalajäljest. Lähtuvalt peaesmärgist on sõnastatud

1. Luua ülevaade hoonete tehnosüsteemide olulusringi arvutamisest.
2. Arvutada korterelamu, haridusasutuse, kontori-, kaubandus- ja majutushoone hoonete tehnosüsteemide süsinikujalajalg.
3. Võrrelda arvutustulemusi Eesti süsinikujalajälje arvutusmetoodikas esitatud tehnosüsteemide vaikeväärtusega.

Eesmärkide täitmiseks on magistritöö jaotatud neljaks osaks. Esimeses osas antakse kirjanduse ülevaade jätkusuutliku ehituse vajadusest. Magistritöö teises osas kirjeldatakse Eesti süsinikjalajälje arvutusmetoodikat ja tehakse ülevaade analüüsitavatest hoonetest. Kolmandas osas viiakse läbi süsinikjalajälje arvutused, esitatakse nende tulemused ja analüüsitakse saadud andmeid. Lõputöö viimane osas on esitletud järeldused ja ettepanekud.

1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Kirjandus ülevaate peatükk kirjeldab ehitussektori energiatarbimise mõju kliimasoojenemisele. Tuuakse välja erinevaid rahvusvahelisi ning kohalikke kokkuleppeid ja strateegiad, kuidas 2050. aastaks muuta ehitus süsinikneutraalseks. Peatüki teises pooles kirjeldatakse hoone olulusringi ning olulusringi hindamisprotsessi ja selle vahendeid.

1.1 Jätkusuutliku ehituse olulisus

Ehitussektor on ülemaailmselt üks suurimaid energiatarbijaid moodustades 30-40% maailma energiatarbimisest. Seetõttu on ehitussektor üks suurimaid kasvuhoonegaaside tekitajaid, põhjustades kliimasoojenemise protsessi kiirendamist. [17] 2022. aastal avaldatud ÜRO keskkonnaprogrammi raportis on kirjeldatud, et ehitussektori põhjustab globaalselt ligikaudu 37% kasvuhoonegaasidest ning ehitussektor ei ole hetkel teinud piisavalt vajalikke muudatusi oma tegevuses, mis aitaks ehituse muuta 2050. aastaks süsinikneutraalseks. [18] 2018. aastal tõusis maailma keskmine temperatuur ligikaudu 1°C võrreldes industrialiseerimisele eelnenud ajale. [15] 2024. aasta kümne esimese kuu keskmiste temperatuuridele tuginedes saab öelda, et 2024 on esimene aasta, mille keskmise temperatuuri tõus on ületanud 1,5°C piiri [3] ning ei ole enam täidetud üks Pariisi kokkuleppes tulenev eesmärk. Kliimasoojenemise tulemusel muutuvad äärmuslikud ilmastikutingimised aina sagedamaseks. Äärmuslikud ilmingud nagu pikaajalised põuaperioodid, rekordkuumused, kiiremas tempos liustike ja igikeltsa sulamised, üleujutused ning tormid mõjutavad ülemaailmselt ökosüsteemide säilimist ning majandust ja toidutoomist. [19] Ehitussektori mõju kliimamuutustele saab piirata kui vähendada tarbimisest tekkivaid heitmeid. Lisaks tuleb ehitusmaterjale toota ja arendada aina väiksema süsinikujalajäljega. [15]

1.1.1 Jätkusuutlik ehitus Euroopa Liidus

Vältimaks ehitamist tulevaste põlvkondade arvelt on Euroopa Liit koostanud ja kehtestanud direktiive, mida Euroopa ehitussektor peab jälgima. Need on järgmised: EED (Energiatõhususe direktiiv), EPBD (Ehitiste Energiatõhususe Direktiiv), RED (Taastuvenergia Direktiiv) ja CPR (Ehitusmaterjalide ja -toodete direktiiv). Energiatõhususe direktiivid [20], [21] reguleerivad ja suunavad kõiki Euroopa Liidu riikides ehitama hooneid, mis on ehitus- kui ka eksploatatsiooniperioodil energiatõhusad. EPBD direktiivist tulenevalt kehtib alates 2020. aastast Eestis kõikidele uusehitistele liginullenergia hoone nõue ehk kõik uusehitised peavad olema A-klassi

energiamärgisega. Energiamärgis tõendab hoone vastavust energiatõhususe miinimumnõuetele ja annab võimaluse võrrelda hoonete netoenergia vajadust, mis kuulub hoone tehnosüsteemide toimimisele hoone kasutusajal. [5] Hoone kogu elukaare energiakulu mõju hindamiseks on võimalik koostada hoone olelusringi analüüs, mis näitab numbriliselt kasvuhoonegaaside globaalse soojendamise potentsiaali (Global Warming Potential ehk GWP) määratud kasutusea jooksul.

Euroopa Liit uuendas 2024. aasta aprillis Ehitiste Energiatõhususe Direktiivi 2024/1275. Direktiivi uuendus toob kaasa Euroopa liikmesriikidele kohustuse arvutada süsinikujalajälg ja tulemused esitatakse hoone energiämärgisel. Direktiivi nõuete kohaselt tuleb alates 2028. aastast GWP esitada kõigi uute hoonete puhul, mille suletud netopindala on suurem kui 1000m². Alates 2030. aastast kehtib GWP arvutuskohustus kõikide uute hoonete puhul. [22] Hoone süsinikujalajälje arvutamine ja hindamine on saanud peamiseks vahendiks, mis annab võimaluse analüüsida hoone elukaare jooksul tekkinud heitekoguseid, et leida võimalusi keskkonnamõjude vähendamiseks.[7]

1.1.2 Põhjamaade jätkusuutliku ehitamise strateegia

2018. aastal algatasid Taani, Soome, Islandi, Norra ja Rootsi ministriumid Põhjamaade Jätkusuutliku Ehituse (Nordic Sustainable Construction) organisatsiooni, mille eesmärgiks on edendada ehitussektori jätkusuutliku tegevust ja vähendada ehitussektori keskkonnamõju. 2023. aastal avaldatud organisatsiooni teekaart [23] kirjeldab koostööstrateegiat Põhjamaades sh Eestis. Strateegilisi eesmärke on teekaardis toodud välja kolm:

1. Riikide hoone olelusringi meetodite ja regulatsioonide ühtlustamine
2. Euroopa Liidu poolt kehtestatud kliimaeesmärkidesse panustamine ja olla eesmärkide täitmisel regioonina Euroopas eeskujuks
3. Riikide ametiasutuste vahelise tiheda koostöö jätkamine ja edendamine

Need eesmärgid on osa laiemast Põhjamaade juhtide visioonist „Nordic Vision 2030“, mille peamine eesmärk on Põhjamaa piirkond muuta omavahel tihedalt integreerituks ning saavutada maailma mastaabis kõige jätkusuutlikum piirkond. [24] Tihedas koostöös Põhjamaadega on Eestil võimalus olla selles valdkonnas teadlikum ja aidata täita üleeuroopalisi kohustusi.

1.1.3 Jätkusuutlik ehitamine Eestis

2023. aastal kinnitas Eesti majandus- ja taristuminister „Ehitus programm aastateks 2023 – 2026“ [25], mille eesmärgiks on kujundada paremad tingimused ja eeldused jätkusuutlikule ehitusele ning kättesaadavamale elamufondile. Jätkusuutliku ja

kättesaadava elamufondi loomine on oluline tagamaks, et kõigil Eesti inimestel oleks võimalus turvalisele, energiatõhusale, keskkonnasõbralikule ja tervist säästvale elamispinnale, sõltumata nende asukohast.

Rauno Lõhmus on oma 2023. aasta lõputöös [26] uurinud Eesti ehitus- ja kinnisvarasektori teadlikkust hoone süsinikujalajälje tekkest, mõjust ja vähendamise viisidest. Lõhmuse lõputöö keskendub peatööttevõtete ja arendajate teadlikkust ning analüüsib vaid ehitusaegset süsinikujalajälje vähendamise võimalusi. Intervjuude läbi viimisel selgus, et kahjuks on veel turg üles ehitatud vähempakkumistele ning tihti pole tellija hankes toonud välja kriteeriume, mis nõuaks keskkonnasäästlikumat ehitust.

Hoonete energiatarve moodustab Eestis ligikaudu 50% riigi lõppenergia tarbimisest, mis ületab EL-i keskmist taset 40%. Seetõttu on energiatarbimise vähendamine hoonetes üks kliima- ja energiapoliitika peamisi prioriteete. [25] Jätkusuutliku ehitust Eestis reguleerib Euroopa Liidu direktiivid ning lisaks ka kohalikud suunitlused. Eesti Vabariigi Valitsus on oma 2023-2027 aasta tegevusprogrammis [27] seadnud 2025. aasta detsembriks järgmise ülesande: „Uutele hoonetele olulusringipõhise süsinikujalajälje hindamise nõude seadmine“. Eesti eesmärgid võrreldes Euroopa Liidu poolt kehtestatud sätetest eespool, sest juba alates 2025. aasta juulist on kõikidele uus ehitistele süsinikujalajälje arvutus kohustuslik, mis vastab järgmistele tingimustele [28]:

1. Hoone suletud netopind on üle 1000 m²
2. Hoone sisekliima ja ruumiõhu kvaliteedi tagamiseks kasutatakse energiat
3. Hoone ehitusloa taotlus on väljastatud alates 01.07.2025

Alates 2030. aasta 1. jaanuarist tuleb esitada süsinikujalajälje arvutus kõikidele uuehitistele, mille sisekliima ja ruumiõhu kvaliteeditagamiseks kasutatakse energiat olenemata selle hoone pindalast. Lisaks arvutusele kehtestatakse 2030. aastal süsinikujalajälje piirväärtused ning energiamärgisel olev süsinikujalajälje väärtus peab jääma piirväärtusesse. [28]

Süsinikujalajälje arvutamiseks on välja töötatud Eesti riiklik süsinikujalajälje meetod, mis valmis 2024. aastal LIFE IP BuildEST projekti raames. [13] Lisaks metoodikale avaldati koostöös Eesti ehitussektoriga valminud materjalide heitekoefitsientide andmebaas nimega EHEA, Ehituse süsinikujalajälje hindamise vahend ehitussektori tarbeks nimega SARV ja Kasvuhoonegaaside inventuuri vahend ettevõtetele ja organisatsioonidele nimega OKAS. Eesti süsinikujalajälje metoodikat on lähemalt kirjeldatud käesoleva lõputöö peatükis 2 METOODIKA.

1.2 Hoone olelusring ja süsinikujalajälg

1.2.1 Hoone olelusring

Hoone olelusring saab alguse hoone projekteerimist ning lõpeb hoone lammutamise ja lammutamisest tekkinud jäätmete utiliseerimisega. [29] Hoone olelusringi põhietapid standardi ISO 15978 põhjal on:

1. Ehituseelne etapp
2. Ehitusmaterjalide tootmisetapp (A1-A3)
3. Ehitusetapp (A4-A5)
4. Kasutusetapp (B1 – B7)
5. Lõppkäitlusetapp (C1-C4)
6. Lisaetapp, mõju väljas pool süsteemi piire (D)

Ehitusmaterjalide tootmisetapp (A1-A3) hõlmab endas ehitusmaterjalide tootmisega seotud protsesse. A1 etapp kirjeldab materjali tooraine kaevandamist ja töötlemist. A2 hõlmab toorme transporti tootja juurde. Valmistamise etapi kirjeldab etapp A3. A1-A3 etappe võib deklareerida ja esitada koondatult. [30]

Ehituseetapp (A4-A5) hõlmab etappe, mis on seotud materjalide ja komponentide ehitusplatsile toimetamise ning nende paigaldamisega. A4 kirjeldab materjalide transporti ehitusplatsile ja sealt ära. A5 hõlmab protsesse ehitusplatsil sh materjalide jäätmete käitlemine, hoone kütmine jms energiakulumis protsesse ehitusplastil. [30]

Kasutusetapp (B1 – B7) hõlmab endas protsesse, mis on seotud hoone kasutamisega. B1 kirjeldab materjalide vananemis protsessi. B2 hõlmab endas hooldusega seotud tegevusi sh puhastamine ja korraliste tehnosüsteemide tehnilise toimivuse kontrolli. B3 etapp hõlmab hoone või hoone osa remontimisprotsesse. B4 hõlmab endas komponentide või materjalide toodete asendamist. Asendamise protsess hõlmab selle komponendi valmistamist, transporti, paigaldamist ja lõppkäitlust. B5 etapiga kirjeldatakse hoone renoveerimisega seotud protsesse. B6 etapp käsitleb hoone tehnosüsteemide energiatarbimist hoone kasutusajal. B7 etapp hõlmab endas tarbeveevajadust hoone kasutusajal. [30] Eesti metoodikas on kaasatud B4 ja B6 etapp.

Lõppkäitlusetapp (C1-C4) hõlmab etappe, mis keskenduvad hoone lammutamisele ja materjalide käitlusele. C1 etapp hõlmab endas hoone lammutamise protsesse, mis toimuvad lammutusplatsil. C2 etapp piiritleb lammutatud materjali transporti jäätme töötlemiskohtadesse või jäätmejaamadesse. Jäätmete ringlusvõtu protsesse

kirjeldatakse etapis C3. Kõik jäätmed, mida ringlusesse ei võeta kõrvaldatakse ning seda protsessi kirjeldatakse etapis C4. [30]

Lisaetapp (D) on etapp, mis eksisteerib väljas pool hoone süsteemi piire. D etapp ei kuulu otseselt hoone elutsükli etappidesse vaid see hõlmab endas keskkonna netotulu või koormust, mis tuleneb jäätmete ringlussevõtust või energia taaskasutamisest. [30] Eesti metoodikas seda etappi kaasatud ei ole.

1.2.2 Hoone olelusringi ajal tekkivad kasvuhoonegaasid

Kasvuhoonegaas (KHG) on mis tahes gaas atmosfääris, mis neelab ja kiirgab soojust ning seeläbi hoiab planeedi atmosfääri soojema, kui see muidu oleks. Peamised kasvuhoonegaasid Maa atmosfääris on veeaur, süsinikdioksiid (CO₂), metaan (CH₄), dilämmastikoksiid (N₂O) ja osoon (O₃). Süsinikdioksiid on kõige levinum kasvuhoonegaas, mida inimtegevus emiteerib, nii koguse kui ka globaalse soojenemise mõju poolest. Seetõttu kasutatakse terminit „CO₂“ mõnikord lühendina kõigi kasvuhoonegaaside tähistamiseks, kuid see võib põhjustada segadust. Täpsem viis viidata mitmele kasvuhoonegaasile ühiselt on kasutada terminit „süsinikdioksiidi ekvivalent“ ehk „CO₂e“ [31]

Hoone kogu olelusringi käigus paiskub atmosfääri energia kasutamisest kasvuhoonegaaside heiteid. Selliseid kasvuhoonegaaside heiteid on võimalik jagada kaheks [15] :

1. Materjalidega seotud heide ehk materjalides kehastunud heide, mis tekib hoone ehitamisel, rekonstrueerimisel ja demonteerimisel
2. Hoone kasutusaegse energiatarbimisest tekkiv heide ehk heide, mis tekib vajamineva soojus- ja elektrienergia tarbimisel hoone soovitud toimivuse tagamiseks

Enamasti on kasutamisega seotud heitmed hoone olelusringi ajal suurema osakaaluga kui kehastunud heitmed. Kasutamisega seotud heite võimalik osakaalu vähendamine on võimalik, kui paraneb hoone enda energiatõhusus ning kasutatava energiatootmise süsinikjalajälg väheneb. [15] Energiatõhusate hoonete puhul võib kehastunud heitmete osakaal küündida kuni 40-45% kogu heitmete osakaalust, seepärast on tähtis üha enam pöörata tähelepanu kehastunud süsiniku vähendamisele. [32] Veelgi enam kehastunud heite osakaal suureneb ajas eeldusel, et energia muutub puhtamaks ning hooned energiatõhusamaks. [15] Kehastunud heite mõju on võimalik vähendada, kui ehitamisel kasutada ehitusmaterjalide, mille tootmisest tingitud süsinikjalajälg on viidud miinimumi. [32]

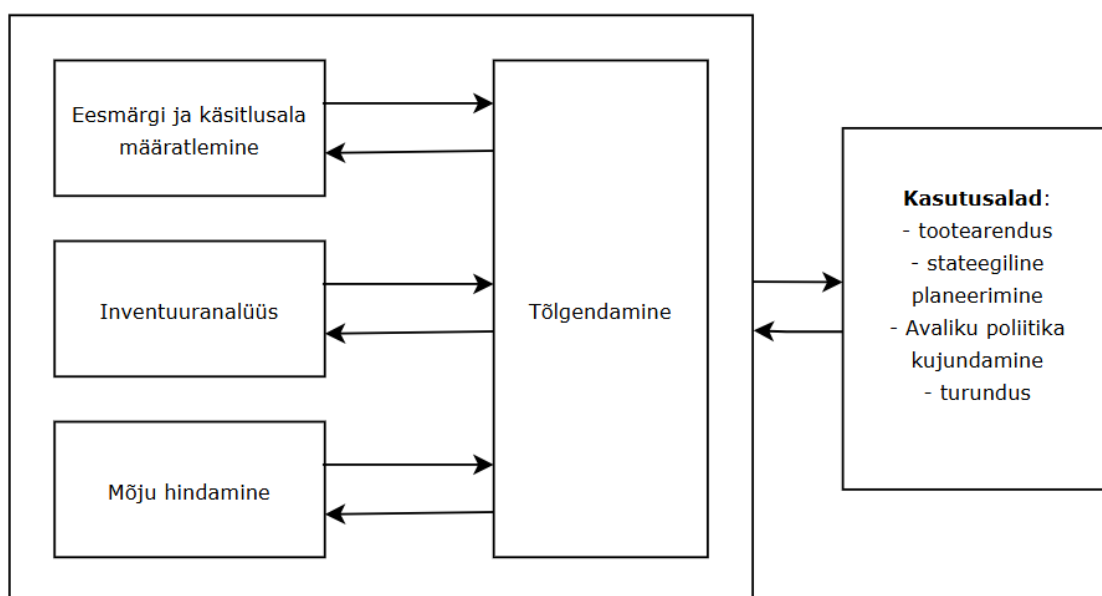
1.2.3 Hoone olelusringi analüüs ja arvutus

LCA ehk olelusringi analüüs on meetod hoone keskkonnamõjude hindamiseks. LCA põhimõtteid ja raamistikku on kirjeldatud standardis ISO 14040:2006 [33]. LCA täpsemad arvutusnõuded ja juhised on kirjeldatud standardis ISO 14044:2006 [34].

LCA ehk olelusringi analüüs on töövahend, millega on võimalik erinevate toodete (sh ka teenuste) tootmise ja tarbimise keskkonna mõju mõista ja hinnata. Analüüs hõlmab endas järgmiseid olelusringi etappe:

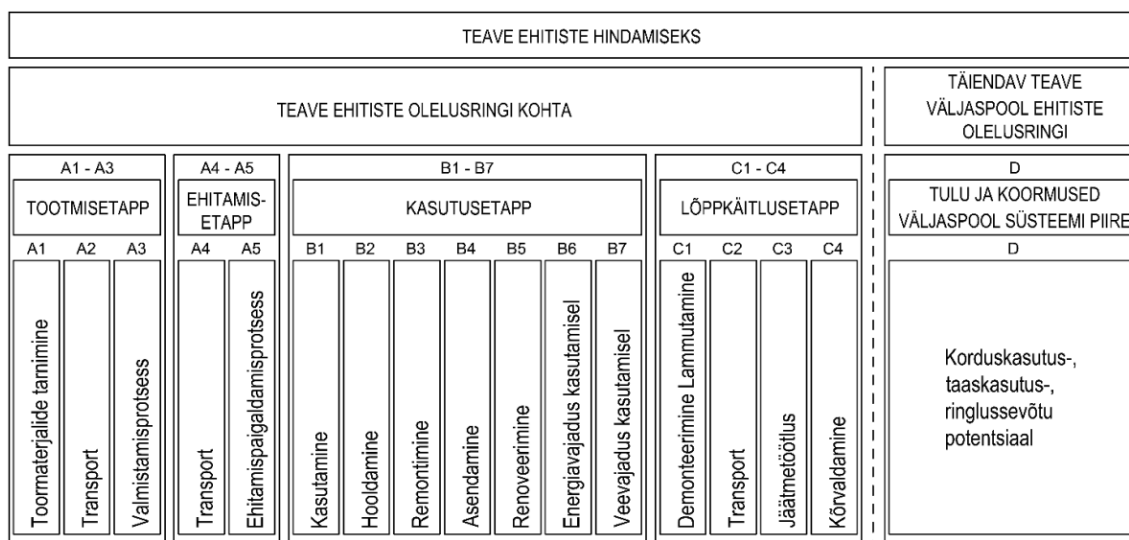
1. toote materjali toorme hankimine
2. materjali töötlemine
3. toote valmistamine
4. toote transportimine
5. toote kasutamine
6. toote jäätme käitlemine ja toote lõplik hävitamine

LCA metoodika on jaotatud 4 etapi vahel: eesmärk ja käsitusala ulatus, inventuuranalüüs (LCI), mõju hindamine (LCIA) ja tulemuste tõlgendamine. Etappide vahelised seosed on leitavad Joonis 1.1[33]. Lisaks võib analüüsile teostada kriitilise ülevaatus, mille käigus kontrollitakse metoodika, tõlgendamise ja aruandluse nõuetele vastavust ja kasutatud andmete õigsust. Ülevaatus teostatakse kui analüüsi 1. etapis ehk käsitusala määratlemisel on seda kirjeldatud. [33]



Joonis 1.1 Olelusringi analüüsi etapid [33]

Hoone olelusringi analüüsi tulemusel on võimalik hinnata ehitusel kasutatud materjalide keskkonna mõju alates materjali toorme hankimisest kuni selle utiliseerimiseni ja hävitamiseni. Euroopa standardis EVS-EN 15978:2011 [29] on spetsiifiliselt käsitletud ja kirjeldatud hoone olelusringi hindamist. Hindamiseks on analüüs jaotatud mooduliteks ja etappideks, mille jaotust on kirjeldatud Joonis 1.2. Ehitise olelusringi analüüsi hindamis etappe on 4, koos lisaetapiga 5.



Joonis 1.2 Hoone olelusringi hindamise raamistik EVS-EN 15978:2011 [29]

1.2.4 Hoone olelusringi hindamise lähteandmed: keskkonnadeklaratsioonid ja andmebaasid

Hoone olelusringi hindamiseks on vaja kõikide ehitusel kasutatavate materjalide mahtu näiteks massi või ruumala, sest enamasti esitatakse kõikide materjalide keskkonnadeklaratsioonid kg või m³ kohta. [35]

Keskkonnadeklaratsioon (Environmental product declaration – EPD) on dokument, mis kirjeldab ja tõendab teenuse, materjali või toote keskkonna jalajälge. EPD põhimõtted ja protseduurid on määratletud rahvusvahelise standardiorganisatsiooni (ISO) poolt välja antud standardis ISO-14025:2006. [36] Ehitusvaldkonna teenuste ja toodete EPD üldreeglid on kirjeldatud rahvusvahelises standardis EN 15804. [37] EPD peab olema läbipaistev ja näitama numbriliselt ettevõtte toote tootmismõjusid keskkonnale. Keskkonnadeklaratsiooni dokumendis on väljatoodud 30 keskkonnaindikaatorit, millest olulisemad on järgmised [35] :

1. GWP_{täielik} - GWP-biogeenne, GWP-fossiilne ja GWP-luluc väärtuste summa

2. $GWP_{\text{biogeenne}}$ - biomassist ehk elusloodusest tingitud CO₂ atmosfääri sidumist või õhku paiskamisest globaalse soojenemise biogeenne potentsiaal.
3. $GWP_{\text{fossiilne}}$ - Fossiilsetest allikatest pärit kasvuhoonegaaside globaalne soojenemispotentsiaal. See hõlmab KHG, mis on tekkinud fossiilkütuste põletamisest või tööstuslikest protsessidest.
4. GWP_{luluc} – ingliskeeles „Land Use, Land Use Change“ lühend; see näitab maakasutuse ja maakasutuse muutuste mõju globaalsele soojenemise potentsiaalile ning KHG koguseid, mis tulenevad määratletud süsinikuvaru muutustest. Käsitleb maa kasutusega seotud tegevust.

EPD koostamise protsess on järgmine [38]:

1. Määratakse turg ja valitakse vastav EPD avaldaja
2. Defineeritakse vajalike EPD-de arv ja tüüp
3. Andmete kogumine
4. LCA mudeli koostamine ja arvutused
5. EPD kolmanda osapoole verifikatsioon
6. EPD avaldamine

Keskkonnadeklaratsiooni väljastamiseks tuleb tootjal teha palju eeltööd. EPD arvutuste tegemiseks on vaja tootmisandmeid koguda ühe kalendriaasta kohta. Need andmed peavad sisaldama informatsiooni, mis kirjeldab materjali tootmiskaudu, kasutatud toorainete kaudu ja päritolu, kasutatud energiaallikate andmeid ja tootmisest tekkinud jäätmete kaudu. EPD kehtib viis aastat. Tootmisprotsessi märkimisväärselt muutest EPD enam ei kehti. Kui EPD lõpptulemused on muutunud tootmisprotsesside tõttu rohkem kui 10%, tuleb EPD uuendada. [38]

Hoone olulusringi analüüsiks tuleb koguda palju andmeid ning tihti võtab andmete kogumine kõige rohkem aega. Selle protsessi kiirendamiseks on koostatud heitetegurite andmebaas. 2024. aasta septembri seisuga on Eesti heitetegurite andmebaasis EHEA esitatud süsinikujalajälje arvutamiseks 127 erineva materjali heitetegurid, mida saab süsinikujalajälje arvutamiseks kasutada. Eesti metoodika kohaselt võib süsinikujalajälje arvutustes kasutada ka kõiki muid keskkonnadeklaratsioonide andmeid, mis on vastavuses EVS-EN 15804 standardiga.

1.2.5 Tehnosüsteemide süsinikujalajälg

2021. aasta Majandus ja Kommunikatsiooni ministeeriumi poolt tellitud projekti „Uuring ehituse süsinikujalajälje hindamiseprintsiipide rakendamise Eestis“ [11] käigus avaldati 5 erineva hoone süsinikujalajälje arvutuse juhtumiuuringu tulemused. Analüüsiti 4 uusehitist ning 1 rekonstrueerimis objekti. Tabel 1.1 on välja toodud süsinikuheitmed

iga uuritava hoone kohta. Uuringu tulemusel selgus, et uusehitiste puhul on tehnosüsteemide ehitusmaterjalide süsinikujalajälg A1-A3 tootmise etapis 13-21% kogu ehitusmaterjalide ja -toodete süsiniku jalajäljest. Rekonstrueeritava hoonete puhul on tehnosüsteemide osakaal ligi pool süsinikujalajäljest.

Tabel 1.1 Ehitusmaterjalide ja -toodete süsinikujalajälg elutsükli etapis A1-A3 [11]

Uus või rek	Hoone tüüp	Uuringu nimi	Kokku, Süsinikujalajälg GWP, tCO ₂ e	Tehnosüsteemid, Süsinikujalajälg GWP tCO ₂ e	Tehnosüsteemide osa, %
uus	päevakeskus	Maardu	358,32	67,77	19%
uus	kortermaja	Sõpruse	2899,71	372,13	13%
uus	avalik hoone	Pärnu	5650,92	989,45	18%
uus	õppehoone	Mäemaja	1192,11	251,46	21%
rek	korterelamu	Kuuma	414,89	214,19	52%

2021. aastal avaldatud käsiraamatus „Madalsüsinikehituse suunas“ [15] on kirjeldatud tehnosüsteemide mõju hoone energiatõhususele ja süsiniku jalajäljele märkimisväärseks. Plast ja metall on valdavalt kasutatavad materjalid tehnosüsteemide ehitamisel, mis viitab suurele süsinikujalajäljele. Lisaks on tehnosüsteemide osadel kasutusiga kaks kuni neli kord väiksem võrreldes hoone kogu eeldatava kasutuseaga, milleks on 50 aastat. See tähendab, et hoone elukaare jooksul peab tehnosüsteeme osaliselt või täielikult asendama ning välja vahetatud süsteemi osad uuesti ringlusesse või jäätmekäitlusesse andma, mis suurendab kogu hoone süsinikujalajälge.

Soome heitetegurite andmebaasis (co2data.fi) on antud tehnosüsteemide heitetegurid ruutmeetripõhise vaikeväärtusega kaheksale erinevale kasutusotstarbega hoonele. Väärtused on antud nii summaarselt kõikide tehnosüsteemide kohta koos kui ka iga süsteemi kohta erinevalt. See lihtsustab ja täpsustab oluliselt arvutusi, sest vajadusel saab tehnosüsteemi arvutusest välja jätta kui seda hoonesse tegelikkuses planeeritud ei ole. Tehnosüsteemide heitekoguste väärtused on toodud nii A1-A3 tootmisetappide kui ka B4 asendusetapi kohta. [39]

Eesti süsinikujalajälje meetodikas on esitatud kuue erineva kasutusotstarbega hoone tehnosüsteemide ruutmeetripõhised heiteteguri vaikeväärtused. Väärtused on antud vaid tootmisetappide A1-A3 kohta. Puudub informatsioon kas ja kuidas on arvestatud tehnosüsteemide asendusetapiga B4.

2 METOODIKA

Uurimistöö eesmärgiks arvutada ja analüüsida erinevate kasutusotstarvetega hoonete tehnosüsteemide süsinikujalajälge ning võrrelda arvutustulemusi Eesti süsinikujalajälje arvutusmetoodikas esitatud tehnosüsteemide vaikeväärtusega. Eesmärkide täitmiseks on uurimistöö jaotatud kolmeks osaks:

1. **Andmehõive:** selles etapis võeti ühendust erinevate Eesti ehitus-, arendus- ja projekteerimisettevõtetega, kelle loal kasutatakse tehnosüsteemide põhiprojekside andmeid arvutuste tegemiseks. Hoonete tehnilised andmed ja arvutustes kasutatud mahud on esitatud peatükis 2.1 Hoonete valim.
2. **Tehnosüsteemide süsinikujalajälgearvutus:** etapis arvutati valitud hoonete tehnosüsteemide süsinikujalajalg tuginedes Eesti metoodika tehnilisele dokumentatsioonile. Arvutuskäiku on lähemalt kirjeldatud peatükis 2.2 Eesti süsinikujalajälje arvutusmetoodika.
3. **Arvutustulemuste analüüs:** selles etapis esitletakse süsinikujalajälje arvutus tulemusi ning võetakse kokku erinevate kasutusotstarvete keskmised väärtused. Lisaks võrreldakse tulemusi Eesti kui ka Soome metoodikas olevate vaikeväärtustega.

Tehnosüsteemide süsinikujalajälje arvutusse on kaasatud järgmised süsteemid:

1. Küttesüsteem
2. Ventilatsioonisüsteem
3. Jahutussüsteem
4. Vee ja kanalisatsioonisüsteem sh ka sademevesi
5. Tugevvoolusüsteem ja nõrkvoolusüsteemid

Arvutustes on väljajäetud jäetud kõik välistrassid, sest Eesti metoodika kohaselt ei arvestata süsinikujalajälje arvutuses välisrajatisi. [35] Seetõttu on kõik kütte ja/või külmatootmis seadmed samuti arvutustest välja jäetud, et erinevate hoonete tehnosüsteemide süsinikujalajälje tulemused oleks võrreldavad. Lisaks ei ole andmebaasides piisavalt andmeid külmajaamade ja maasoojuspumpade, mida oleks võimalik kasutada süsinikujalajälje arvutuses. Kütte ja jahutussüsteemide arvutuspiir algab peale soojusvahetit ja/või akumulatsiooni paaki ja hõlmab kogu majapoolset süsteemi ehk sekundaarpoolt. Arvutustes on sisse on arvestatud kõik ringlus- ja tõstepumbad.

Arvutustes on A1-A3 etapis kasutatud GWP_{total} väärtuseid, sest see näitab tootmisprotsessidest tekkiva heite mõju tõepärasemalt ning võtab arvesse $GWP_{biogeense}$, $GWP_{fossiilse}$ ja GWP_{luluc} koosmõju.

Arvutuses kasutatud materjalide mahud kilogrammides hoonete kaupa on leitavad LISA 1. Arvutuses on arvestatud konstruktsioonis olevatele osadele 50 aastane kasutusiga ning kõikidele seadmetele nagu pumbad, jahutuskonvektorid, ventilaatorid ja ventilatsiooniseadmed 20 aastane kasutusiga.

2.1 Hoonete valim

Eesti metoodikas on tehnosüsteemide süsinikujalajälje vaikeväärtus antud kuuele erinevale kasutusotstarbega hoonele, milleks on majutusasutus/hotell, kortermaja, õppeasutus, büroohoone, kaubanduskeskus ja muu kaubandushoone. Käesolevas magistritöös on analüüsiti kõikide eespool nimetatud kasutusotstarvetega hooneid välja arvatud kaubanduskeskus, sest puudus ligipääs sellise kasutusotstarbega projektidele. Võimalikult esindusliku valimi tagamiseks võeti ühendust kolme arendus- ja kahe projekteerimisettevõttega. Ettevõtetele esitati ülevaade uurimistöö eesmärkidest ning selgitati uurimistöö käike ning võimalikke tulemusi. Ettevõtted andsid ligipääsu hoonete projektipankadele, mis tagas ligipääsu vajalikele osaprojektidele. Haridushoonete puhul on projektipankadele ligipääs tagatud läbi riigihangete registri, kus on projektid kättesaadavad avaliku informatsioonina. Hoonete kogu valim on leitav Tabel 2.1. Kirjeldatud on iga hoone netopindala, ehitusaastat ning asukohta.

Järgnevalt kirjeldatakse arvutustesse valitud hoonete tehnilisi omadusi, et tulemusi oleks võimalik võrrelda eelnevate uuringute ja võimalike tulevaste uuringutega. Välja on toodud hoonete tehnilised omadused, mida on nõutud Eesti süsinikujalajälje meetodis tulemuste esitlemiseks ehk kirjeldus vastavalt EHR-s esitatavatele üldistele andmetele. Välja on jäetud ehitise põhilised konstruktsioonid ja materjalid, sest tehnosüsteemide osas on see irrelevantne.

Tabel 2.1 Hoonete valim kasutusotstarvete järgi

Kasutusotstarve	Hoone nr	Netopindala	Ehitusaasta	Asukoht
Kortermaja	Hoone 1	16369,4	2024	Põhja-Eesti
	Hoone 2	15645,6	2023	Põhja-Eesti
Haridusasutus	Hoone 3	4948,4	2023	Ida-Virumaa
	Hoone 4	8274,47	2023	Põhja-Eesti
Kontorihoone	Hoone 5	4206,3	2020	Põhja-Eesti
	Hoone 6	1675,8	2028	Lääne-Eesti
Muu kaubandushoone	Hoone 7	2336,4	2024	Lõuna-Eesti
Majutushoone	Hoone 8	3975,1	2022	Põhja-Eesti

2.1.1 Kortermajade kirjeldus

Lõputöös on arvatud tehnosüsteemide süsinikujalajalg kahele kortermajale, mida edaspidi nimetatakse uurimistöös kui Hoone 1 ja Hoone 2. Kortermajade tehnilised näitajad on leitavad Tabel 2.2. Hoone 1 on kolme maapealse korrusega hoone ja Hoone 2 on kuue maapealse korrusega. Mõlema hoone maa-alune korrust kasutatakse parkla ja panipaikadena. Hoone 1 kōetavpind on 16369,4m² ja Hoone 2 kōetavpind on 10859,5m².

Tabel 2.2 Hoone 1 ja 2 tehnilised näitajad

Hoone nimetus	Hoone 1	Hoone 2
Hoone kasutamise otstarve	Korterelamu	Korterelamu
Esmase kasutuselevõtu aasta	2025	2024
Ehitise konstruktsioonid ja materjalid	-	-
Ehitise mõõtmed:		
ehitisealune pindala (m ²)	5106,4	5675,9
korruste arv (maa peal ja maa all)	3 korrust maa peal ja 1 korrus maa all	6 korrust maa peal ja 1 korrus maa all
kōrgus (m)	11	19,2
pikkus (m)	100,64 / 54,29 / 30,34 / 30,34	113
laius (m)	22,44 / 22,44 / 43,94 / 21,94	49,2
maht (m ³)	45294	58105
kōetav pind (m ²)	16369,4	10859,5
suletud netopind (m ²)	16369,4	15645,6
bruto pind (m ²)	18060,4	17965,8

Hoone 1 ja Hoone 2 tehnosüsteemide üldised kirjeldused on leitavad Tabel 2.3. Peamiste erinevustena saab välja tuua selle, et Hoone 1 on varustatud tsentraalse jahutussüsteemiga. Hoone 2 puudub jahutussüsteem. Hoone 1 keldrikorrus on kinnine, kus suitsueemaldus on lahendatud mehhaaniliselt. Hoone 2 on välisõhule avatud keldrikorrusega ning suitsueemaldus on lahendatud osaliselt loomulikuna. Hoone 2 puhul on keldrikorruusel suitsuventilaatorid, mille ülesandeks on parkla keskelt suunata suits hoone perimeetrile, kus keldrikorrus on avatud välisõhule.

Tabel 2.3 Hoone 1 ja 2 tehnosüsteemide üldised kirjeldused

Süsteem	Süsteemi kirjeldus	
	Hoone 1	Hoone 2
Küttesüsteem	Põrandküte	Põrandküte
Jahutussüsteem	Tsentraalne	Puudub
Ventilatsioonisüsteem	Korteripõhine	Tsentraalne

Suitsueemaldus	Keldrikorrusel - mehhaaniline keldrikorrusel	Keldrikorrusel - loomulik, osaliselt mehhaaniline
Kanal, sadevesi ja veevärk	Olmekanal, hoonesisene sadevesi, harutoru veesüsteem	Olmekanal, hoonesisene sadevesi, harutoru veesüsteem
Tugev- ja nõrkvool	Jaotuskilbid trepikodades	Jaotuskilbid igal korrusel

2.1.2 Haridusasutushoonete kirjeldus

Lõputöös on arvatud tehnosüsteemide süsinikujalajälg kahele haridusasutushoonele, mida edaspidi nimetatakse uurimistöös kui Hoone 3 ja Hoone 4. Haridusasutuste tehnilised näitajad on leitavad Tabel 2.4. Hoone 3 on neljakorruseline olemasoleva kooli juurde ehitis ning Hoone 4 on kolmekorruseline hoone. Hoone 4 on oma netopindalalt kaks korda suurem kui Hoone 3. Hoone 3 kōetavpind on 4916m² ja Hoone 4 kōetavpind on 8254,62m².

Tabel 2.4 Hoone 3 ja 4 tehnilised näitajad

Hoone nr	Hoone 3	Hoone 4
Hoone kasutamise otstarve	Põhikooli või gümnaasiumi õppehoone	Põhikooli või gümnaasiumi õppehoone
Esmase kasutuselevõtu aasta	2023	2023
Ehitise konstruktsioonid ja materjalid		
Ehitise mõõtmed:		
ehitisealune pindala (m²)	2088,9	3773,3
korruste arv (maa peal ja maa all)	1 maa all ja 4 maa peal	3 maa peal
kõrgus (m)	15,06	16
pikkus (m)	48,8	87,2
laius (m)	61,5	87,2
maht (m³)	21955,8	42304,2
kōetav pind (m²)	4916	8254,62
suletud netopind (m²)	4948,4	8274,47
bruto pind (m²)	6002,1	9390,8

Hoone 3 ja Hoone 4 tehnosüsteemide üldised kirjeldused on leitavad Tabel 2.5. Üldiselt on Hoone 3 ja 4 tehnosüsteemide osas lahendatud sarnaselt ning olulisi erinevusi ei ole autoril välja tuua. Marginaalse erinevusena saab välja tuua selle, et Hoone 3 puhul jahutatakse kõikide ventilatsiooniseadmete sissepuhkeõhu kanalit. Hoone 4 puhul jahutatakse ainult sissepuhkeõhu kanalit, mis teenindavad aulad ning peakoridori. Mõlemate hoonete küttesüsteemiks on pōrandküte. Hoone 3 on ettenāhtud ka radiaatorküte.

Tabel 2.5 Hoone 3 ja 4 tehnosüsteemide üldised kirjeldused

Süsteem	Süsteemi kirjeldus	
	Hoone 3	Hoone 4
Küttesüsteem	Põrandküte + radiaatorküte	Põrandküte
Jahutus-süsteem	Ventilatsiooni jahutus, otseaurustusjahutussüsteemid arvutiklass, kilbiruumid	Osaline ventilatsiooni jahutus, otseaurustusjahutussüsteemid arvutiklaasis ja peatrepikojas
Ventilatsiooni-süsteem	Tsentraalne	Tsentraalne
Suitsueemaldus	Osaliselt mehaaniline, hoone perimeetris loomulik	Osaliselt mehaaniline, hoone perimeetris loomulik
Kanal, sadevesi ja veevõrk	Olmekanal, hoonesisene ja hooneväline sadevesi, vee kollektorsüsteem	Olmekanal, hooneväline sadevesi, vee harutorusüsteem
Tugev- ja nõrkvool	Jaotuskilbid igal korrusel	Jaotuskilbid igal korrusel

2.1.3 Kontorihoonete kirjeldus

Lõputöös on arvatud tehnosüsteemide süsinikujalajalg kahele kontorihoonetele, mida edaspidi nimetatakse uurimistöös kui Hoone 5 ja Hoone 6. Valitud kontorihoonete tehnilised näitajad on leitavad Tabel 2.6. Hoone 5 ja 6 on oma ehitusaluse pindalalt sarnane, kui netopindalad on ligi kolmekordse erinevusega. Hoone 5 on neljakorruseline ja Hoone 2 on kahekorruseline hoone. Hoone 5 kōetavpind on 4206,3m² ja Hoone 6 kōetavpind on 1675,8m².

Tabel 2.6 Hoone 5 ja 6 tehnilised näitajad

Aadress	Hoone 5	Hoone 6
Hoone kasutamise otstarve	Büroohoone	Büroohoone
Esmase kasutuselevõtu aasta	2021	2028
Ehitise konstruktsioonid ja materjalid	-	-
Ehitise mõõtmed:		
ehitisealune pindala (m²)	1294,1	1327,4
korruste arv (maa peal ja maa all)	4 maa peal	2 maa peal
kōrgus (m)	20	9,9
pikkus (m)	68,18	50,6
laius (m)	18,98	44,6
maht (m³)	22188,9	8425
kōetav pind (m²)	4206,3	1675,8
suletud netopind (m²)	4206,3	1675,8
bruto pind (m²)	4663,7	1925,4

Hoone 5 ja Hoone 6 tehnosüsteemide üldised kirjeldused on leitavad Tabel 2.7. Peamise erinevusena saab välja tuua selle, et Hoone 5 kütte- ja jahutusesüsteem on lahendatud TABS süsteemiga (Thermally Activated Beam System ehk termoaktiveeritud

konstruktsioonid), kus jahutus ja küttesüsteemiks kasutatakse sama torustikku. Hoone 6 puhul on kütte- ja jahutussüsteem eraldiseisvad. Mõlemal hoonel on tsentraalsed ventilatsioonisüsteemid.

Tabel 2.7 Hoone 5 ja 6 tehnosüsteemide üldised kirjeldused

Süsteem	Süsteemi kirjeldus	
	Hoone 5	Hoone 6
Küttesüsteem	TABS (põrand/lae jahutus)	Põrandküte
Jahutussüsteem	TABS (põrand/lae jahutus)	Tsentraalne
Ventilatsioonisüsteem	Tsentraalne	Tsentraalne
Suitsueemaldus	Loomulik suitsueemaldus	Loomulik suitsueemaldus
Kanal, sadevesi ja veevõrk	Olmekanal, hoonesisene sadevesi, vee harutorusüsteem	Olmekanal, hooneväline sadevesi, vee harutorusüsteem
Tugev- ja nõrkvool	Jaotuskilbid igal korrusel	Jaotuskilbid igal korrusel

2.1.4 Kaubandushoone kirjeldus

Lõputöös on arvatud tehnosüsteemide süsinikjalajälg ühele kaubandushoonele, mida edaspidi nimetatakse uurimistöös kui Hoone 7. Valitud kaubandushoone tehnilised näitajad on leitavad Tabel 2.8. Kaubandushoone on kahekorruseline, mille kaubandusala on oma olemuselt läbi kahe korruse. Kõrvalruumid, kontoriruumid ja tehnilised ruumide osa on kahekorruseline. Kõetavaks pindalaks on hoonel 2336,4m².

Tabel 2.8 Hoone 7 tehnilised näitajad

Hoone nr	Hoone 7
Hoone kasutamise otstarve	12311 Kauplusehoone
Esmase kasutuselevõtu aasta	2025
Ehitise konstruktsioonid ja materjalid	-
Ehitise mõõtmed:	
ehitisealune pindala (m²)	2477
korruste arv (maa peal ja maa all)	2 korrust maa peal
kõrgus (m)	6,5
pikkus (m)	75,1
laius (m)	32,88
maht (m³)	13943
kõetav pind (m²)	2336,4
suletud netopind (m²)	2336,4
suletud bruto pind	2488,4

Hoone 7 tehnosüsteemide üldised kirjeldused on leitavad Tabel 2.9. Erinevalt kõikide teiste uurimistöös käsitlevate hoonetega, kõetakse ruume kaubandushoones nii ventilatsiooni õhuga kui ka fan-coil tüüpi konvektoritega. Lisaks on kasutusel elektrilised

kiirguspaneelid, elektriline õhkkardin ning tehnilistes ruumides elektrilised radiaatorid. Ruumide jahutamiseks toodab külma külmajaam ning see jahutab ventilatsiooni sissepuhke õhku. Lisaks kasutatakse ruumide jahutamiseks fan-coil tüüpi konvektoreid.

Tabel 2.9 Hoone 7 üldised tehnosüsteemide kirjeldused

Süsteem	Süsteemi kirjeldus
	Hoone 7
Küttesüsteem	Fan-coil tüüpi konvektoritega tagatakse nii ruumide küte kui ka jahutus, õhkküte + elektrilised kiirguspaneelid, elektriline õhkkardin, elektrilised radiaatorid
Jahutussüsteem	Õhkjahutus + Fan-coil tüüpi konvektoritega tagatakse nii ruumide küte kui ka jahutus
Ventilatsioonisüsteem	Tsentraalne
Suitsueemaldus	Loomulik suitsueemaldus
Kanal, sadevesi ja veevärk	Olmekanal, hooneväline sadevesi, vee harutorusüsteem
Tugev- ja nõrkvool	Jaotuskilbid igal korrusel

2.1.5 Majutushoone kirjeldus

Lõputöös on arvatud tehnosüsteemide süsinikujalajälg ühele majutushoonele, mida edaspidi nimetatakse uurimistöös kui Hoone 8. Valitud majutushoone tehnilised näitajad on leitavad Tabel 2.10. Hoone 8 on nelja maapealse korrusega ning köetavaks pindalaks on 3975,1m².

Tabel 2.10 Hoone 8 tehnilised näitajad

Aadress	Hoone 8
Hoone kasutamise otstarve	12123 Hostel
Esmase kasutuselevõtu aasta	2022
Ehitise konstruktsioonid ja materjalid	-
Ehitise mõõtmed:	
ehitisealune pindala (m²)	1138,9
korruste arv (maa peal ja maa all)	4 korrust maapeal
kõrgus (m)	15
pikkus (m)	71,7
laius (m)	38,5
maht (m³)	14893
köetav pind (m²)	3975,1
suletud netopind (m²)	3975,1
bruto pind	4688,6

Hoone 8 tehnosüsteemide üldised kirjeldused on leitavad Tabel 2.11. Hoones on tsentraalne ventilatsioonisüsteem, lisaks toimub suitsueemaldus koridoridest

mehhaaniliselt. Hoone küttesüsteemiks on pörandküte ning hoones puudub jahutussüsteem.

Tabel 2.11 Hoone 8 tehnosüsteemide üldised kirjeldused

Süsteem	Süsteemi kirjeldus
	Hoone 8
Küttesüsteem	Pörandküte
Jahutussüsteem	Puudub
Ventilatsioonisüsteem	Tsentraalne
Suitsueemaldus	Üldalad mehhaanilise suitsueemaldusega
Kanal, sadevesi ja veevõrk	Olmekanal, hoonesisene sadevesi, vee harutorusüsteem
Tugev- ja nõrkvool	Jaotuskilbid igal korrusel

2.2 Eesti süsinikujalajälje arvutusmetoodika

Eesti hoonete süsinikujalajälje arvutusmetoodika tugineb rahvusvahelistele standarditele EVS-EN 15978 [29] ja EVS-EN 15804 [37]. Standard EVS-EN 15978 keskendub uute ja olemasolevate hoonete keskkonnatoimivuse hindamisele, samas kui EVS-EN 15804 määratleb ehitustoodete ja -teenuste keskkonnadeklaratsioonide koostamise üldreeglid. Need standardid on omavahel kooskõlas, võimaldades kasutada ehitusmaterjalide olulusringi hindamise andmeid hoonete olulusringi hindamises. Standardites on kirjeldatud ligi 30 erinevat keskkonna indikaatorit, mis olulusringi analüüsi tulemusel kirjeldavad materjali keskkonna mõju. Nendest 30 indikaatorist kasutatakse Eesti meetodis materjalide indikaatorit GWP-fossil ja GWP-bio.

Eesti meetodis on olulusringi hindamise ulatus määratletud lähtudes mõju olulisusest ja andmete kvaliteedist. Tabel 2.12 on kirjeldatud, milliseid olulusringi etappe on kaasatud Eesti hoonete süsinikujalajälje arvutusse. Kohustuslik arvutuse ulatus hõlmab etappe A1-A3 (tootmine), A4 (transport ehitusobjektile), A5 (ehitamine), (A1–A5), kasutuse etappidest toodete asendust (B4) ja energiakasutust (B6) ning hoone lõppkäitlust (C1–C4).

Tabel 2.12 Eesti hoonete süsinikujalajälje arvutusse kaasatud hoone olulusringi etapid [35]

Etapp	Sisaldub arvutuses	Selgitus
Tootmine (A1-A3)	Jah	Tehasest väljastatud materjalide/toodete süsinikujalajalg, mis sisaldab toormaterjalide tarnimise ja transpordi ning valmistusprotsessi mõju
Transport ehitusele (A4)	Jah	Materjalide transpordi mõju tehastest ehitusobjektile.
Ehitamine (A5)	Jah	Materjalide ja toodete kaod (ülejäädgid) ehitusobjektile, nende materjalide transpordi,

		ümbertöötlemise ja ladestamise mõju; ehitusplatsi energiakasutuse mõju.
Kasutamine (B1)	Ei	Keskkonda eralduvad või keskkonnast seotud heitmed paigaldatud toodete kasutamisest nende tavapärase (eeldatava) kasutamise ajal.
Hooldus (B2)	Ei	Hoone ja süsteemide regulaarne hooldus.
Remont (B3)	Ei	Hoone remondi käigus tehtavad parendustööd ja nendega seotud keskkonnamõju.
Asendamine (B4)	Jah	Ehitustoodete asendamise keskkonnamõju
Rekonstrueerimine (B5)	Ei	Plaaniline hoone rekonstrueerimine. Olulisel rekonstrueerimisel rakenduvad MTM määruse nr 63 nõuded ja tehakse sama arvutus nagu uue hoone rajamisel
Kasutusaegne energia (B6)	Jah	Tarnitud energia, mille hulk arvutatakse MTM määruse nr 63 nõuete kohaselt.
Kasutusaegne vesi (B7)	Ei	Tarbevee tootmise ja transpordi heide, v.a tarbevee kütmisega seotud mõju, mida arvestatakse B6 etapis
Lõppkäitlus (C1-C4)	Jah	C1 lammutamine, C2 transport jäätmekäitlusjaama, C3 jäätmetöötlemine ja C4 lõplik kõrvaldamine
Tulu ja koormused väljaspool süsteemi piir (D)	Ei	Mõju väljaspool hoone kasutamisega, materjalide taaskasutamise ja ümbertöötlemise mõju

Arvutusmetoodikast on välja jäetud moodulid B1 (kasutamine), B2 (hooldus), B3 (remont), B7 (kasutusaegne vesi) ja D (mõju väljaspool süsteemi piire). Nimetatud moodulid on esialgsel välja jäetud metoodikast, sest antud etappide mõju on marginaalne või nende jaoks pole piisavalt alusandmeid arvutuste tegemiseks.

2.2.1 Ehitusmaterjalide tootmine (etapid A1-A3)

A1 etapp kirjeldab mõju, mis tekib tooraine kaevandamisest, kogumisest ja töötlemisest, mis on vajalik ehitusmaterjalide tootmiseks. A2 etapp kajastab tooraine transpordi keskkonnamõjusid kaevanduskohast tootmistehaseni. A3 etapp hõlmab ehitusmaterjali tootmise protsessi, sealhulgas vormimist, kuumtöötlemist ja muid spetsiifilisi tootmistoiminguid.

Tootmise etapi keskkonnamõjude hindamiseks kasutatakse keskkonnaandmeid, mis pärinevad toodete keskkonnadeklaratsioonidest, EHEA andmebaasist või võrreldavatest allikatest. Keskkonna deklaratsioonides on see tähistatud tähisega GWP-total. Arvutustes korrutatakse GWP-total väärtused ehituses kasutatava materjali massiga, et määrata etappide A1–A3 mõju. Juhul kui GWP väärtus puudub konkreetse materjali kohta, kasutatakse kõige sarnasema materjali väärtusi.

Magistritöö arvutustes kasutatud A1-A3 GWP väärtused on esitatud Tabel 2.13.

A1-A3 mõju arvutatakse valemiga:

$$GWP_{A1-A3} = \sum(m \times EF), \quad (2.1)$$

kus GWP_{A1-A3} - Ehitusmaterjalide tootmise mõju [kgCO₂e]

m - materjali mass [kg]

EF - materjali heitetegur Eesti andmebaasist või väärtus toote keskkonnadeklaratsioonist või muust võrreldava kvaliteediga allikast [kgCO₂e/kg]

Tabel 2.13 A1-A3 etapi arvutuses kasutatud väärtused

Toode	GWP total	GWP fossil	Ühik	Allikas
Tsingitud lehtteras toru ümmargune	4,03	4,03	kgCO ₂ /kg	ETS NORD, RTS_288_24
Tsingitud lehtteras toru kandiline	3,83	3,84	kgCO ₂ /kg	ETS NORD, RTS_288_24
Sissepuhkeplafoon	2,74	2,67	kgCO ₂ /kg	EHEA, Profileeritud lehtteras
Sissepuhkeplafoon + tasanduskast	3,57	3,92	kgCO ₂ /kg	Lindinvent AB, HUB-0059
Väljatõmbeplafoon	2,74	2,67	kgCO ₂ /kg	EHEA, Profileeritud lehtteras
Väljatõmbeplafoon + tasanduskast	3,57	3,92	kgCO ₂ /kg	Lindinvent AB, HUB-0059
Välisrest	2,74	2,67	kgCO ₂ /kg	EHEA, Profileeritud lehtteras
Klapp (reguleer, tuletõkke, CAV, VAV)	4,13	4,34	kgCO ₂ /kg	EPD-IES-0014208
Mürasummuti	3,71	3,69	kgCO ₂ /kg	ETS NORD, RTS_290_24
Ventilatooni seadmed	4,2	3,5	kgCO ₂ /kg	co2data.fi, Air exchanger with hr
Jahutus siseseade	6,7	6,91	kgCO ₂ /kg	S-P- 12659
Raadiaator	4,08	3,4	kgCO ₂ /kg	co2data.fi
Kivivill isolatsioon	1,32	1,32	kgCO ₂ /kg	EHEA, kivivill 33 kg/m ³
Poorkumm isolatsioon	230	264	kgCO ₂ /m ³	EPD-ARM-20200218-IBB1-EN
Terastoru	3,6	3,6	kgCO ₂ /kg	EHEA (torud roostevaba)
Pex, Pe toru	3,48	2,9	kgCO ₂ /kg	co2data.fi
Pex-Al-pex toru	5,56	5,53	kgCO ₂ /kg	Uponor, RTS_164_22
Vasktoru	0,63	0,63	kgCO ₂ /kg	EHEA Torud, vask 100 % ringlusest
PP toru	2,19	2,18	kgCO ₂ /kg	Uponor, HUB-0561
HDPE toru	2,28	2,3	kgCO ₂ /kg	Geberit, 367.000.16.0
Liiniseadmed (ventiilid, sulgkraanid)	1,2	1,27	kgCO ₂ /kg	IMI Hydronic Engineering AB, HUB-0669
Kollektor	4,05	4,15	kgCO ₂ /kg	S-P-07218
Pump	7,15	5,96	kgCO ₂ /kg	co2data.fi, water pump
Kaevud/pumplad	2,65	2,68	kgCO ₂ /kg	EHEA, Torud, PP ja PE
Tugevvoolu kaabel	6,5	5,42	kgCO ₂ /kg	co2data.fi
Nõrkvool kaabel	6,34	5,29	kgCO ₂ /kg	co2data.fi
Korterikilbid	2,78	2,32	kgCO ₂ /kg	co2data.fi
Kaabliredelid	3,19	2,66	kgCO ₂ /kg	co2data.fi

2.2.2 Ehitusmaterjalide transport ehitusobjektile (etapp A4)

A4 etapp keskendub ehitusmaterjalide transpordiga seotud keskkonnamõjude hindamisele, mis tekib materjalide transpordist tehasesst ehitusplatsile. Kuna projektipõhiselt ei pruugi olla teada konkreetset transpordidistantsi ja -meetodit, tugineb A4 etapp stsenaariumipõhisele hindamisele. See hõlmab nii kütuste tootmise kui ka sõidukite kasutamisega seotud mõjusid. Transpordiga seotud kasvuhooonegaaside heitkogused arvutatakse olelusringi hindamise põhimõtte järgi „kaevust rattani“ (Well to Wheel).

Eesti metoodikas arvestatakse vaikumis, et ehitusmaterjale transporditakse objektile 40-tonnise poolhaagisega, kui ei ole täpsemat informatsiooni. Linna- ja maantee sõidul jaoks eristatakse erinevate heitetegurite vaikeväärtustega, mis on kirjeldatud EHEA andmebaasis. Vaikeväärtused sõltuvad sellest, mis on transporditava koorma kaalu suhe auto kandevõimega. Raskete ehitusmaterjalide puhul nagu betoon ja teras transportimisel on koorma kaal võrdväärne auto kandevõimega. Kergete ehitusmaterjalide puhul nagu komposiitkorustik on auto kandevõime täidetud kuni 50%.

Eesti metoodikas erinevate materjalide määratud distantsid objektile on määratud koostöös Eesti Ehitusmaterjalide Tootjate Liiduga. Lõputöös on kasutatud EHEA andmebaasis olevad distantse.

Magistritöö arvutustes kasutatud A4 GWP väärtused on esitatud Tabel 2.14 ja Tabel 2.15.

A4 mõju arvutatakse valemiga:

$$GWP_{A4} = \sum(m \times (DIS_{maantee A4} \times EF_{maantee\ sõit} + DIS_{linn A4} \times EF_{linnasõit})), \quad (2.2)$$

kus GWP_{A4} - Ehitusmaterjalide transpordimõju [tCO₂e]

m - materjali mass [t]

DIS - transpordi distantsi pikkus [km] ($DIS_{maantee}$ ja DIS_{linn} ; andmebaasis on distantsi pikkused esitatud tootekohaselt)

EF - transpordi heitetegur Eesti andmebaasist ($EF_{maantee\ sõit}$ ja $EF_{linnasõit}$ valitakse vastavalt andmebaasis esitatud tootekohase mahtuvuse koormuse A4 järgi) [kgCO₂e/tkm]

Tabel 2.14 A4 transport ehitusobjektile arvutustes kasutatud väärtused.

SÜSTEEM	Toode	Koormuse mahtuvus	EF, transport, kg CO2e/tkm linn	EF, transport, kg CO2e/tkm maantee	distsants linnas, km	distsants maanteel, km
Ventilatsioon	Tsingitud lehtteras toru ümmargune	40,00%	0,15	0,094	10	90
Ventilatsioon	Tsingitud lehtteras toru kandiline	40,00%	0,15	0,094	10	90
Ventilatsioon	Sissepuhkeplafoon	100,00%	0,086	0,05	10	90
Ventilatsioon	Sissepuhkeplafoon + tasanduskast	100,00%	0,086	0,05	10	90
Ventilatsioon	Väljatõmbeplafoon	100,00%	0,086	0,05	10	90
Ventilatsioon	Väljatõmbeplafoon + tasanduskast	100,00%	0,086	0,05	10	90
Ventilatsioon	Välisrest	100,00%	0,086	0,05	10	90
Ventilatsioon	Klapp (reguleer, tuletõkke, CAV, VAV)	100,00%	0,086	0,05	170	1530
Ventilatsioon	Mürasummuti	100,00%	0,086	0,05	170	1530
Ventilatsioon	Ventilatsiooni seadmed	100,00%	0,086	0,05	170	1530
Jahutus	Jahutus siseseade	100,00%	0,086	0,05	170	1530
Küte	Raadiaator	100,00%	0,086	0,05	170	1530
Vent, Küte, Vesi, Kanal	Kivivill isolatsioon	20,00%	0,285	0,18	170	1530
Vent, Küte, Jahutus, Vesi, Kanal	Poorkumm isolatsioon	20,00%	0,285	0,18	170	1530
Küte, Jahutus	Terastoru	80,00%	0,098	0,058	170	1530
Küte, Jahutus, Vesi	Pex, Pe toru	80,00%	0,098	0,058	170	1530
Küte, Jahutus, Vesi	Pex-Al-pex toru	80,00%	0,098	0,058	170	1530
Jahutus	Vasktoru	80,00%	0,098	0,058	170	1530
Kanal	PP toru	80,00%	0,098	0,058	170	1530
Sadevesi	HDPE toru	80,00%	0,098	0,058	170	1530
Küte, Jahutus, Vesi	Liiniseadmed (ventiilid, sulgkraanid)	100,00%	0,086	0,05	170	1530
Küte, Vesi	Kollektor	100,00%	0,086	0,05	170	1530
Küte, Jahutus, Vesi	Pump	100,00%	0,086	0,05	170	1530
Kanal, Sadevesi	Kaevud/pumplad	80,00%	0,098	0,058	170	1530
TV	Tugevvoolu kaabel	100,00%	0,086	0,05	170	1530
NV	Nõrkvool kaabel	100,00%	0,086	0,05	170	1530
TV, NV	Korterikilbid	100,00%	0,086	0,05	170	1530
TV, NV	Kaabliredelid	100,00%	0,086	0,05	170	1530

Lisaks materjalide transpordiga ehitusplatsile tuleb arvesse võtta kõik sõidud, mis on seotud ehitusplatsilt ära sõitmisega ning millal veok on ilma koormata. Eesti meetodikas ei ole tühisõitude arvu loogikat kuidagi kirjeldatud, siis kasutatakse arvutustes

tühisõitude arvu asemel tühisõitude tegurit, mis on sõltuv materjali massist ja koormamahtuvusest.

$$GWP_{A4tagasi} = \sum tühisõidutegur \times (DIS_{maantee\ tagasi\ A4} \times EF_{maanteesõit0\%} + DIS_{linn\ tagasi\ A4} \times EF_{linnasõit0\%}) \quad (2.3)$$

kus $GWP_{A4tagasi}$ - Ehitusmaterjalide tühisõidu transpordimõju [tCO₂e]

DIS – transpordiauto tühisõidu distantsi pikkus [km] (DIS_{maantee} ja DIS_{linn}; andmebaasis on distantsi pikkused esitatud tootekohaselt)

EF - transpordi heitetegur Eesti andmebaasist (EF_{maanteetagasi} ja EF_{linntagasi} valitakse vastavalt andmebaasis esitatud tootekohase mahtuvuse koormuse A4 järgi)

$$tühisõidutegur = \frac{m(t)}{40\ t \times koorma\ mahtuvus\ \%} \quad (2.4)$$

kus m - materjali mass [t]

40t – transpordiauto kandevõime – transpordiauto tühisõidu distantsi pikkus [km] (DIS_{maantee} ja DIS_{linn}; andmebaasis on distantsi pikkused esitatud tootekohaselt)

Koorma mahtuvus – vastavalt materjalile koormamahtuvus Eesti andmebaasist [%]

Tabel 2.15 A4 transpordi tühisõidu arvutustes kasutatud väärtused

SÜSTEEM	Toode	Koormuse mahtuvus	distants linnas, tagasi km	distants maanteel, tagasi km	EF, transport, kg CO ₂ e/ km linn, tagasi	EF, transport, kg CO ₂ e/ tkm maantee, tagasi
Ventilatsioon	Tsingitud lehtteras toru ümmargune	40,00%	10	90	1,25	0,81
Ventilatsioon	Tsingitud lehtteras toru kandiline	40,00%	10	90	1,25	0,81
Ventilatsioon	Sissepuhkeplafoon	100,00%	10	90	1,25	0,81
Ventilatsioon	Sissepuhkeplafoon + tasanduskast	100,00%	10	90	1,25	0,81
Ventilatsioon	Väljatõmbeplafoon	100,00%	10	90	1,25	0,81

Ventilatsioon	Väljatõmbeplafoon + tasanduskast	100,00%	10	90	1,25	0,81
Ventilatsioon	Välisrest	100,00%	10	90	1,25	0,81
Ventilatsioon	Klapp (reguleer, tuletõkke, CAV, VAV)	100,00%	170	1530	1,25	0,81
Ventilatsioon	Mürasummuti	100,00%	170	1530	1,25	0,81
Ventilatsioon	Ventilatsiooni seadmed	100,00%	170	1530	1,25	0,81
Jahutus	Jahutus siseseade	100,00%	170	1530	1,25	0,81
Küte	Raadiaator	100,00%	170	1530	1,25	0,81
Vent, Küte, Vesi, Kanal	Kivivill isolatsioon	20,00%	170	1530	1,25	0,81
Vent, Küte, Jahutus, Vesi, Kanal	Poorkumm isolatsioon	20,00%	170	1530	1,25	0,81
Küte, Jahutus	Terastoru	80,00%	170	1530	1,25	0,81
Küte, Jahutus, Vesi	Pex, Pe toru	80,00%	170	1530	1,25	0,81
Küte, Jahutus, Vesi	Pex-Al-pex toru	80,00%	170	1530	1,25	0,81
Jahutus	Vasktoru	80,00%	170	1530	1,25	0,81
Kanal	PP toru	80,00%	170	1530	1,25	0,81
Sadevesi	HDPE toru	80,00%	170	1530	1,25	0,81
Küte, Jahutus, Vesi	Liiniseadmed (ventiilid, sulgkraanid)	100,00%	170	1530	1,25	0,81
Küte, Vesi	Kollektor	100,00%	170	1530	1,25	0,81
Küte, Jahutus, Vesi	Pump	100,00%	170	1530	1,25	0,81
Kanal, Sadevesi	Kaevud/pumplad	80,00%	170	1530	1,25	0,81
TV	Tugevvoolu kaabel	100,00%	170	1530	1,25	0,81
NV	Nõrkvoolu kaabel	100,00%	170	1530	1,25	0,81
TV, NV	Korterikilbid	100,00%	170	1530	1,25	0,81
TV, NV	Kaabliredelid	100,00%	170	1530	1,25	0,81

2.2.3 Ehitustegevuse mõju (etapp A5)

A5 etapp käsitleb ehitustegevusest tulenevaid mõjusid. Etapp on seotud ehitusmaterjalide ladustamise, paigalduse, transpordi ja jäätme tekkimisega ehituse ajal. Samuti hinnatakse selles etapis hoone ajutist kütmise, jahutamise ja niiskuse reguleerimise mõju ehituse ajal.

A5 etapis kasutatakse vaikeväärtusi, kus iga materjali ülekulu mõju määratakse EHEA andmebaasi põhjal, kasutades kindlaksmääratud ülekulutegureid. Kui Eesti andmebaasis puudub konkreetse materjali andmestik, kasutatakse kõige sarnasema materjali väärtusi.

Rauno Lõhmus arvutas oma magistritöö [26] raames välja kaheksale ehitusobjektile tuginedes, millisel hulgal tekib CO_{2e} kg ehitusobjektide kütmisest ja elektri tarbimisest objektil. Tulemuseks on 15,89 kgCO_{2e}, mida kasutatakse vaikeväärtusena alates 2024. aastal avaldatud Eesti süsiniku jalajälje metoodikas A5 etapis. Ehitusplatsi keskkonnamõju arvestatakse keskmise emissiooniteguri alusel hoone suletud netopindalaühiku kohta, mida korrutatakse hoone suletud netopindalaga. Kuna tegemist on teguriga, mis on seotud hoone netopindalaga ja ei ole sõltuv materjali mahust, siis seda osa tehnosüsteemide arvutuses ei arvutata.

Magistritöö arvutustes kasutatud A5 GWP väärtused on esitatud Tabel 2.16.

A5 mõju arvutatakse valemiga:

$$GWP_{A5} = GWP_{EP} \times A_{neto} + \sum(GWP_{A1-A3} + GWP_{A4} + GWP_{C1-C4}) \times w\%, \quad (2.5)$$

kus GWP_{A5} – Ehitustegevuse mõju [tCO_{2e}]

GWP_{EP} – 15,89 [kgCO_{2e}/m²] ehitusplatsil tehtavate tööde mõju vaikeväärtus suletud netopindala kohta Eesti andmebaasist (tehnosüsteemi süsinikujalajälje arvutuses ei arvesta)

A_{neto} – hoone suletud neto pindala m² (tehnosüsteemi süsinikujalajälje arvutuses ei arvesta)

GWP_{A1-A3} - Ehitusmaterjalide tootmise mõju [tCO_{2e}]

GWP_{A4} - Ehitusmaterjalide transpordimõju [tCO_{2e}]

GWP_{C1-C4} - Ehitusmaterjalide lõppkäitlusemõju [tCO_{2e}]

w% - materjalide ülekulutegur EHEA andmebaasist. Täpsema info puudumisel võib esmase lähenemisena eelprojekti faasis ülekuluks arvestada 10%

Tabel 2.16 A5 etapis arvutustes kasutatud ülekulutegurite väärtused

SÜSTEEM	Toode	Ülekulutegur
Ventilatsioon	Tsingitud lehtteras toru ümmargune	0,1
Ventilatsioon	Tsingitud lehtteras toru kandiline	0,1

Ventilatsioon	Sissepuhkeplafoon	0
Ventilatsioon	Sissepuhkeplafoon + tasanduskast	0
Ventilatsioon	Väljatõmbepafoon	0
Ventilatsioon	Väljatõmbepafoon + tasanduskast	0
Ventilatsioon	Välisrest	0
Ventilatsioon	Klapp (reguleer, tuletõkke, CAV, VAV)	0
Ventilatsioon	Mürasummuti	0
Ventilatsioon	Ventilatsiooni seadmed	0
Jahutus	Jahutus siseseade	0
Küte	Raadiaator	0
Vent, Küte, Vesi, Kanal	Kivivill isolatsioon	0,1
Vent, Küte, Jahutus, Vesi, Kanal	Poorkumm isolatsioon	0,1
Küte, Jahutus	Terastoru	0,1
Küte, Jahutus, Vesi	Pex, Pe toru	0,1
Küte, Jahutus, Vesi	Pex-Al-pex toru	0,1
Jahutus	Vasktoru	0,1
Kanal	PP toru	0,1
Sadevesi	HDPE toru	0,1
Küte, Jahutus, Vesi	Liiniseadmed (ventiilid, sulgkraanid)	0
Küte, Vesi	Kollektor	0
Küte, Jahutus, Vesi	Pump	0
Kanal, Sadevesi	Kaevud/pumplad	0
TV	Tugevvoolu kaabel	0,1
NV	Nõrkvool kaabel	0,1
TV, NV	Korterikilbid	0
TV, NV	Kaabliredelid	0,1

2.2.4 Toodete asendamine (B4)

Asendamise etapp kirjeldab kogu mõju, mis tuleneb materjali eemaldamisest ja asendamisest uue materjaliga. Asenduse mõju arvutatakse summana, mis sõltub materjalide tootmisest, transpordist, paigaldusest ja lõppkäitlusest tulenevatest mõjudest. See põhineb materjalidel, mis vajavad hoone projekteeritud arvutusperioodi jooksul väljavahetamist. Eesti metoodikas on hoone arvutusperiood 50 aastat. Kui hoone projekteeritud kasutusiga on lühem kui 50 aastat, kasutatakse arvutuses hoone projekteeritud kasutusiga

Asenduste arv sõltub toote või selle osa kasutuseast. Kasutusea väärtus on määratud vaikeväärtusena, mis on antud EHEA andmebaasis iga materjali kohta.

Magistritöö arvutustes kasutatud B4 etapi vaikeväärtused on esitatud Tabel 2.17.

B4 mõju arvutatakse valemiga:

$$GWP_{B4} = \sum(GWP_{A1-A3} + GWP_{A4} + GWP_{A5} + GWP_{C1-C4}) \times i_{materjal} \quad (2.6)$$

kus GWP_{B4} - Toodete asendamise mõju [tCO₂e]
 GWP_{A1-A3} - Ehitusmaterjalide tootmise mõju [tCO₂e]
 GWP_{A4} - Ehitusmaterjalide transpordimõju [tCO₂e]
 GWP_{A5} - Ehitustegevuse mõju [tCO₂e]
 GWP_{C1-C4} - Ehitusmaterjalide lõppkäitlusemõju [tCO₂e]

i - on materjali/toote asenduse intervall, mis on arvatud 2.5 valemi järgi

$$i = \frac{50}{\text{toote kasutusiga}} - 1, \text{ kus} \quad (2.6)$$

kus i - on materjali/toote asenduse intervall

50 - Eesti metoodikas on hoone arvutusperiood 50 aastat. Kui hoone projekteeritud kasutusiga on lühem kui 50 aastat, kasutatakse arvutuses hoone projekteeritud kasutusiga

toote kasutusiga - EHEA andmebaasist väärtus. Lõputöö arvutustes seadmetele 20 aastat, torustik ja selle osad 50 aastat.

Tabel 2.17 B4 etapis arvu stes kasutatud süsteemiosade kasutusead

SÜSTEEM	Toode	Kasutusiga
Ventilatsioon	Tsingitud lehtteras toru ümmargune	50
Ventilatsioon	Tsingitud lehtteras toru kandiline	50
Ventilatsioon	Sissepuhkeplafoon	50
Ventilatsioon	Sissepuhkeplafoon + tasanduskast	50
Ventilatsioon	Väljatõmbeplafoon	50
Ventilatsioon	Väljatõmbeplafoon + tasanduskast	50
Ventilatsioon	Välisrest	50
Ventilatsioon	Klapp (reguleer, tuletõkke, CAV, VAV)	50
Ventilatsioon	Mürasummuti	50
Ventilatsioon	Ventilatsiooni seadmed	20
Jahutus	Jahutus siseseade	20
Küte	Raadiaator	20
Vent, Küte, Vesi, Kanal	Kivivill isolatsioon	50
Vent, Küte, Jahutus, Vesi, Kanal	Poorkumm isolatsioon	50
Küte, Jahutus	Terastoru	50

Küte, Jahutus, Vesi	Pex, Pe toru	50
Küte, Jahutus, Vesi	Pex-Al-pex toru	50
Jahutus	Vasktoru	50
Kanal	PP toru	50
Sadevesi	HDPE toru	50
Küte, Jahutus, Vesi	Liiniseadmed (ventiilid, sulgkraanid)	20
Küte, Vesi	Kollektor	50
Küte, Jahutus, Vesi	Pump	20
Kanal, Sadevesi	Kaevud/pumplad	50
TV	Tugevvoolu kaabel	50
NV	Nõrkvool kaabel	50
TV, NV	Korterikilbid	50
TV, NV	Kaabliredelid	50

2.2.5 Hoone kasutusaegne energia (B6)

Tegemist on süsiniku jalajälje osaga, mis ei ole sõltuv tehnosüsteemide materjali mahust, siis seda osa tehnosüsteemide arvutuses ei arvutata.

2.2.6 Hoone lammutus (C1)

Tegemist on teguriga, mis on seotud hoone netopindalaga ja ei ole sõltuv materjali mahust, siis seda osa tehnosüsteemide arvutuses ei arvestata.

2.2.7 Lammutatud materjali transport (C2)

Etapis C2 hinnatakse lammutatud materjali transpordi mõju jäätmekaama. Vaikimisi on arvestatud, et jäätmekaama on distants 50 km. Nii nagu etapis A4 arvestatakse ka C2 etapis sellega, milline on jäätmekoorma suhe auto kandevõimega võrreldes. Siin kohal on arvestatud, et jäätmekoorem on 30% auto kandevõimest.

C2 mõju arvutatakse valemiga:

$$GWP_{C2} = \sum(m \times EF_{\text{linnasõit } 30\%} \times 50 + 50 \times 0,3 \times EF_{\text{linnasõit } 0\%}), \quad (2.9)$$

kus GWP_{C2} – lammutatud ehitusmaterjalide transpordimõju [kgCO₂e]

m - materjali mass [kg]

$EF_{\text{linnasõit } 30\%}$ - 0,202 [kgCO₂e/tkm] EHEA andmebaasi väärtus, poolhaagis 40 t, koormus 30%

$EF_{\text{linnasõit } 0\%}$ - 1,25 [kgCO₂e/tkm] EHEA andmebaasi väärtus, poolhaagis, 40t, koormus tagasi 0%

50 – vaikumisi valitud vahemaa objektilt jäätmejaama [km]

2.2.8 Lammutatud materjali töötlus (C3)

Etapis C3 käsitleb lammutatud materjali jäätmekäitluse keskkonnamõjusid, mis on seotud materjali ettevalmistamiseks, et see taas ringlusesse võtta. Etapp käsitleb protsessi tervikuna alates taaskasutusse võetava materjali kogumisega kuni energiavajaduseni, mis kulub materjali ümbertöötlemisel.

Magistritöös C3 etapi mõju arvutamiseks kasutatavad väärtused on esitletud Tabel 2.18.

C3 mõju arvutatakse valemiga:

$$GWP_{C3} = \sum m \times EFR_{materjal\ i} \times R_{materjal\ i} \quad (2.10)$$

kus GWP_{C3} – lammutatud ehitusmaterjalide töötlus mõju [kgCO₂e]

m – lammutatud materjali mass [kg]

$EFR_{materjal\ i}$ – materjali jäätmekäitluse mõju heitetegur, mis põhineb materjali jäätmekäitlusklassil, väärtus EHEA andmebaasist vastavalt materjalile

$R_{materjal\ i}$ – materjali ringlussevõtu määr Eesti andmebaasist (väärtus 1 või 0,75 või 0).

Tabel 2.18 C3 etapi arvutustes kasutatud väärtused

SÜSTEEM	Toode	Efr	Ringlusesse võtu määr, R
Ventilatsioon	Tsingitud lehtteras toru ümmargune	0,002	1
Ventilatsioon	Tsingitud lehtteras toru kandiline	0,002	1
Ventilatsioon	Sissepuhkeplafoon	0,002	1
Ventilatsioon	Sissepuhkeplafoon + tasanduskast	0,002	1
Ventilatsioon	Väljatõmbeplafoon	0,002	1
Ventilatsioon	Väljatõmbeplafoon + tasanduskast	0,002	1
Ventilatsioon	Välisrest	0,002	1
Ventilatsioon	Klapp (reguleer, tuletõkke, CAV, VAV)	0,002	1
Ventilatsioon	Mürasummuti	0	0
Ventilatsioon	Ventiliooni seadmed	0	0,75
Jahutus	Jahutus siseseade	0	0,75
Küte	Raadiaator	0,002	1

Vent, Küte, Vesi, Kanal	Kivivill isolatsioon	0	0
Vent, Küte, Jahutus, Vesi, Kanal	Poorkumm isolatsioon	0	0
Küte, Jahutus	Terastoru	0,002	1
Küte, Jahutus, Vesi	Pex, Pe toru	0,7	0,5
Küte, Jahutus, Vesi	Pex-Al-pex toru	0,7	0,5
Jahutus	Vasktoru	0,002	1
Kanal	PP toru	0,7	0,5
Sadevesi	HDPE toru	0,7	0,5
Küte, Jahutus, Vesi	Liiniseadmed (ventiilid, sulgkraanid)	0	0
Küte, Vesi	Kollektor	0	0
Küte, Jahutus, Vesi	Pump	0	0,75
Kanal, Sadevesi	Kaevud/pumplad	0,7	0,5
TV	Tugevvoolu kaabel	0,002	1
NV	Nõrkvool kaabel	0,002	1
TV, NV	Korterikilbid	0,002	0,75
TV, NV	Kaabliredelid	0,002	1

2.2.9 Lammutatud materjali kõrvaldamine (C4)

Etapp C4 kirjeldab lammutatud materjalide lõpliku kõrvaldamise mõju. Etapis arvestatakse mõju, mis kulub prügila haldamisega ning jäätmete füüsilise eeltöötlemisega.

Magistritöös C4 etapi mõju arutamiseks kasutatavad väärtused on esitletud Tabel 2.19.

C4 mõju arvutatakse valemiga:

$$GWP_{C4} = \sum m \times EFD_{materjal\ i} \times K_{materjal\ i} \quad (2.11)$$

kus GWP_{C4} – lammutatud ehitusmaterjalide kõrvaldamise mõju [kgCO₂e]

m – lammutatud materjali mass [kg]

$EFD_{materjal\ i}$ – materjali kõrvaldamise mõju heitetegur EHEA andmebaasist

$K_{materjal\ i}$ – materjali kõrvaldamise määr Eesti andmebaasist (väärtus 1 või 0,25 või 0). $K=1-R$

Tabel 2.19 C4 etapis arvutamiseks kasutatud väärtused

SÜSTEEM	Toode	EfK	Lõppkaitluse võtu määr, K
Ventilatsioon	Tsingitud lehtteras toru ümmargune	0	0
Ventilatsioon	Tsingitud lehtteras toru kandiline	0	0
Ventilatsioon	Sissepuhkeplafoon	0	0
Ventilatsioon	Sissepuhkeplafoon + tasanduskast	0	0
Ventilatsioon	Väljatõmbeplafoon	0	0
Ventilatsioon	Väljatõmbeplafoon + tasanduskast	0	0
Ventilatsioon	Välisrest	0	0
Ventilatsioon	Klapp (reguleer, tuletõkke, CAV, VAV)	0	0
Ventilatsioon	Mürasummuti	0,057	1
Ventilatsioon	Ventilatooni seadmed	0,057	0,25
Jahutus	Jahutus siseseade	0,057	0,25
Küte	Raadiaator	0	0
Vent, Küte, Vesi, Kanal	Kivivill isolatsioon	0,057	1
Vent, Küte, Jahutus, Vesi, Kanal	Poorkumm isolatsioon	0,057	1
Küte, Jahutus	Terastoru	0	0
Küte, Jahutus, Vesi	Pex, Pe toru	3	0,5
Küte, Jahutus, Vesi	Pex-Al-pex toru	3	0,5
Jahutus	Vasktoru	0	0
Kanal	PP toru	3	0,5
Sadevesi	HDPE toru	3	0,5
Küte, Jahutus, Vesi	Liiniseadmed (ventiilid, sulgkraanid)	0,057	1
Küte, Vesi	Kollektor	0,057	1
Küte, Jahutus, Vesi	Pump	0,057	0,25
Kanal, Sadevesi	Kaevud/pumplad	3	0,5
TV	Tugevoolu kaabel	0	0
NV	Nõrkvool kaabel	0	0
TV, NV	Korterikilbid	0,057	0,25
TV, NV	Kaabliredelid	0	0

3 TULEMUSED

Selles magistritöö peatükis esitatakse uuritavate hoonete tehnosüsteemide süsinikujalajälje hindamise tulemused. Kõigepealt tuuakse hoonete kasutusotstarvete lõikes välja tehnosüsteemide süsinikujalajälje arvutustulemused, rõhutades iga süsteemi komponentide osakaalu üldises süsinikujalajäljes. Analüüsitakse tehnosüsteemide erinevate osade panust kogu süsteemi süsinikujalajäljele ning luuakse terviklik ülevaade olelusringi etappide osakaaludest süsteemide jalajäljes. Lisaks analüüsitakse, kuidas mõjutab tehnosüsteemide kasutusiga süsinikujalajälge. Võrreldakse tulemusi Eesti arvutusmetoodika vaikeväärtustega. Tulemused on esitatud tonnides ja kilogrammides hoone köetava ruutmeetri kohta.

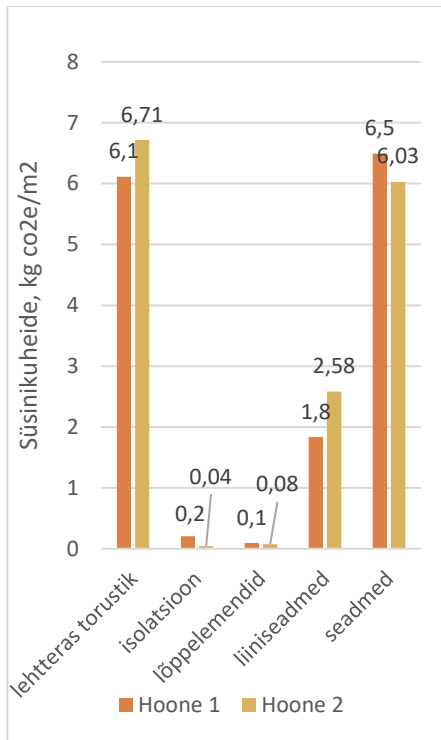
3.1 Hoonete tehnosüsteemide süsinikujalajäljed

3.1.1 Kortermajade tulemused

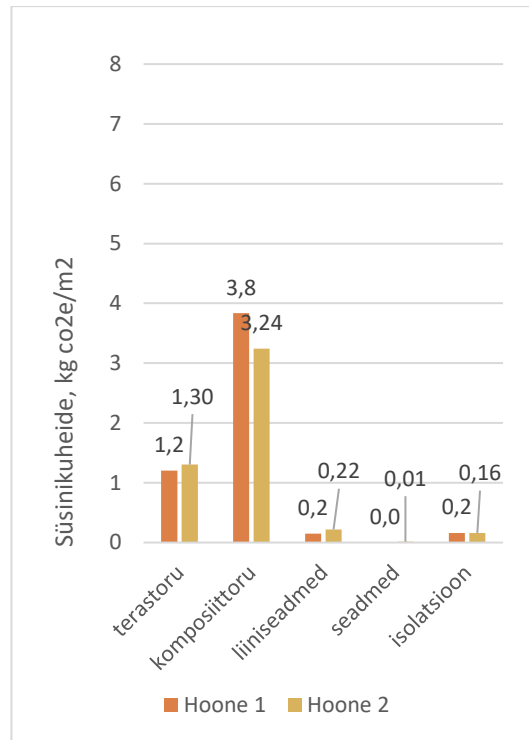
Hoone 1 tehnosüsteemide summaarne süsinikujalajalg on 733,15 t CO₂e ja Hoone 2 süsinikujalajalg on 343,58 t CO₂e (Tabel 3.1). Summaarse süsinikujalajälje märgatava erinevuse põhjuseks on see, et Hoone 2 ei ole jahutussüsteemi, kuid Hoone 1 ettenähtud tsentraalne jahutussüsteem. Lisaks on Hoone 1 oma pindalalt suurem, kui Hoone 2.

Hoone 1 ja 2 ventilatsioonisüsteemide süsinikuheide süsteemi põhiosade kaupa on näha Joonis 3.1. Mõlema hoone puhul moodustab kogu ventilatsiooni süsinikujalajälje osast enamiku ventilatsiooni jaotustorustik ja ventilatsiooniseadmed. Mõlema osakaalud jäävad 40%-45% vahemikku. Järgnevad liiniseadmed (reguleerimisklapid, tuleklapid, mürasummutid jms), mille osakaal on ligikaudu 15% kogu ventilatsiooni süsinikuheitmest. Ülejäänud marginaalse osa moodustavad lõppelemendid ning torustiku isolatsioon.

Joonis 3.2 on esitatud Hoone 1 ja 2 küttesüsteemide süsinikuheide põhikomponentide lõikes. Küttesüsteemi süsinikujalajälje peamiseks mõjuteguriks on torustik. Kõige suurem osakaal on polüetüleen ja komposiittorustikul (Pex, Al-Pex), mis moodustab 65-70% küttesüsteemi süsinikuheitmest. Hoone 1 põrandkütte torustiku (Pex) kogu pikkuseks on 54km ja Hoone 2 on 39km. Liiniseadmed, seadmed (pumbad) ja isolatsiooni mõju jääb süsinikuheites alla 10%.



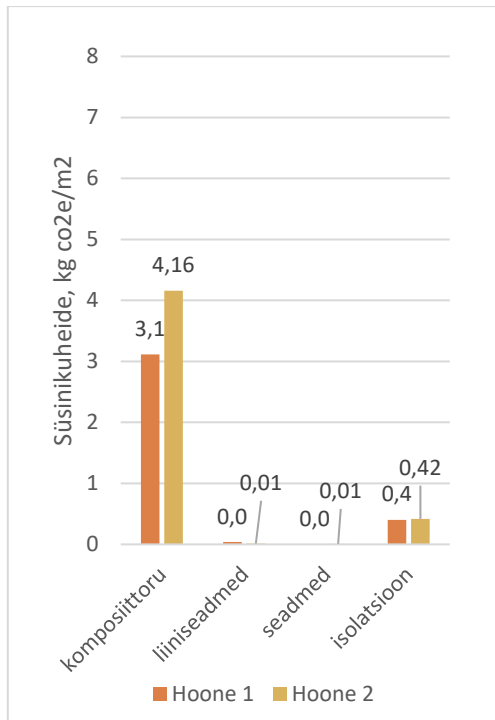
Joonis 3.1 Hoone 1 ja Hoone 2 ventilatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO2e/m2



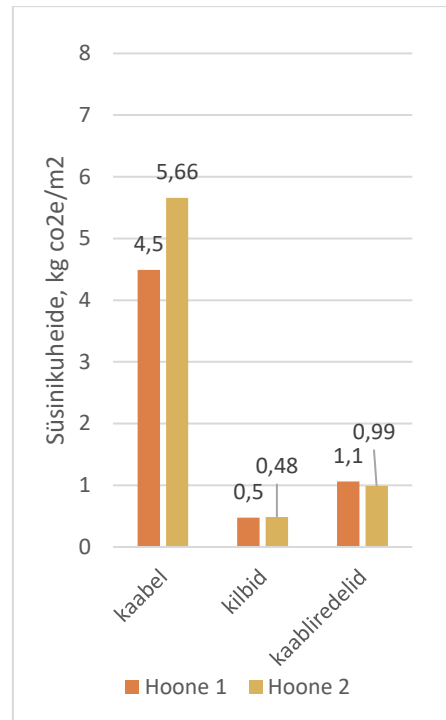
Joonis 3.2 Hoone 1 ja 2 küttesüsteemi osade süsinikuheide, kgCO2e/m2

Hoonete 1 ja 2 vee- ja kanalisatsioonisüsteemi summaarsed tehnosüsteemide süsinikujalajäljed on vastavalt 58,26 tCO₂ ja 47,37 tCO₂. Joonis 3.3 on näha, et selle osasüsteemi süsinikujalajälje moodustab 90% polüpropüleen ja polüetüleen torustikud. Ülejäänud süsinikujalajalg mõju on isolatsioonil ja pumpadel, mis jääb alla 10% süsteemi süsinikuheitest.

Tugev- ja nõrkvoolu süsiniku heitmed on Hoonetes 1 98,69 tCO₂e ja Hoonetes 2 on 87,99 tCO₂e. Joonis 3.4 kohaselt on süsteemides suurim osakaal kaabeldusel, mis moodustab 75 % kogu süsteemi jalajäljest. Jaotuskilpide ja kaabliredelite osakaalud jäävad 20-25% juurde

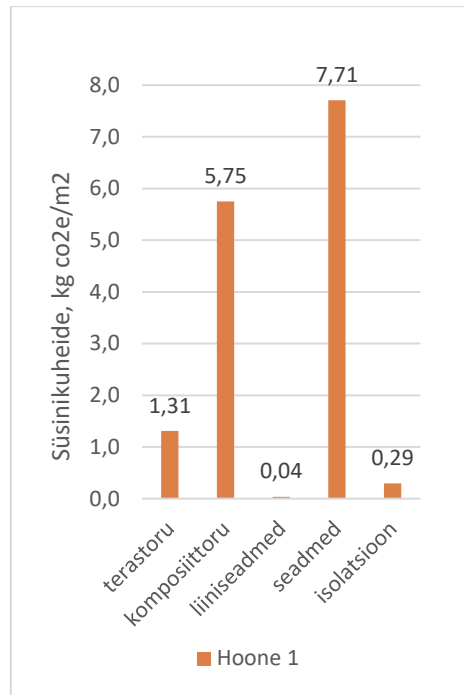


Joonis 3.3 Hoone 1 ja 2 vee- ja kanalisatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO₂e/m²



Joonis 3.4 Hoone 1 ja 2 tugev- ja nõrkvoolusüsteemi osade süsinikuheide, kgCO₂e/m²

Hoone 1 jahutussüsteemi osade mõju on leitav Joonis 3.5 Hoone 1 jahutussüsteemi osade süsinikuheide, kgCO₂e/m² Joonis 3.5. Jahutusseadmete mõju on süsinikuheitele suurim, sest seadmete kasutuseaks on 20 aastat. Teise olulise mõjuna saab välja tuua torustiku, mis antud hoones on nii komposiittorustikuna kui ka terastorustikuna ettenähtud. Marginaalse mõju moodustavad liiniseadmed ja isolatsioon.



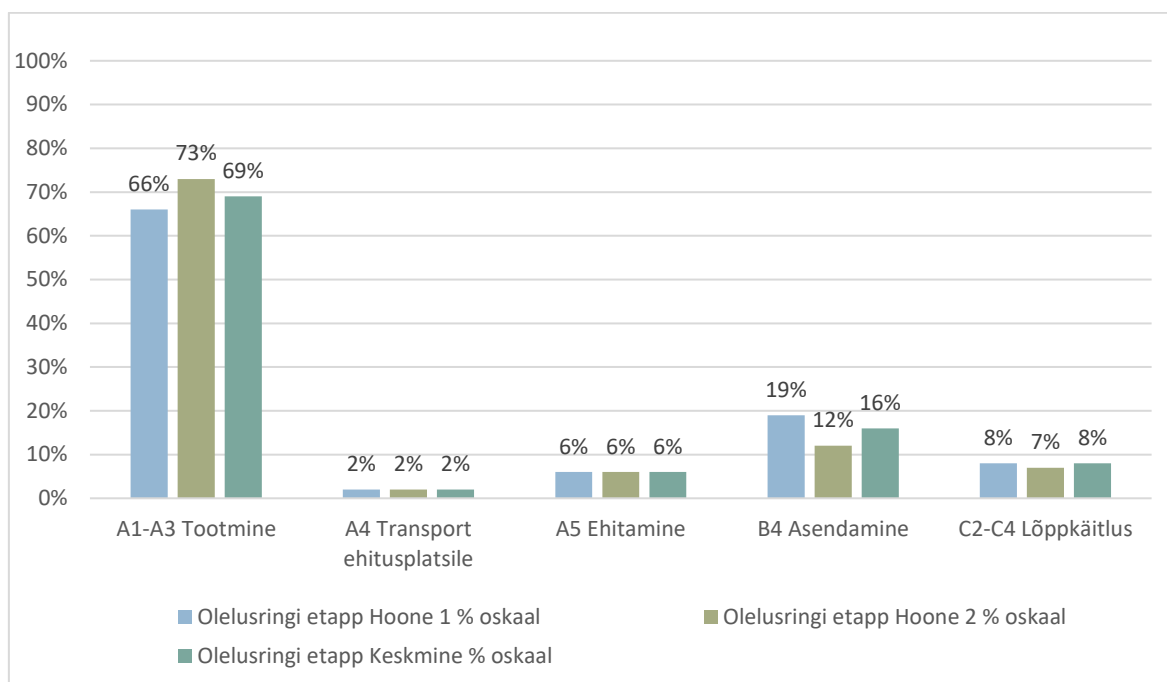
Joonis 3.5 Hoone 1 jahutussüsteemi osade süsinikuheide, kgCO₂e/m²

Hoone 1 ja Hoone 2 süsinikjalajälje arvutustulemused köetava ruutmeetri põhiselt on leitavad Tabel 3.1. Hoone 1 tehnosüsteemide süsinikjalajälg on 44,79 kg CO₂e/m² ja Hoone 2 süsinikjalajälg on 31,53 kgCO₂e/m². Hoone 1 süsinikjalajälg on 42% kõrgema tulemusega kui Hoone 2. Hoone 1 on ettenähtud tsentraalne jahutussüsteem, mille tulemusel on kogu tehnosüsteemide torustiku ja seadmete maht suurenenud märkimisväärselt, seetõttu on tehnosüsteemide jalajälg ruutmeetri kohta suurem. Lisaks sellele on Hoone 1 arvutustes arvestatud, et jahutusseadmed vajavad iga 20 aasta järel asendamist, mis suurendab Hoone 1 süsinikjalajälje tulemust võrreldes Hoonega 2. Kui Hoone 1 süsinikjalajälje arvutustest välja jätta jahutussüsteem, on süsinikjalajälje tulemus 29,69 kgCO₂e/m², mis teeks Hoone 1 süsinikjalajälje 5% väiksemaks, kui Hoone 2 süsinikjalajälg.

Tabel 3.1 Hoone 1 ja 2 tehnosüsteemide süsinikjalajälje tulemused

Süsteem	GWP					
	Hoone 1		Hoone 2		Keskmine	
	t CO ₂ e	kg CO ₂ e/m ²	tCO ₂ e	kg CO ₂ e/m ²	tCO ₂ e	kg CO ₂ e/m ²
Ventilatsioon	241,31	14,74	167,36	15,41	204,33	15,08
Küte	87,74	5,36	50,38	4,64	69,06	5,00
Jahutus	247,15	15,10	0,00	0,00	123,58	7,55
Vesi ja kanal	58,26	3,56	47,37	4,36	52,82	3,96
Tugevool/Nõrkvool	98,69	6,03	77,28	7,12	87,99	6,57
Kokku	733,15	44,79	342,40	31,53	537,77	38,16

Tabel 3.2 ja Joonis 3.6 on toodud välja Hoone 1, Hoone 2 ja nende keskmise olelusringi etappide osakaalud süsinikjalajäljes. Kõige suurema osakaalu mõlemal hoonel moodustab A1-A3 tootmisetapp, moodustades vahemikus 66-73% kogu süsinikjalajäljest. Hoone 1 puhul omab B4 asendamise etapp suuremat mõju kui Hoone 2 puhul. See tuleneb sellest, et Hoone 1 korterid on varustatud jahutusseadmetega, mille kasutuseaks on määratud 20 aastat. Kõige väiksema osakaalu 2% moodustab A4 transpordi etapp. A4, A5 ja C2-C4 etapid moodustavad kokku ligikaudu 16% kogu süsinikjalajäljest.



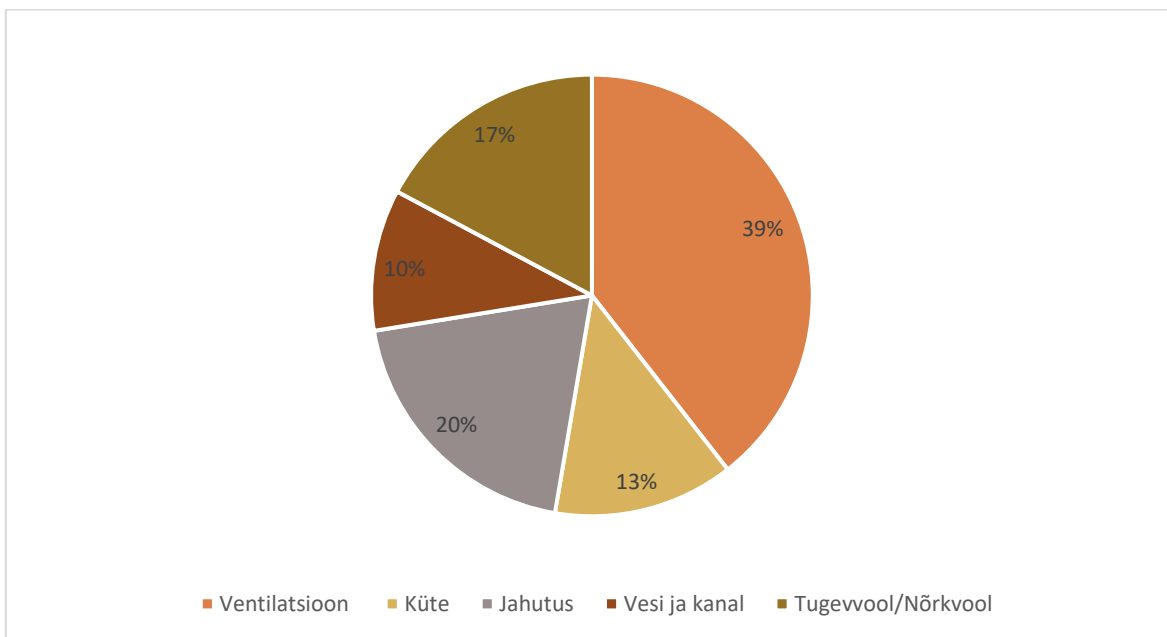
Joonis 3.6 Kortermajade olelusringide osakaal süsinikjalajäljest

Tabel 3.2 Kortermajade olelusringide osakaal süsinikjalajäljest

Olelusringi etapp	GWP					
	Hoone 1		Hoone 2		Keskmine	
	kg CO2e/m2	% oskaal	kg CO2e/m2	% oskaal	kg CO2e/m2	% oskaal
A1-A3 Tootmine	29,47	66%	23,10	73%	26,29	69%
A4 Transport ehitusplatsile	0,75	2%	0,56	2%	0,66	2%
A5 Ehitamine	2,52	6%	1,95	6%	2,23	6%
B4 Asendamine	8,53	19%	3,63	12%	6,08	16%
C2-C4 Lõppkäitlus	3,52	8%	2,29	7%	2,91	8%

Joonis 3.7 on protsentuaalselt näidatud Hoone 1 ja 2 keskmiseid tehnosüsteemide osakaalud kogu tehnosüsteemide süsinikjalajäljest. Kõige suurema osa süsinikjalajäljest moodustab ventilatsioonisüsteem, mis moodustab ligi 40% kogu jalajäljest. Ventilatsioonisüsteemide puhul on otsustav seadmete suur kaal, mis antud

kortermajades küündib summaarselt 8-9 tonni vahele ning nende lühem kasutusiga võrreldes ehitise kasutuseaga. Jahutussüsteemi osakaal on kogu süsinikuheitest 20%. Jahutussüsteemi arvestamata moodustaks ventilatsioon osa juba pool kogu tehnosüsteemide jalajäljest. Tugev- ja nõrkvoolu osakaal on ligi 20% kogu tehnosüsteemide süsinikujalajäljest. Vee- ja kanalisatsioonisüsteemide mõju heitele jääb 10% juurde.



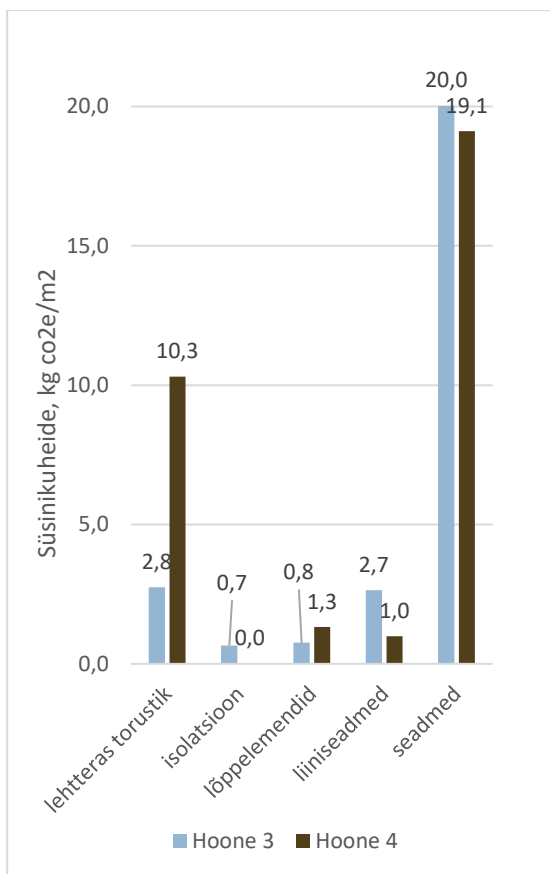
Joonis 3.7 Kortermajade tehnosüsteemide osakaal süsinikujalajäljes

3.1.2 Haridusasutushoonete tulemused

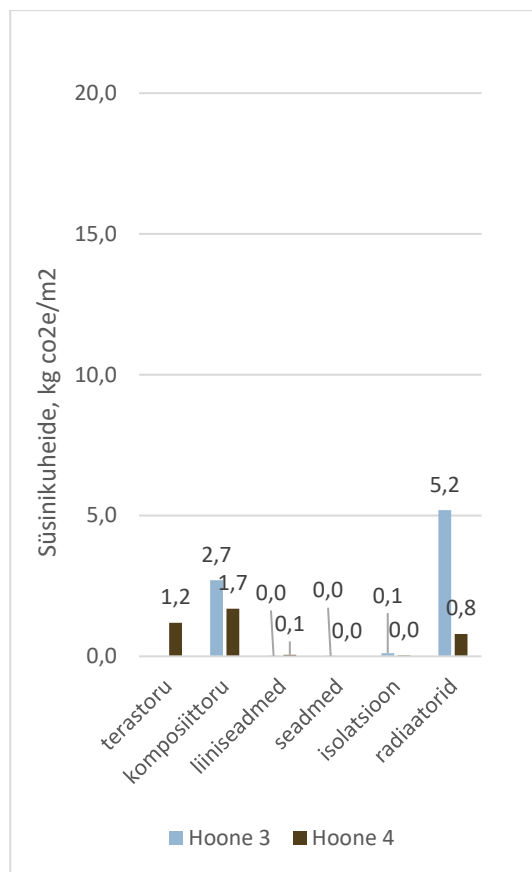
Hoone 3 tehnosüsteemide summaarne süsinikujalajalg on 212,4 t CO₂e ja Hoone 4 süsinikujalajalg on 345,9 t CO₂e (Tabel 3.3).

Hoone 3 ja 4 ventilatsioonisüsteemide süsinikuheide süsteemi põhiosade kaupa on näha Joonis 3.8. Mõlema hoone puhul on suurim mõju süsinikujalajäljele ventilatsiooni seadmetel, mis moodustab ca 80% süsteemi jalajäljest. Järgneb süsteemitorustik, mille osa kaal on Hoone 3 puhul viis korda väiksem, kui Hoone 4. Keskmiselt on torustiku osakaal viiendik süsteemi jalajäljest. Liiniseadmete osakaal on ligikaudu 8% kogu ventilatsiooni süsinikuheitmest. Ülejäänud osa moodustavad lõppelemendid ning torustiku isolatsioon.

Joonis 3.9 on esitatud Hoone 3 ja 4 küttesüsteemide süsinikuheide põhikomponentide lõikes. Küttesüsteemi süsinikujalajälje peamiseks mõjuteguriks on torustik ning radiaatorid oma massi ja kasutusea tõttu. Torustik (Teras, Pex, Al-Pex), moodustab ca 50% küttesüsteemi süsinikuheitmest. Liiniseadmed, seadmed (pumbad) ja isolatsiooni mõju jääb süsinikuheites alla 10%.



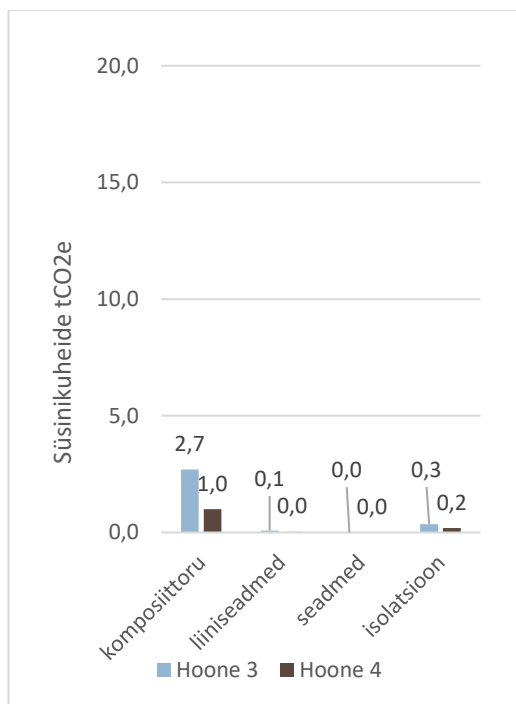
Joonis 3.8 Hoone 3 ja 4 ventilatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO₂e/m²



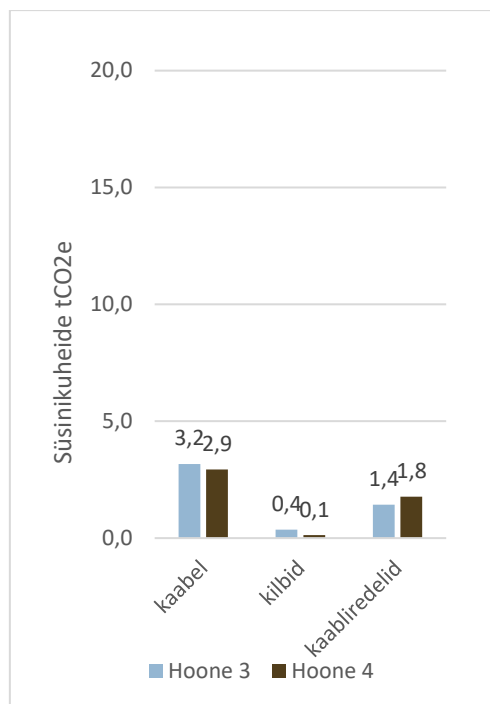
Joonis 3.9 Hoone 3 ja 4 küttesüsteemi osade süsinikuheide, kgCO₂e/m²

Hoonete 3 ja 4 vee- ja kanalisatsioonisüsteemi summaarsed tehnosüsteemide süsinikujalajälg on vastavalt 15,4 tCO₂ ja 11,3 tCO₂ (Tabel 3.3) Joonis 3.10). Joonis 3.10 on näha, et selle osasüsteemi süsinikujalajälje moodustab 90% torustikud. Ülejäänud süsinikujalajälg mõju on isolatsioonil ja pumpadel, mis jääb alla 10% süsteemi süsinikuheitest.

Tugev- ja nõrkvoolu süsiniku heitmed on Hoones 24,4 tCO₂e ja Hoones 2 on 39,9 tCO₂e. (Tabel 3.3). Joonis 3.11) Joonis 3.4 kohaselt on süsteemides on suurim osakaal kaabeldusel, mis moodustab ca 65% kogu süsteemi jalajäljest. Jaotuskilpide ja kaabliredelite osakaalud jäävad 25-30% juurde



Joonis 3.10 Hoone 3 ja 4 vee- ja kanalisatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO₂e/m²



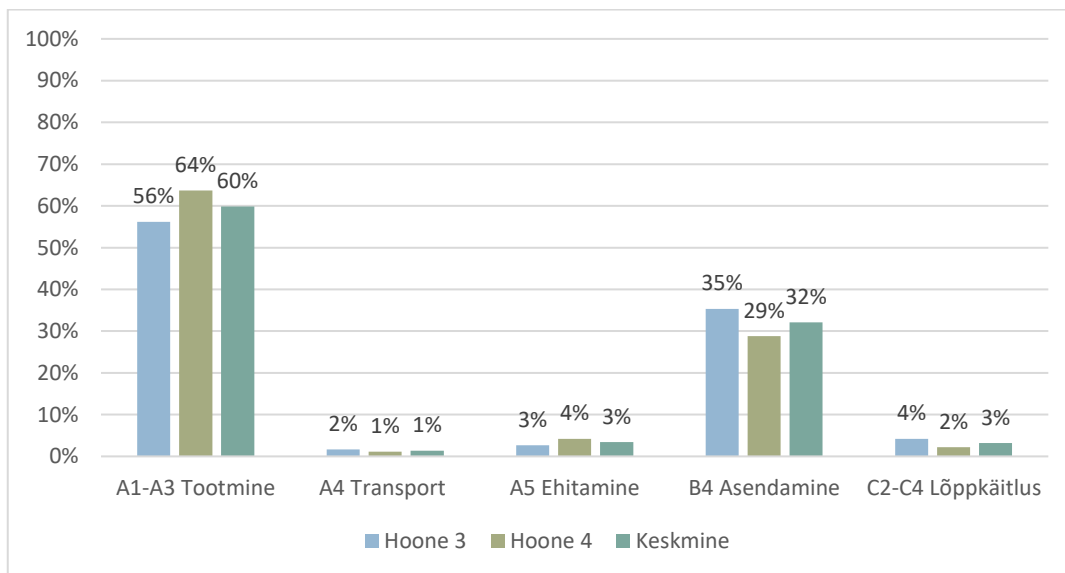
Joonis 3.11 Hoone 3 ja 4 tugev- ja nõrkvoolusüsteemi osade süsinikuheide, kgCO₂e/m²

Hoone 3 ja 4 süsinikujalajälje tulemused on leitavad Tabel 3.3. Hoone 3 tehnosüsteemide süsinikujalajälg on 43,2 kg CO₂e/m² ja Hoone 4 süsinikujalajälg on 41,9 kgCO₂e/m². Kahe haridusasutuse süsinikujalajäljed on sarnased ning erinevad vaid 1,3 kgCO₂e/m² võrra. Hoone 3 küttesüsteemi süsinikujalajälg on rohkem kui kaks korda suurem Hoone 4 küttesüsteemi osast. See tuleneb sellest, et Hoone 3 küttesüsteem on lahendatud osaliselt radiaatorküttega ning radiaatorite kasutuseaks on arvestatud 20 aastat. Seetõttu on Hoone 3 B4 asendamisetapp suurem kui see on Hoone 4 puhul, kus hoone köetakse üles põrandkütte abil, mille kasutuseaks on arvestatud 50 aastat.

Tabel 3.3 Hoone 3 ja 4 tehnosüsteemide süsinikujalajälje tulemused

Süsteem	GWP					
	Hoone 3		Hoone 4		Keskmine	
	t CO ₂ e	kg CO ₂ e/m ²	tCO ₂ e	kg CO ₂ e/m ²	tCO ₂ e	kg CO ₂ e/m ²
Ventilatsioon	131,9	26,8	262,0	31,7	197,0	29,3
Küte	39,6	8,1	31,1	3,8	35,4	5,9
Jahutus	1,1	0,2	1,5	0,2	1,3	0,2
Vesi ja kanal	15,4	3,1	11,3	1,4	13,4	2,3
Tugevool/Nõrkvool	24,4	5,0	39,9	4,8	32,1	4,9
Kokku	212,4	43,2	345,9	41,9	279,1	42,6

Tabel 3.4 ja Joonis 3.12 on toodud välja Hoone 3 ja Hoone 4 olelusringi etappide osakaalu süsinikjalajäljes. Sarnaselt kortermajadele moodustab kõige suurema osakaalu tootmisetapp A1-A3 keskmiselt kuni kaks kolmandikku kogu süsinikjalajäljest. Selle järgneb asendamisetapp B4, mis moodustab keskmiselt 32% kogu süsinikjalajäljest. A4, A5 ja C2-C4 etapid moodustavad kokku ligikaudu 7% kogu süsinikjalajäljest.



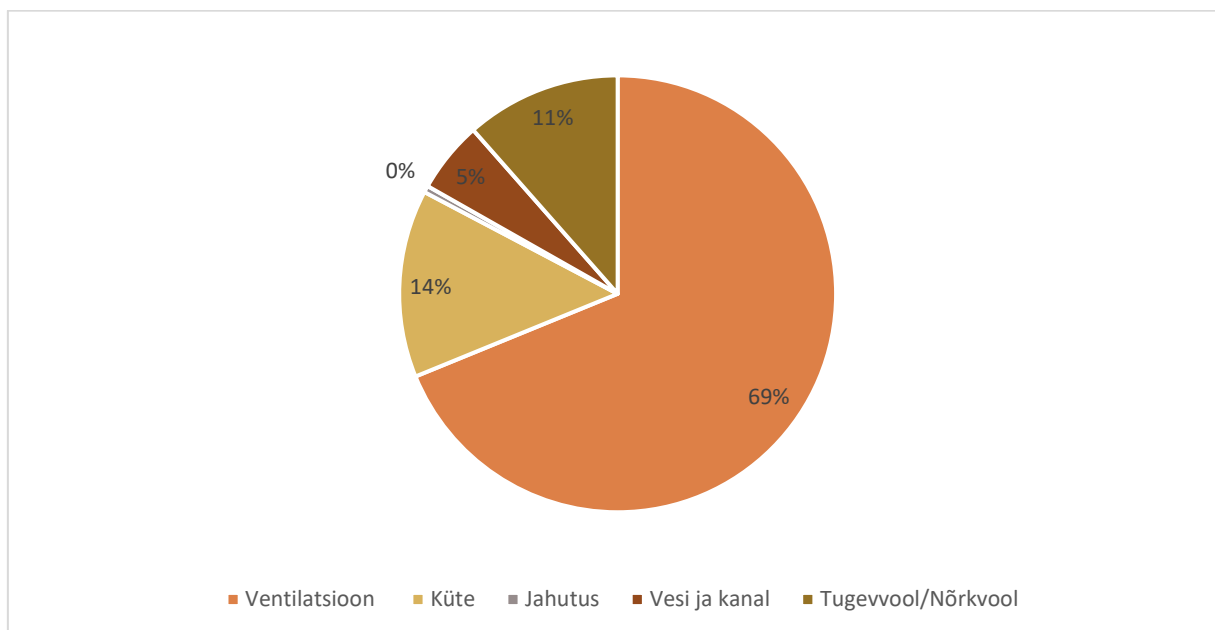
Joonis 3.12 Haridusasutuste olelusringide osakaal süsinikjalajäljest

Tabel 3.4 Haridusasutuste olelusringide osakaal süsinikjalajäljest

Olelusringi etapp	GWP					
	Hoone 3		Hoone 4		Keskmine	
	kg CO2e/m2	% oskaal	kg CO2e/m2	% oskaal	kg CO2e/m2	% oskaal
A1-A3 Tootmine	24,27	56%	26,69	64%	25,48	60%
A4 Transport	0,70	2%	0,47	1%	0,59	1%
A5 Ehitamine	1,16	3%	1,75	4%	1,46	3%
B4 Asendamine	15,27	35%	12,06	29%	13,67	32%
C2-C4 Lõppkäitlus	1,80	4%	0,92	2%	1,36	3%
Kokku	43,21		41,90		42,56	

Joonis 3.13 on protsentuaalselt näidatud Hoone 3 ja 4 keskmiseid tehnosüsteemide osakaalusid tehnosüsteemide süsinikjalajäljest. Kõige suurema osa moodustab süsinikjalajäljest ventilatsioonisüsteem, mis on ligi 70% kogu jalajäljest. Ventilatsioonisüsteemide puhul on otsustav seadmete suur kaal, mis kirjeldatud haridusasutustes küündib kuni 15 tonni juurde ning nende kasutusiga, mis on 20 aastat. Küttesüsteemide mõju jääb 14% juurde. Tugevoolu ja nõrkvoolusüsteemide süsinikeide on ligikaudu kümnendik tehnosüsteemide süsinikeitimest.

Jahutussüsteemi mõju jääb haridusasutustes alla 1%. Ventilatsioonisüsteemi osakaalu suurendab võrreldes kortermajadega väiksema vee- ja kanalisatsioonisüsteemide ning küttesüsteemide materjali mahu tõttu.



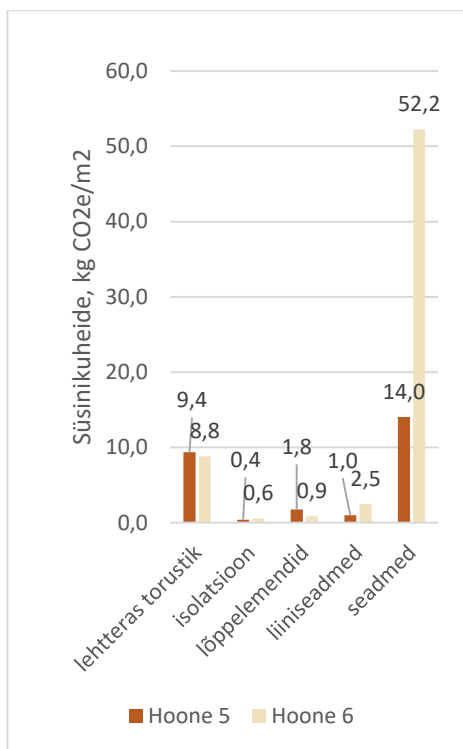
Joonis 3.13 Haridusasutuste tehnosüsteemide osakaalud süsinikujalajäljes

3.1.3 Kontorihoonete tulemused

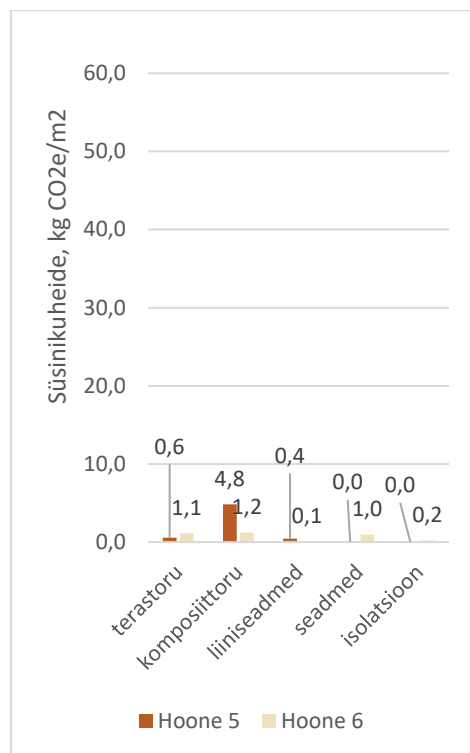
Hoone 5 tehnosüsteemide summaarne süsinikujalajälg on 201,9 t CO₂e ja Hoone 6 süsinikujalajälg on 179,6 t CO₂e (Tabel 3.5).

Hoone 5 ja 6 ventilatsioonisüsteemide süsinikuheide süsteemi põhiosade kaupa on näha Joonis 3.14. Mõlema kontorihoonete puhul on suurim mõju süsinikujalajäljele ventilatsiooniseadmetel, mis moodustab Hoone 5 puhul pole süsinikujalajälje heitest. Hoone 6 ventilatsiooniseadmed moodustavad 80% süsteemi jalajäljest. Järgneb ventilatsioonisüsteemitorustiku osa, mis on keskmiselt 9 kgCO₂e/m². Liiniseadmete, lõppelementide ja isolatsiooni osakaal on keskmiselt ligikaudu kümnendik kogu ventilatsiooni süsinikuheitmest.

Joonis 3.15 on näha Hoone 5 ja 6 küttesüsteemide süsinikuheide põhikomponentide lõikes. Küttesüsteemi süsinikujalajälje peamiseks mõjuteguriks on torustik. Torustik (Teras, Pex, Al-Pex), moodustab ca 70% küttesüsteemi süsinikuheitmest. Järgnevad seadmed (radiaatorid, õhkkardinad), mille osakaal süsteemi jalajäljest on 20%. Liiniseadmete ja isolatsiooni mõju jääb süsinikuheites alla 10%.



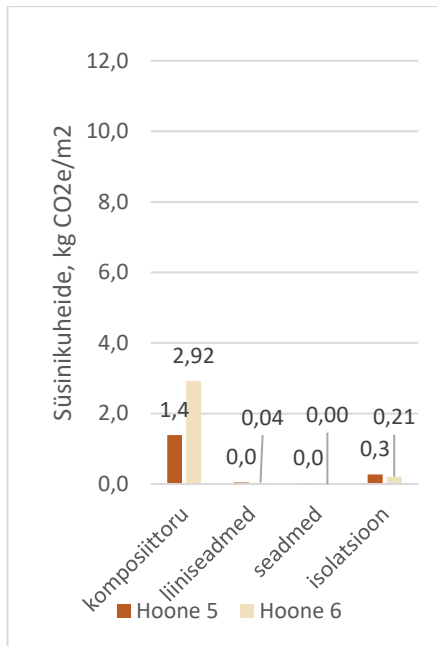
Joonis 3.14 Hoone 5 ja 6 ventilatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO2e/m2



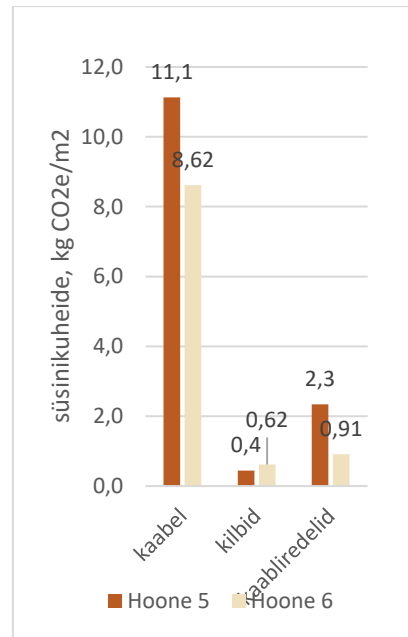
Joonis 3.15 Hoone 5 ja 6 küttesüsteemi osade süsinikuheide, kgCO2e/m2

Hoonete 5 ja 6 vee- ja kanalisatsioonisüsteemi summaarsed tehnosüsteemide süsinikujalajälg on vastavalt 7,3 tCO2 ja 5,3 tCO2 (Tabel 3.5). Joonis 3.16 selgub, et osasüsteemi süsinikujalajälje moodustab keskmiselt 90% torustikud. Ülejäänud süsinikujalajälg mõju on isolatsioonil ja pumpadel, mis jääb 10% süsteemi süsinikuheitest.

Tugev- ja nõrkvoolu süsinikujalajälg Hoones 5 on 58,8 tCO2e ja Hoones 6 on 10,1 tCO2e. Joonis 3.17 Joonis 3.4 kohaselt on süsteemides on suurim osakaal kaabeldusel, mis moodustab 80-85% kogu süsteemi jalajäljest. Jaotuskilpide ja kaabliredelite osakaalud jäävad 15-20% juurde.

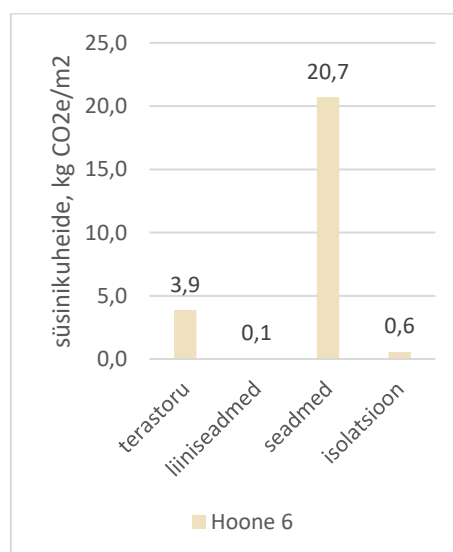


Joonis 3.16 Hoone 5 ja 6 vee- ja kanalisatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO2e/m2



Joonis 3.17 Hoone 5 ja 6 tugev- ja nõrkvoolusüsteemi osade süsinikuheide, kgCO2/m2

Hoone 5 jahutussüsteemi osade mõju juba sisaldub Hoone 5 kütte süsinikujalajäljes, sest sama süsteemi kasutatakse nii kütmiseks kui jahutamiseks. Hoone 6 jahutussüsteemi osade mõju on leitav Joonis 3.18. Jahutusseadmete mõju on süsinikeitele suurim seadmete kasutusea tõttu, ligi 85%. Teise olulise mõjuna saab välja tuua torustiku, mis antud hoones on nii terastorustikuna ettenähtud. Marginaalse mõju moodustavad liiniseadmed ja isolatsioon.



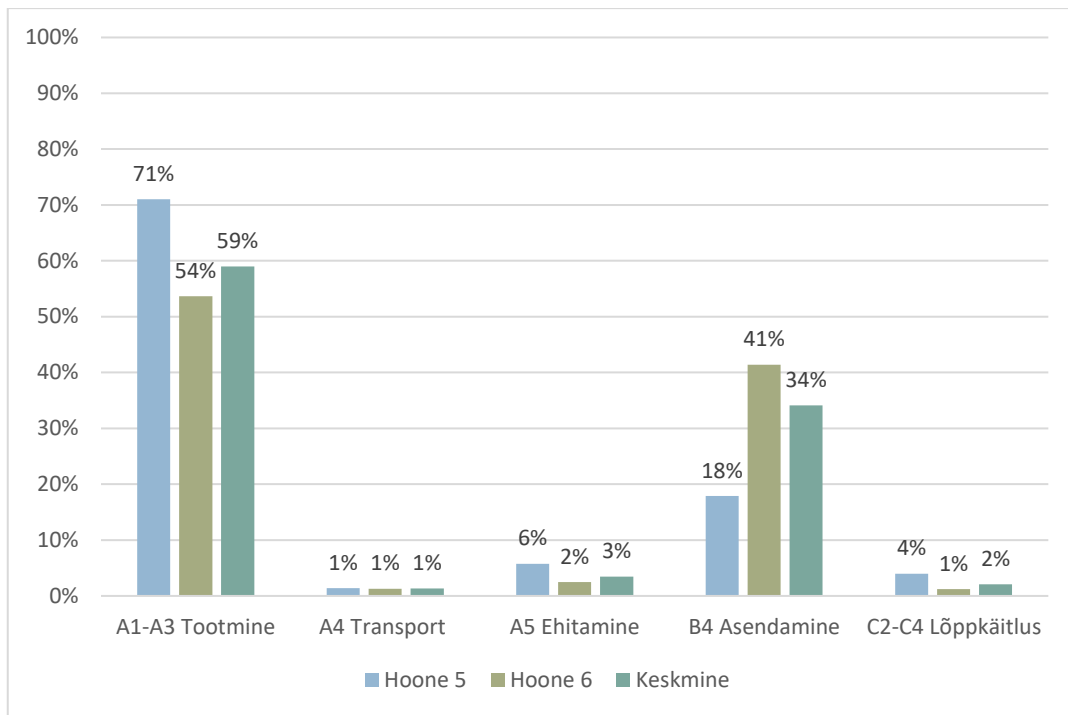
Joonis 3.18 Hoone 6 jahutussüsteemi osade süsinikuheide, kgCO2e/m2

Hoone 5 ja Hoone 6 süsinikjalajälje arvutustulemused on leitavad Tabel 3.5. Hoone 5 tehnosüsteemide süsinikjalajälg on 48,0 kg CO₂e/m² ja Hoone 6 süsinikjalajälg on 107,2 kgCO₂e/m². Kontorihoonete süsinikjalajälg on rohkem kui kahekordse erinevusega. Peamiseks põhjuseks on Hoone 5 väiksem süsinikjalajälg, mis tuleneb hoones kasutatavast TABS kütte- ja jahutussüsteemist, mille jahutussüsteemi osas ei ole ühtegi fan-coil tüüpi puhurkonvektorit. Kogu maja jahutatakse maha kiiruslikult ning torustikuga, mis on konstruktsioonis ning mille kasutuseaks arvestatud 50 aastat. Hoone 6 puhul on jahutussüsteemis ligi 50 fan-coil tüüpi puhurkonvektorit, mille kasutuseaks on arvestatud 20 aastat ning mis suurendab märkimisväärselt kogu süsinikuheidet. Kahe hoone keskmine süsinikjalajälg on 77,6 kgCO₂e/m².

Tabel 3.5 Hoone 5 ja 6 tehnosüsteemide süsinikjalajälje tulemused

Süsteem	GWP					
	Hoone 5		Hoone 6		Keskmine	
	t CO ₂ e	kg CO ₂ e/m ²	tCO ₂ e	kg CO ₂ e/m ²	tCO ₂ e	kg CO ₂ e/m ²
Ventilatsioon	111,5	26,5	108,8	64,9	110,1	45,7
Küte	24,6	5,8	6,3	3,7	9,3	3,3
Jahutus			42,3	25,2	27,3	14,1
Vesi ja kanal	7,3	1,7	5,3	3,2	6,3	2,4
Tugevvool/Nõrkvool	58,5	13,9	17,0	10,1	37,8	12,0
Kokku	201,9	48,0	179,6	107,2	190,8	77,6

Tabel 3.6 ja Joonis 3.19 on toodud välja Hoone 5 ja Hoone 6 ja nende keskmised olulusringi etappide osakaalud tehnosüsteemide süsinikjalajäljes. Sarnaselt eelnevatele kirjeldatud hoonetele moodustab kõige suurema osakaalu tootmisetapp A1-A3, mis moodustab kuni kaks kolmandikku kogu süsinikjalajäljest. Selle järgneb asendamisetapp B4, mis moodustab keskmiselt 34% kogu süsinikjalajäljest. A4, A5 ja C2-C4 etapid moodustavad keskmiselt kokku ligikaudu 6 % kogu süsinikjalajäljest.

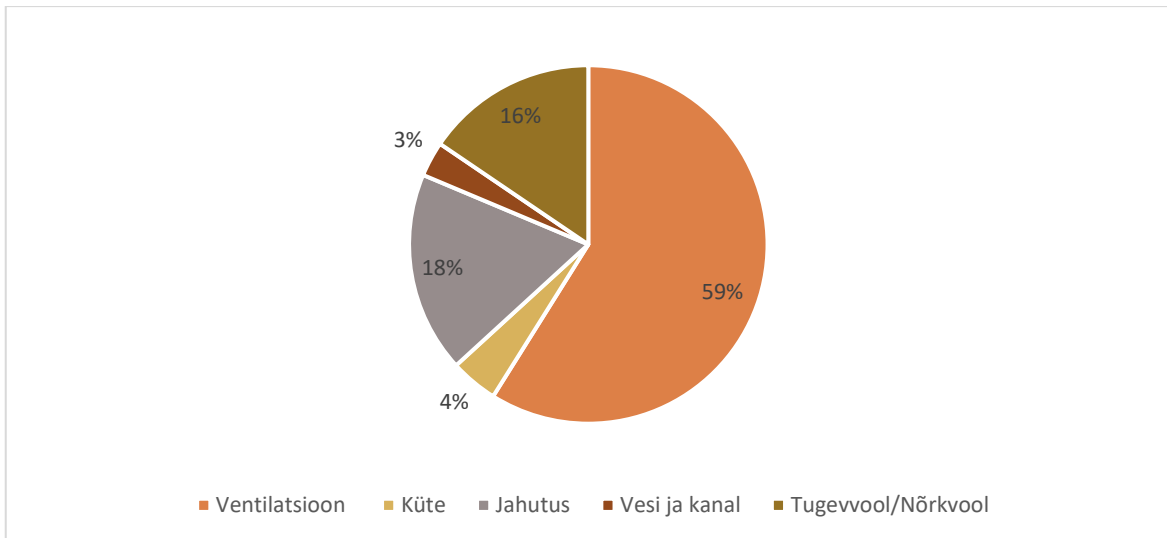


Joonis 3.19 Kontorihoonete olelusringide osakaal süsinikujalajäljes

Tabel 3.6 Kontorihoonete olelusringide osakaal süsinikujalajäljest

Olelusringi etapp	GWP					
	Hoone 5		Hoone 6		Keskmine	
	kg CO2e/m2	% oskaal	kg CO2e/m2	% oskaal	kg CO2e/m2	% oskaal
A1-A3 Tootmine	34,09	71%	57,49	54%	45,79	59%
A4 Transport	0,68	1%	1,35	1%	1,02	1%
A5 Ehitamine	2,75	6%	2,64	2%	2,70	3%
B4 Asendamine	8,59	18%	44,39	41%	26,49	34%
C2-C4 Lõppkäitlus	1,89	4%	1,31	1%	1,60	2%
Kokku	48,00		107,18		77,59	

Joonis 3.20 on protsentuaalselt näidatud Hoone 5 ja 6 keskmised tehnosüsteemide osakaalud kogu tehnosüsteemide süsinikujalajäljest. Kõige suurema osa süsinikujalajäljest moodustab ventilatsioonisüsteem, mis moodustab ligi 60% kogu jalajäljest. Ventilatsioonisüsteemide puhul on otsustav seadmete suur kaal, mis kirjeldatud koolides küündib kuni 5 tonni juurde ning nende kasutusiga. Ligi 20% süsinikujalajäljest moodustab jahutussüsteem. Järgneb tugev- ja nõrkvoolusüsteemid (16%) ning kõige väiksema osakaalu moodustab vee ja kanalisatsioonisüsteemid (3%).

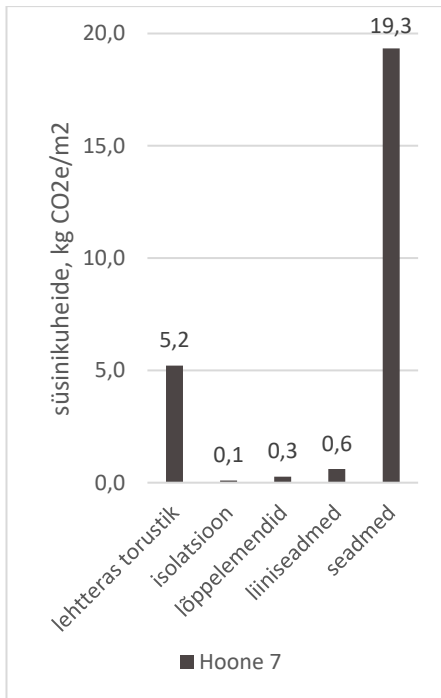


Joonis 3.20 Kontorihoonete tehnosüsteemide osakaalud süsinikujalajäljes

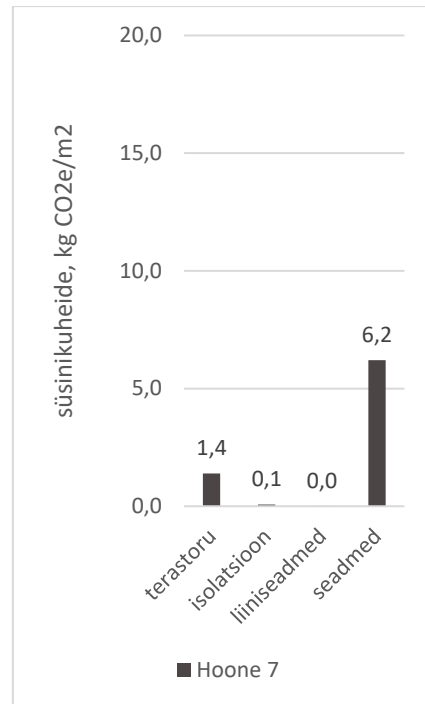
3.1.4 Kaubandushoone tulemused

Hoone 7 ventilatsioonisüsteemide süsinikuheide süsteemi põhiosade kaupa on näha Joonis 3.21, millelt saab välja lugeda, et sarnaselt teiste kasutusotstarvetega hoonetel, moodustavad seadmed 76% süsteemi süsinikuheite mõjust. Torustiku osakaal süsteemi heitest on ca 20%. Isolatsiooni, lõppelementide ja liiniseadmete osakaal jääb 5% juurde.

Joonis 3.22 on leitav Hoone 7 kütte- ja jahutussüsteemi süsinikuheide põhiosade kaupa. Seadmed (fan-coil konvektorid, elektrilised küttekehad) moodustavad ca 80% kogu süsteemi heitest. Terastorustiku osakaal on kütte- ja jahutussüsteemil natuke alla 20%. Kõige väiksema osakaaluga on liiniseadmed ja isolatsioon.



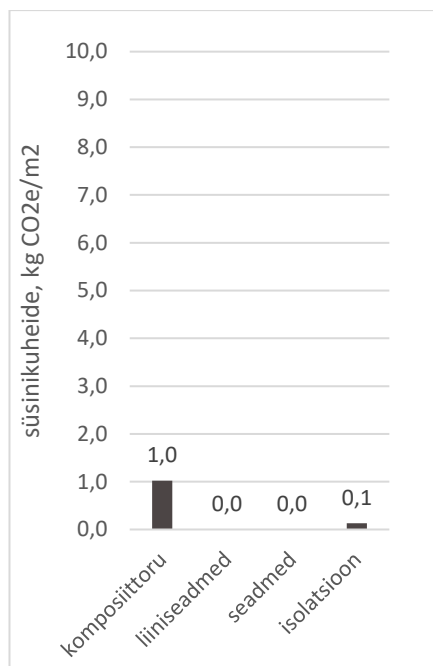
Joonis 3.21 Hoone 7 ventilatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO₂e/m²



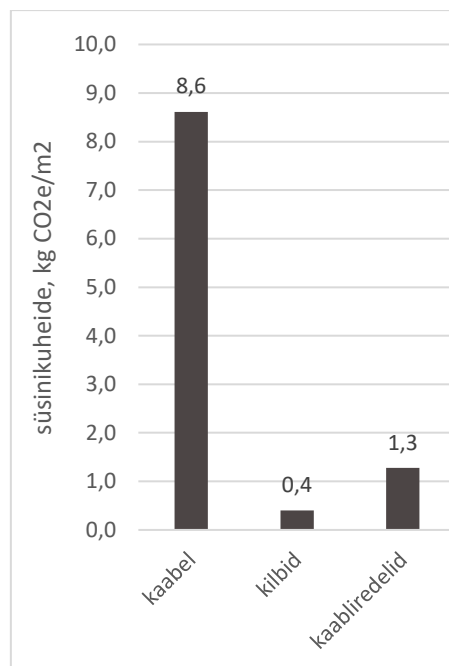
Joonis 3.22 Hoone 7 kütte- ja jahutussüsteemi osade süsinikuheide, kgCO₂e/m²

Hoone 7 vee- ja kanalisatsioonisüsteemi summaarne tehnosüsteemide süsinikujalajalg on 2,72 tCO₂. Joonis 3.23 Joonis 3.3 on näha, et selle osasüsteemi süsinikujalajälje moodustab 90% torustikud. Ülejäänud süsinikujalajalg mõju on isolatsioonil ja pumpadel, mis kuni 10% süsteemi süsinikuheitest.

Tugev- ja nõrkvoolu süsiniku heitmed on Hoones 7 on 24,07 tCO_e (Tabel 3.7). Joonis 3.24 kohaselt on süsteemides on suurim osakaal kaabeldusel, mis moodustab 84% kogu süsteemi jalajäljest. Jaotuskilpide ja kaabliredelite osakaalud jäävad 20-25% juurde.



Joonis 3.23 Hoone 7 vee- ja kanalisatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO2e/m2



Joonis 3.24 Hoone 7 tugev- ja nõrkvoolusüsteemi osade süsinikuheide, kgCO2/m2

Hoone 7 kogu tehnosüsteemide süsinikujalajälg on süsteemide lõikes on leitav Tabel 3.7. Tehnosüsteemidest on suurima jalajäljega ventilatsioonisüsteem. Selle järgneb tugev- ja nõrkvoolusüsteemid. Kõige väiksemate mõjudega on kütte, jahutus ja vesikanalisatsiooni süsteemid.

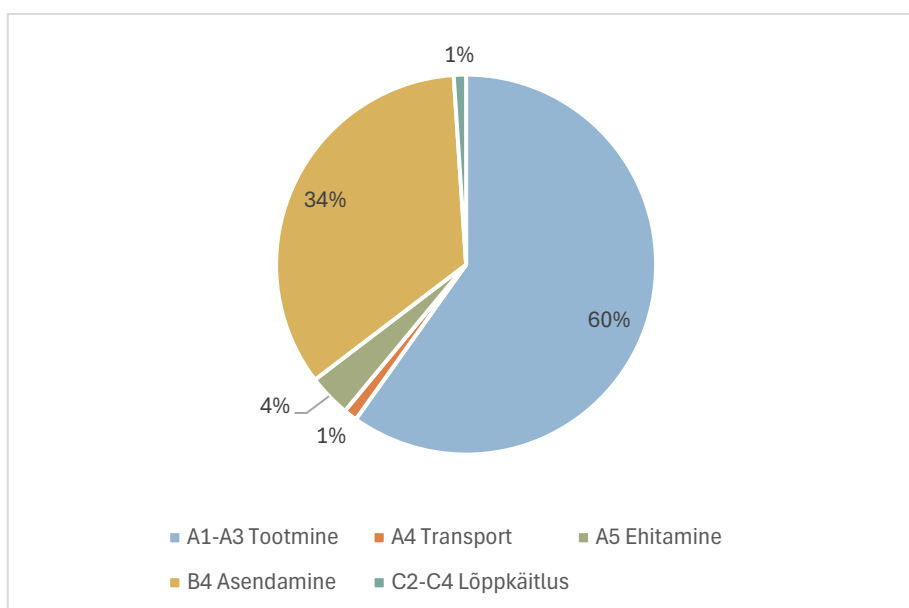
Tabel 3.7 Hoone 7 tehnosüsteemide süsinikujalajälje tulemused

Süsteem	GWP	
	Hoone 7	
	t CO2e	kg CO2e/m2
Ventilatsioon	59,65	25,53
Küte	9,00	3,85
Jahutus	9,00	3,85
Vesi ja kanal	2,72	1,17
Tugevvool/Nõrkvool	24,07	10,30
Kokku	104,4	44,7

Tabel 3.8 ja Joonis 3.25 on näidatud Hoone 7 olusringi etappide osakaalu süsinikujalajäljes. Sarnaselt eelnevatele kirjeldatud hoonetel moodustab kõige suurema osakaalu tootmisetapp A1-A3 moodustades 60% kogu süsinikujalajäljest. Selle järgneb asendamisetapp B4, mis moodustab 34% kogu süsinikujalajäljest. A4, A5 ja C2-C4 etapid moodustavad keskmiselt kokku ligikaudu 6 % kogu süsinikujalajäljest.

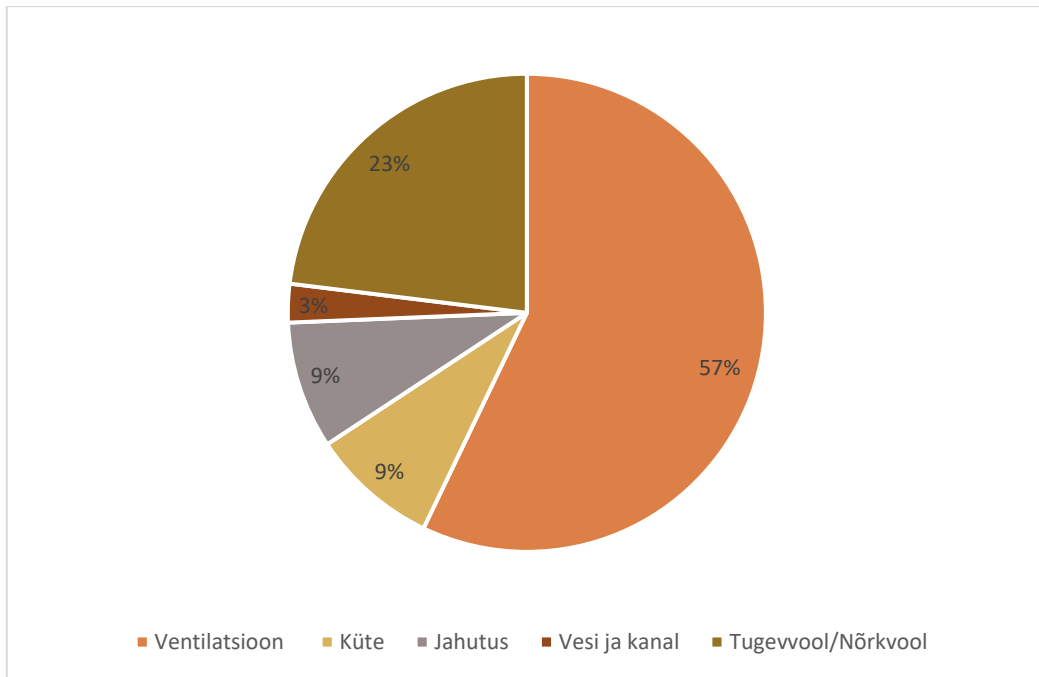
Tabel 3.8 Kaubandushoone olelusringide osakaal süsinikujalajäljest

Olelusringi etapp	GWP	
	Hoone 7	
	kg CO2e/m2	% oskaal
A1-A3 Tootmine	26,76	60%
A4 Transport	0,52	1%
A5 Ehitamine	1,62	4%
B4 Asendamine	15,34	34%
C2-C4 Lõppkäitus	0,47	1%
Kokku	44,70	



Joonis 3.25 Kaubandushoone olelusringi etappide osakaalud tehnosüsteemide süsinikujalajäljes

Joonis 3.26 on näidatud protsentuaalselt Hoone 7 tehnosüsteemide osakaalu kogu tehnosüsteemide süsinikujalajäljest. Kõige suurema osa süsinikujalajäljest moodustab ventilatsioonisüsteem, mis moodustab ligi 60% kogu jalajäljest. Üle 20% moodustub kogu süsinikjalajäljest tugev- ja nõrkvoolu süsteemid. Järgnevad kütte- ja jahutussüsteem, mis moodustab 18% kogu jalajäljest. Kõige väiksem osakaal on vee ja kanalisatsioonisüsteemidel, mis moodustab 3% kogu süsinikujalajäljest.

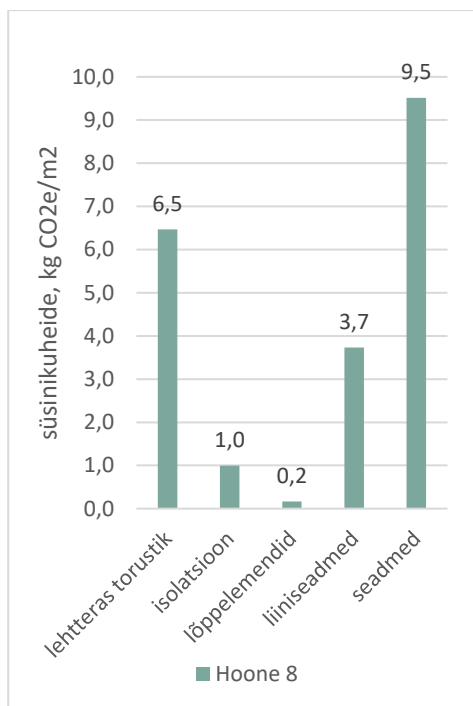


Joonis 3.26 Kaubandushoone tehnosüsteemide osakaalud süsinikujalajäljes

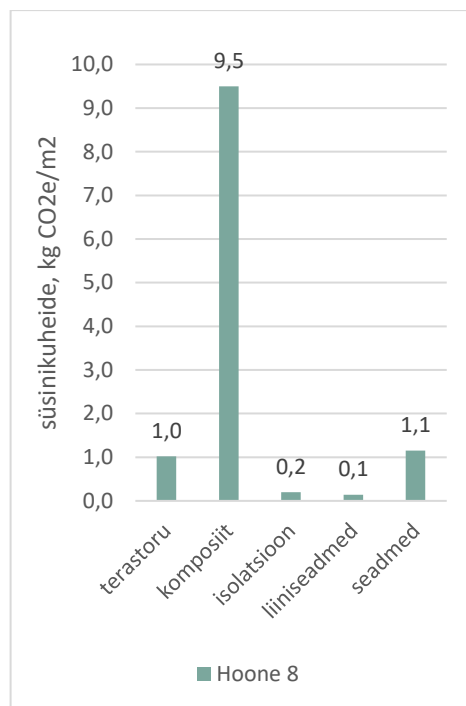
3.1.5 Majutushoone tulemused

Hoone 8 süsinikuheite jaotus on leitav Joonis 3.27. Põhikomponentidest on seadmetel ja torustikul suurim mõju süsteemi heitele. Seadmed moodustavad ca 46% ja torustik 31% süsinikujalajäljest. Isolatsiooni, lõppelementide ja liiniseadmete osakaal jääb 25% lähedale.

Joonis 3.28 on leitav Hoone 8 kütte- ja jahutussüsteemi süsinikuheide põhiosade kaupa. 80% kogu süsteemi heitest moodustab komposiitkorustik. Seadmete (radiaatorid, pumbad) moodustavad 10% süsinikuheitest. Terastorustik, liiniseadmed ning isolatsiooni osakaal on jääb 10% juurde.



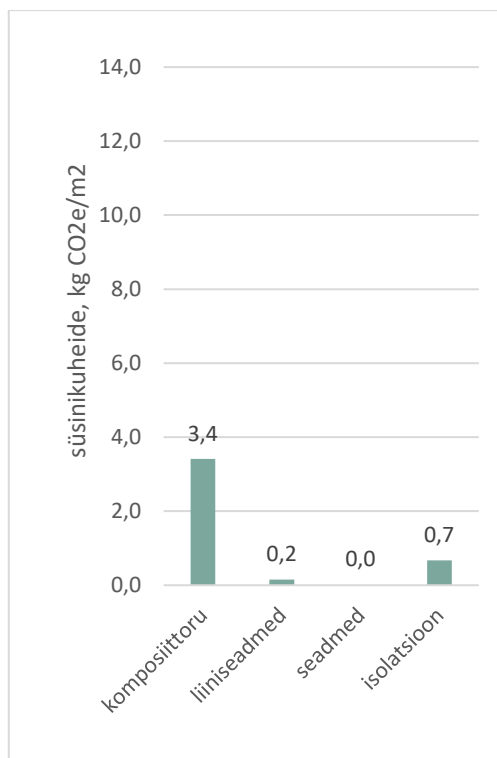
Joonis 3.27 Hoone 8 ventilatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO2e/m2



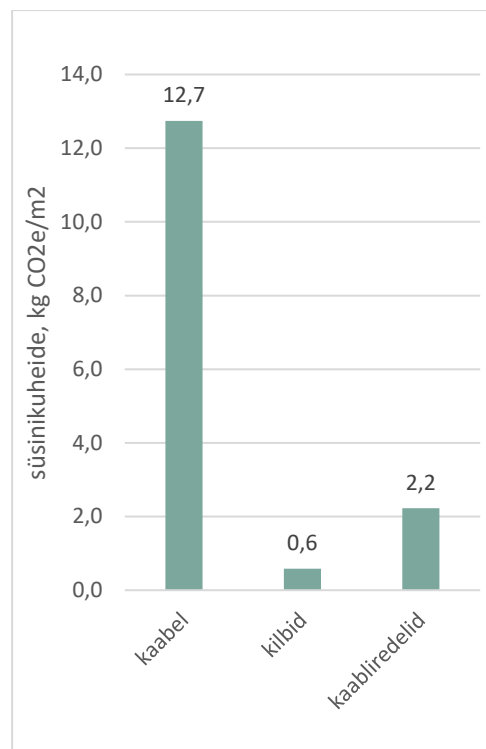
Joonis 3.28 Hoone 8 küttesüsteemi osade süsinikuheide, kgCO2e/m2

Hoone 8 vee- ja kanalisatsioonisüsteemi summaarne tehnosüsteemide süsinikujalajalg on 16,93 tCO₂. Joonis 3.29 on näha, et selle osasüsteemi süsinikujalajälje moodustab 80% torustikud. Ülejäänud süsinikujalajalg mõju on isolatsioonil ja liiniseadmetel, mis on kuni 20% süsteemi süsinikuheitest.

Hoonetes 8 on tugev- ja nõrkvoolu süsiniku heitmed summaarselt 61,91 tCO_e (Tabel 3.9). Joonis 3.30 kohaselt on süsteemides suurim osakaal kaabeldusel, mis moodustab 82% kogu süsteemi jalajäljest. Jaotuskilpide ja kaabliredelite osakaalud jäävad 20% juurde.



Joonis 3.29 Hoone 8 vee- ja kanalisatsioonisüsteemi osade süsinikuheide, kgCO2e/m2



Joonis 3.30 Hoone 8 tugev- ja nõrkvoolusüsteemi osade süsinikuheide, kgCO2/m2

Hoone 8 süsinikjalajälje arvutustulemused on leitavad Tabel 3.9. Hoone 8 tehnosüsteemide süsinikjalajälg on 52,8 kg CO2e/m². Suurima panuse annab ventilatsioonisüsteem, millele järgnevad tugev- ja nõrkvoolusüsteemid ning küttesüsteem. Kõige väiksema mõjuga on vee- ja kanalisatsioonisüsteem.

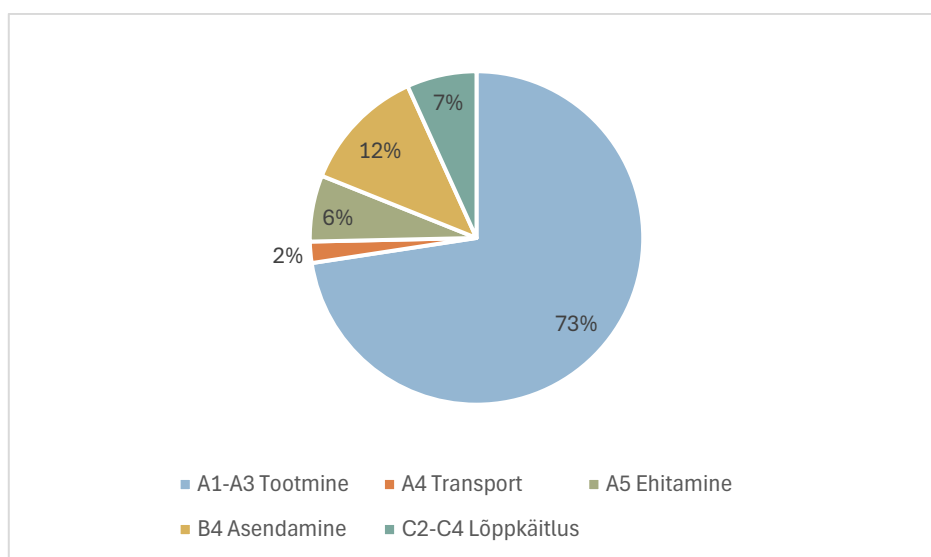
Tabel 3.9 Hoone 8 tehnosüsteemide süsinikjalajälje tulemused

Süsteem	GWP	
	Hoone 8	
	t CO2e	kg CO2e/m ²
Ventilatsioon	83,12	20,91
Küte	47,82	12,03
Vesi ja kanal	16,93	4,26
Tugevvool/Nõrkvool	61,91	15,57
Kokku	209,8	52,8

Tabel 3.10 ja Joonis 3.31 on toodud välja Hoone 8 olulusringi etappide osakaalu süsinikjalajäljes. Sarnaselt eelnevatele kirjeldatud hoonetel moodustab kõige suurema osakaalu tootmisetapp A1-A3 moodustades 73% kogu süsinikjalajäljest. Sellele järgneb asendamisetapp B4, mis moodustab 12% kogu süsinikjalajäljest. A4, A5 ja C2-C4 etapid moodustavad keskmiselt kokku ligikaudu 15% kogu süsinikjalajäljest.

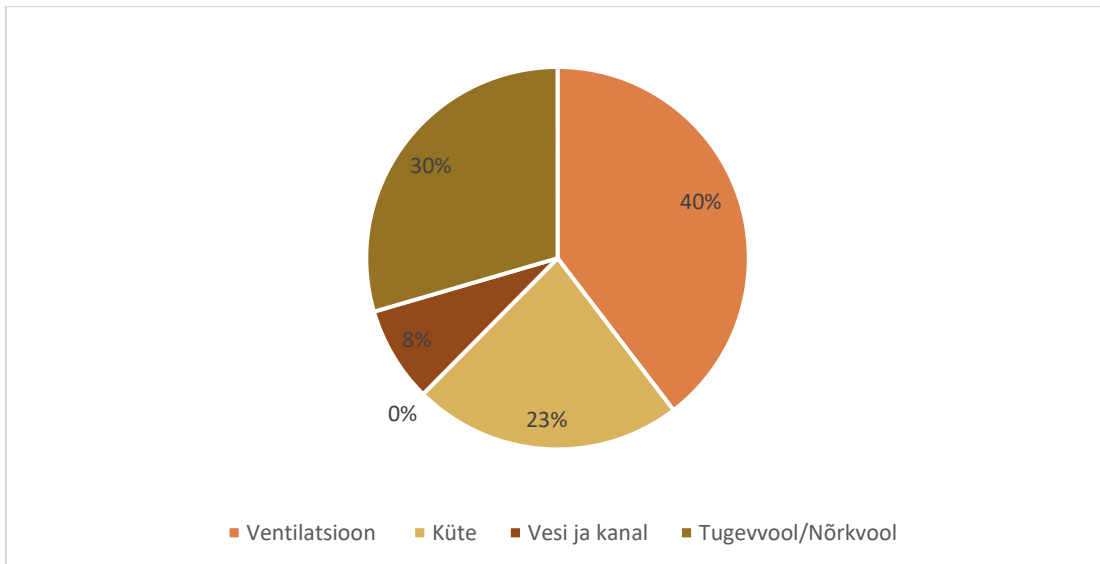
Tabel 3.10 Majutushoone olelusringide osakaal süsinikujalajäljest

Olelusringi etapp	GWP	
	Hoone 8	
	kg CO2e/m2	% osakaal
A1-A3 Tootmine	38,31	73%
A4 Transport	1,09	2%
A5 Ehitamine	3,39	6%
B4 Asendamine	6,41	12%
C2-C4 Lõppkäitus	3,58	7%
Kokku	52,77	



Joonis 3.31 Majutushoone olelusringi etappide osakaalud tehnosüsteemide süsinikujalajäljes

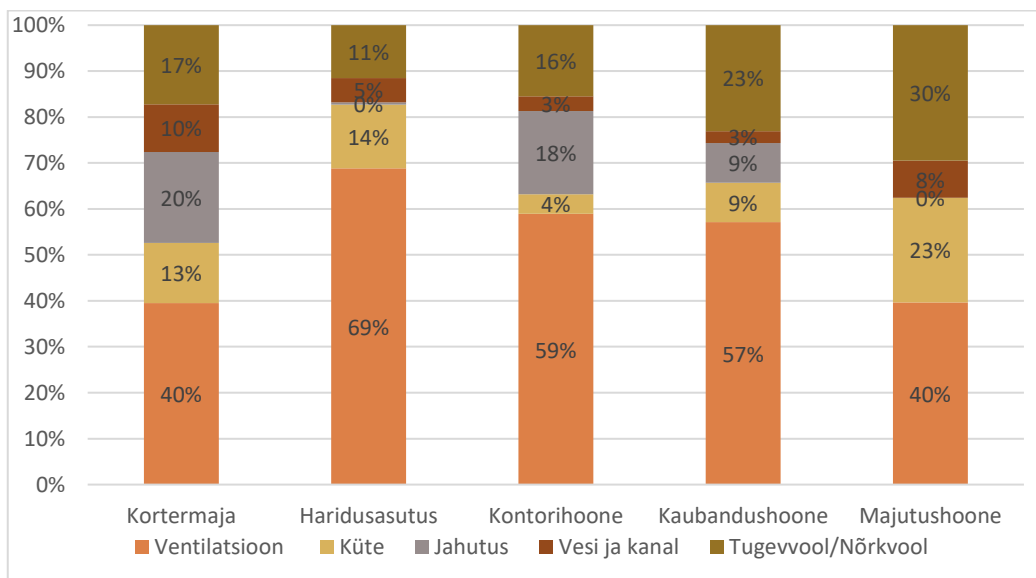
Joonis 3.32 on näidatud protsentuaalselt Hoone 8 tehnosüsteemide osakaalu kogu tehnosüsteemide süsinikujalajäljest. Kõige suurema osa süsinikujalajäljest moodustab ventilatsioonisüsteem, mis moodustab ligi 40% kogu jalajäljest. 30% moodustub kogu süsinikjalajäljest tugev- ja nõrkvoolu süsteemid. Järgneb küttesüsteem, mis moodustab 23% kogu jalajäljest. Kõige väiksem osakaal on vee ja kanalisatsioonisüsteemidel, mis moodustab 8% kogu jalajäljest.



Joonis 3.32 Majutushoone tehnosüsteemide osakaalud süsinikujalajäljes

3.1.6 Tehnosüsteemide süsinikujalajälje kokkuvõte

Olenemata hoone kasutuotstarbest on kõige suurem süsinikujalajälje mõju ventilatsioonisüsteemil. Nagu Joonis 3.33 on kujutatud, siis ventilatsiooni osakaal moodustab 40-70% tehnosüsteemide süsinikujalajäljest. Hoonesse kavandatud jahutussüsteem lisab sellele olulise osa, ulatudes kuni 20% tehnosüsteemide kogujalajäljest. Lisaks avaldavad tugeva- ja nõrkvoolusüsteemid märkimisväärset mõju, moodustades kuni 30% tehnosüsteemide süsinikujalajäljest. Vee- ja kanalisatsiooni süsteemide mõju on olenemata hoone kasutusotstarbest kõige marginaalsema osaga, kuni 10% süsinikujalajäljest.



Joonis 3.33 Tehnosüsteemide osakaal süsinikujalajäljes hoonete kasutusotstarvete järgi

3.2 GWP_{fossiilne} ja GWP_{täielik} mõju tulemustele

Eesti metoodikas on kirjeldatud, et A1-A3 etapis peab materjali süsinikjalajälje arvutustes kasutama andmebaasistest ja keskkonnadeklaratsioonidest GWP_{fossiil} väärtuseid. Kõik magistritöös eeltoodud arvutuste tulemused on tehtud GWP_{täielik} väärtuste põhjal, sest see väärtus näitab tootmisprotsessidest tekkiva heite mõju terviklikumalt, sest võtab arvesse GWP_{biogeense}, GWP_{fossiilse} ja GWP_{luluc} mõju.

Selles alapeatükis toob autor välja Hoone 1 tulemuste põhjal erinevused, kui kasutada GWP_{täielik} asemel GWP_{fossiilne} väärtuseid arvutus A1-A3 etapis.

Tabelis 3.11 on näidatud süsinikjalajälje tulemused kasutades nii GWP_{täielik} kui GWP_{fossiilne}. Tulemuste erinevus on 1,11 kg CO₂e köetava ruutmeetri kohta. GWP_{fossiilne} näitab ca 2% suuremat süsinikjalajälje tulemust võrreldes GWP_{täieliku} vaikeväärtuse kasutamisega. Tabelis 3.12 on näha, et kasutades GWP_{fossiilset} arvutustes kasvab 2% ka A1-A3 tootmisetapi osakaal. Seda sellepärast, et GWP_{fossiilse} väärtust kasutades ei arvestata materjalide käitlemis ja ringlusesse võtu mõju.

Tabel 3.11 Hoone 1 süsinikjalajälje tulemuste võrdlus kasutades GWP_{fossiilne} ja GWP_{täielik}

	GWP fossiilne		GWP täielik	
	t CO ₂ e	kg CO ₂ e/m ²	t CO ₂ e	kg CO ₂ e/m ²
Ventilatsioon	254,34	15,54	241,31	14,74
Küte	84,18	5,14	87,74	5,36
Jahutus	251,16	15,34	247,15	15,10
Vesi ja kanal	73,70	4,50	58,26	3,56
Tugevvool/Nõrkvool	87,89	5,37	98,69	6,03
Kokku	751,27	45,89	733,15	44,79

Erinevus	t Co ₂ e	kg CO ₂ e/m ²	%
		18,12	1,11

Tabel 3.12 Hoone 1 olelusingide osakaalu võrdlus kasutades GWP_{fossiilne} ja GWP_{täielik}

Olelusingi etapp	Hoone 1 GWP fossiilne		Hoone 1 GWP total	
	kg CO ₂ e/m ²	% oskaal	kg CO ₂ e/m ²	% oskaal
A1-A3 Tootmine	29,35	64%	29,47	66%
A4 Transport	0,79	2%	0,75	2%
A5 Ehitamine	2,51	6%	2,52	6%
B4 Asendamine	9,16	20%	8,53	19%
C2-C4 Lõppkäitus	3,77	8%	3,52	8%
Kokku	45,58		44,79	

3.3 Tehnosüsteemide kasutusea mõju süsinikujalajäljele

Peatükis 2 METOODIKA on kirjeldatud, et vaikumisi on arvutustes kasutatud tehnosüsteemide kasutuseaks 50 aastat välja arvatud kõik seadmed ja pumbad, mille kasutuseaks on arvestatud 20 aastat. Käesolevas peatükis esitletakse süsinikujalajälje arvutustulemusi, kus tehnosüsteemide komponentide elueaks on arvestatud 20 ja 30 aastat.

Tabel 3.12 on toodud süsinikujalajälje arvutustulemused, kus võrreldakse eluea pikkuse mõju 20 ja 30 aasta lõikes. Tulemused näitavad, et eluea vähenemisel 50 aastalt 20 aastale võib tehnosüsteemide süsinikujalajalg kahekordistuda ja mõnel juhul isegi kolmekordistuda. Suurim süsinikujalajälje kasv ilmnes haridusasutuste hoonetel, kus süsinikuheide kasvas 42,56 kg CO₂e/m²-lt 156,91 kg CO₂e/m²-le. Kõige väiksem muutus registreeriti kaubandushoonete puhul, kus süsinikuheide suurenes vaid 28 kg CO₂e/m² võrra.

Tehnosüsteemide kasutusea vähenemisel suureneb oluliselt B4 asendamiseetapi mõju kogu süsinikujalajäljele. 50-aastase kasutusea puhul on B4 osa kogu jalajäljest ca kolmandik. Tehnosüsteemide eluea vähenemisel 30 aasta peale on B4 etapi mõju 30-45% kogu süsinikujalajäljest. Veel enam tehnosüsteemide kasutusea vähenemisel 20 aastale on asendamiseetapi mõju keskmiselt 60% kogu süsinikujalajäljest. Selliste arvutuste tulemusel saab järeldada, et B4 etapp on suure mõjuga tehnosüsteemide jalajäljele.

Tabel 3.12 Erinevate kasutusotstarvete hoonete tehnosüsteemide kasutusea mõju süsinikujalajäljele

*30 ja 50 aastase kasutusea arvestustest on seadmete ja pumpade kasutusega arvestatud 20 aastat						
Korterimaja						
Olelusringi etapp	GWP					
	kasutusega 20 aastat		kasutusega 30 aastat*		kasutusega 50 aastat*	
	kg CO ₂ e/m ²	% osakaal	kg CO ₂ e/m ²	% osakaal	kg CO ₂ e/m ²	% osakaal
A1-A3 Tootmine	26,29	33%	26,29	46%	26,29	69%
A4 Transport	0,66	1%	0,66	1%	0,66	2%
A5 Ehitamine	2,23	3%	2,23	4%	2,23	6%
B4 Asendamine	48,21	60%	24,80	44%	6,08	16%
C2-C4 Lõppkäitlus	2,90	4%	2,90	5%	2,91	8%
Kokku	80,29		56,88		38,16	
Haridusasutus						

Olelusringi etapp	GWP					
	kasutusiga 20 aastat		kasutusiga 30 aastat*		kasutusiga 50 aastat*	
	kg CO2e/m2	% osakaal	kg CO2e/m2	% osakaal	kg CO2e/m2	% osakaal
A1-A3 Tootmine	28,59	18%	28,59	46%	25,48	60%
A4 Transport	1,51	1%	0,63	1%	0,59	1%
A5 Ehitamine	5,20	3%	1,73	3%	1,46	3%
B4 Asendamine	115,28	73%	29,34	48%	13,67	32%
C2-C4 Lõppkäitlus	6,33	4%	1,36	2%	1,36	3%
Kokku	156,91		61,66		42,56	
Kontorihoone						
Olelusringi etapp	GWP					
	kasutusiga 20 aastat		kasutusiga 30 aastat*		kasutusiga 50 aastat*	
	kg CO2e/m2	% osakaal	kg CO2e/m2	% osakaal	kg CO2e/m2	% osakaal
A1-A3 Tootmine	45,79	40%	45,79	46%	45,79	59%
A4 Transport	1,02	1%	1,02	1%	1,02	1%
A5 Ehitamine	2,70	2%	2,70	3%	2,70	3%
B4 Asendamine	62,61	55%	48,78	49%	26,49	34%
C2-C4 Lõppkäitlus	1,60	1%	1,60	2%	1,60	2%
Kokku	113,71		99,88		77,59	
Kaubandushoone						
Olelusringi etapp	GWP					
	kasutusiga 20 aastat		kasutusiga 30 aastat*		kasutusiga 50 aastat*	
	kg CO2e/m2	% osakaal	kg CO2e/m2	% osakaal	kg CO2e/m2	% osakaal
A1-A3 Tootmine	26,76	36%	26,76	47%	26,76	60%
A4 Transport	0,52	1%	0,52	1%	0,52	1%
A5 Ehitamine	1,62	2%	1,62	3%	1,62	4%
B4 Asendamine	44,04	60%	28,10	49%	15,34	34%
C2-C4 Lõppkäitlus	0,47	1%	0,47	1%	0,47	1%
Kokku	73,40		57,46		44,70	
Majutushoone						
Olelusringi etapp	GWP					
	kasutusiga 20 aastat		kasutusiga 30 aastat*		kasutusiga 50 aastat*	
	kg CO2e/m2	% osakaal	kg CO2e/m2	% osakaal	kg CO2e/m2	% osakaal
A1-A3 Tootmine	40,86	33%	40,86	48%	38,31	73%
A4 Transport	1,14	1%	1,14	1%	1,09	2%
A5 Ehitamine	3,57	3%	3,57	4%	3,39	6%
B4 Asendamine	73,74	60%	36,33	43%	6,41	12%
C2-C4 Lõppkäitlus	3,58	3%	3,58	4%	3,58	7%
Kokku	122,90		85,49		52,77	
*30 ja 50 aastase kasutusea arvestustest on seadmete ja pumapde kasutusiga 20 aastat						

3.4 Arvutustulemuste võrdlus Eesti süsinikujalajälje metoodika tehnosüsteemide vaikeväärtustega

Selles tulemuste alapeatükis võrreldakse arvutuste tulemusi Eesti meetodis esitatud vaikeväärtustega. Eesti meetodi tehnosüsteemide vaikeväärtused on leitavad EHEA andmebaasist ning need on esitletud Tabel 3.13. EHEA tehnosüsteemide vaikeväärtused põhinevad Soome riikliku andmebaasi väärtustele.

Tabel 3.13 Eesti süsinikujalajälje metoodika tehnosüsteemide vaikeväärtused [40]

Hoonete tehnoseadmed (A1-A3)	kgCO ₂ e/köetav-m ²	Allikas
Majutusasutus / hotell	65,83	CO2data.fi
Kortermaja	35,00	CO2data.fi
Haridusasutus	50,83	CO2data.fi
Büroohoone	55,00	CO2data.fi
Muu kaubandushoone	39,17	CO2data.fi
Kaubanduskeskus	58,33	CO2data.fi

Eesti metoodikas on kirjeldatud tehnosüsteemide süsinikujalajälje arvutamiseks vaid A1-A3 tootmisetapp. Kirjeldatud ei ole kas ja kuidas arvestatakse B4 asendamisetappi tehnosüsteemide osas.

Võrdluseks on Tabel 3.14 koondatud uurimistöö tehnosüsteemide süsinikuheidete tulemused koos Eesti andmebaasis olevate vaikeväärtustega. Tabelisse on lisatud ka Soome andmebaasis (co2data.fi) olevad tehnosüsteemide ruutmeetripõhised vaikeväärtused, sest Eesti vaikeväärtused põhinevad Soome andmetel.

Magistritöö tehnosüsteemide süsinikujalajälje arvutustes on hinnatud kõiki olulusringi etappe, mis on ette nähtud Eesti süsinikujalajälje metoodikas. Arvutustulemused tehnosüsteemide 50 aastase kasutuseaga ületavad osaliselt Eesti metoodika vaikeväärtuseid. Arvutustes, kus on tehnosüsteemide kasutuseaks arvestatud 20 või 30 ületab ruutmeetrile vastav tegur Eesti vaikeväärtust iga kasutusotstarbega hoone puhul. Võrreldes Eesti ja Soome vaikeväärtuseid, on Soome A1-A3 vaikeväärtused konservatiivsemad. Soome vaikeväärtused esitatud nii A1-A3 tootmisetapile kui ka B4 asendamisetapile, mis võimaldab täpsemat ja terviklikumat süsinikujalajälje hindamist. Lisaks on Soome andmebaasis eraldi välja toodud ka vaikeväärtused iga süsteemi kohta eraldi.

Tabel 3.14 Eesti süsinikujalajälje meetodika vaikeväärtuse võrdlus uurimistöö arvutustulemustega

Andmeallikas:	EHEA	Lõputöö arvutustulemused			co2data.fi	
Ühik:	kgCO ₂ e/ köetav- m ²	kgCO ₂ e/köet av-m ²	kgCO ₂ e/köet av-m ²	kgCO ₂ e/köet av-m ²	kgCO ₂ e/ m ²	kgCO ₂ e/ m ²
Kasutusotstarve	A1-A3	kasutusiga 20a	kasutusiga 30a	kasutusiga 50a	A1-A3	B4
Majutus	65,83	122,90	85,49	52,77	120	115
Korter	35	80,29	56,88	38,16	54	12
Haridusasutus	50,83	156,91	61,66	42,56	105	112
Kontorihoone	55	113,71	99,88	77,59	104	105
Muu kaubandushoone	39,17	122,90	85,49	52,77	-	-
Kaubanduskeskus	58,33	ei ole magistritöös käsitletud			125	141

4 ARUTELU JA ETTEPANEKUD

Magistritöö alustades oli autoril soov arvutusi automatiseerida maksimaalselt kasutades ehitusinfomudelit. Tehnosüsteemide osamudeleid analüüsid jõudis autor järeldusele, et seda on võrreldes arhitektuursete ja konstruktiivsete mudelitega on keeruline rakendada, sest eriosade infomudelites ei väljastata andmeid kasutavate materjalide kaalu ja/või ruumala kohta, mis on süsinikujalajälje arvutuste aluseks. Seetõttu leiab autor, et tulevikus võib kaaluda eriosade ehitusinfomodelite nõuete täiendamist, lisades vajalikud mahud kilogrammide või kuupmeetrite vormis. See võimaldaks oluliselt suurendada arvutuste tõhusust.

Magistritöö arvutuste ja analüüsi käigus selgus, et tehnosüsteemide süsinikujalajälje tulemust mõjutab kõige rohkem seadmed nagu näiteks soojustagastusega ventilatsiooniseade, jahutussüsteemi siseosaseadmed. Oluliselt mõjutab süsinikujalajälge seadmete kasutusiga ja nende suur mass. Lisaks on märkimisväärne mõju torustikul ja kaabeldusel, mis on oma mahult üks suurimaid osasid igasuguses tehnosüsteemis.

Lõputöö peatükis 3.3 on kirjeldatud tehnosüsteemide kasutusea ja asendamisetapi mõju tehnosüsteemide süsinikujalajäljele. Analüüsi tulemused näitavad, et tehnosüsteemi osade kasutusea lühenemine suurendab oluliselt olelusringi asendamisetapi B4 mõju kogu süsteemi süsinikujalajäljele, mõnel juhul isegi mitmekordistades arvutustulemust. Eesti süsinikujalajälje arvutusmetoodikas ei ole kirjeldatud, kuidas tehnosüsteemide asendusetapi tuleb arvesse võtta. Sellest tulenevalt leiab autor, et Eesti metoodikas on vaja täpsustada, tehnosüsteemide asendusetapi arvutamise põhimõtteid, et tagada süsinikujalajälje arvutuste täpsus.

Magistritöö metoodika peatükis on kirjeldatud, et arvutustes ei ole arvestatud välistrasside ega sooja/külmatootmiseseadmetega, sest hetkel Eesti metoodika kohaselt on välisrajatised arvutustest välja jäetud. Autori hinnangul võiks tulevikus uurida ja arvutada hoone krundisiseste välistrasside ja -osade mõju tehnosüsteemide süsinikujalajäljeosale.

Eesti süsinikujalajälje metoodika kohaselt arvutatakse B5 ehitusetapi mõju hoone netopindala kohta, samuti C1 hoone lammutusetapp arvutatakse arvestades hoone netopindala. Seepärast on autor arvamusel, et arvutuskäigu ühtlustamiseks võiks kaaluda ka tehnosüsteemide vaikeväärtus siduda hoone netopindalaga. Lisaks viitab praegune ühik, et tehnosüsteeme ei esine mittekoetatavatel pindadel, mis praktikas ei vasta tõele.

KOKKUVÕTE

Ehitussektor on üks suurimaid energiatarbijaid maailmas, moodustades 30-40% kogu energiatarbimisest ja olles vastutav ligikaudu 37% globaalse kasvuhoonegaaside heitmete eest. Eesti ehitussektori jätkusuutlikku ehitust reguleerivad rahvusvahelised kliimakokkuleppeid ning Euroopa Liidu direktiivid. Tulenevalt Euroopa EPBD direktiivist on Eesti seadnud ambitsioonikad eesmärgid, sealhulgas kohustuse alates 2025. aastast arvutada kõigi uusehitiste süsinikujalajälge, mille hoone netopind ületab 1000 m². 2024. aasta septembris avaldati süsinikujalajälje arvutamise lihtsustamiseks Eesti riiklik süsinikujalajälje meetod. Eesti süsinikujalajälje meetodis on esitatud tehnosüsteemide ruutmeetripõhine heiteteguri vaikeväärtus, mis arvestab vaid elukaare tootmisetapiga A1-A3.

Lõputöö käigus arutati kaheksale erineva hoone tehnosüsteemidele süsinikujalajalg ning analüüsiti süsteemide mõju süsinikujalajäljele ning analüüsiti ka olelusringi etapi mõjusid tehnosüsteemide süsinikheitesse. Tulemuste põhjal selgus, et ventilatsioonisüsteemi on olenemata hoone kasutusotstarbest suurima mõjuga kogu tehnosüsteemi jalajäljele moodustades 40-70% kogu jalajäljest. Ventilatsioonisüsteemi järel annavad suurima panuse süsinikujalajälje kujunemisse kütte-, jahutus- ning tugev- ja nõrkvoolusüsteemid. Kõige väiksema panuse tehnosüsteemide süsinikujalajälje kujunemisse annavad vee- ja kanalisatsioonisüsteemid.

Hoone olelusringi tootmisetapp A1-A3 on kõige suurema mõjuga tehnosüsteemide heitele. Keskmiselt moodustab see kaks kolmandiku kogu tehnosüsteemide süsinikujalajäljest. Sellest saab järeldada, et süsinikuheite vähendamiseks tuleb valida ehitusel kasutavaid materjale selliselt, et toodete enda tootmisel tekkinud globaalse soojenemise potentsiaal on võimalikult madal. Tootmisetapi järel mõjutab tehnosüsteemi süsinikujalajälje väärtust asendamisetapp B4. B4 olelusringi etapi osakaal suureneb, kui tehnosüsteemide kasutusega lüheneb.

Arvutustulemuste ja Eesti vaikeväärtuste võrdluse põhjal väidab autor, et tehnosüsteemide heiteteguri vaikeväärtused on Eesti metoodikas alahinnatud. Autori ettepanek on üle vaadata etteantud vaikeväärtus ja/või hinnata vajadust tehnosüsteemide B4 etapi vaikeväärtuse lisamist Eesti metoodikasse.

SUMMARY

The construction sector is one of the largest energy consumers in the world, accounting for 30-40% of total energy consumption and approximately 37% of global greenhouse gas emissions. Sustainable construction in Estonia is governed by international climate agreements and European Union directives. Based on the EPBD directive, Estonia has set ambitious goals, including the obligation, starting in 2025, to calculate the carbon footprint of all new buildings with a net floor area exceeding 1000 m². In September 2024, Estonia published a national carbon footprint methodology to simplify the calculation process. This methodology includes default emission factor values for building systems based on a square meter, which only consider the production stage (A1-A3) of the lifecycle.

During the thesis, the carbon footprint of building services for eight different buildings was calculated, and the impact of these services on the carbon footprint was analyzed, along with the effects of various life cycle stages on the carbon emissions of the building services. The results revealed that, regardless of the building's purpose, the ventilation system has the greatest impact on the overall carbon footprint of the building services, accounting for 40-70% of the total footprint. Following ventilation systems, the impact of heating, cooling, and electrical systems was noted. Water and sewage systems had the smallest impact on the carbon footprint of the building services.

The production stage (A1-A3) of the life cycle had the most significant impact on the emissions of building services, contributing on average two-thirds of the total emissions. This indicates that, to reduce carbon emissions, construction materials should be chosen such that the global warming potential generated during their production is as low as possible. Following the production stage, the replacement stage (B4) of the life cycle significantly influences the carbon footprint of building services. The share of the B4 stage increases as the service life of the building services decreases.

This thesis does not cover external networks of building services, including external water and sewer pipelines and materials for heating and cooling production or their lifecycle. Although external infrastructure is not considered in the carbon footprint according to Estonia's methodology, the external network can constitute a considerable part of the overall carbon footprint of building systems.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] “Ühisrakendus | Kliimaministeerium.” Accessed: Oct. 08, 2024. [Online]. Available: <https://kliimaministeerium.ee/uhisrakendus>
- [2] “The Paris Agreement | UNFCCC.” Accessed: Sep. 29, 2024. [Online]. Available: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- [3] “Copernicus: 2024 virtually certain to be the warmest year and first year above 1.5°C | Copernicus.” Accessed: Dec. 05, 2024. [Online]. Available: <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2024-virtually-certain-be-warmest-year-and-first-year-above-15degc>
- [4] “Euroopa roheline kokkulepe - Consilium.” Accessed: Jan. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/et/policies/green-deal/>
- [5] E. Arumägi and T. Kalamees, “Design of the first net-zero energy buildings in Estonia,” *Science and Technology for the Built Environment*, vol. 22, no. 7, pp. 1039–1049, Oct. 2016, doi: 10.1080/23744731.2016.1206793.
- [6] I. Blom, L. Itard, and A. Meijer, “LCA-based environmental assessment of the use and maintenance of heating and ventilation systems in Dutch dwellings,” *Building and Environment*, vol. 45, no. 11, pp. 2362–2372, Nov. 2010, doi: 10.1016/j.buildenv.2010.04.012.
- [7] A. E. Fenner *et al.*, “The carbon footprint of buildings: A review of methodologies and applications,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 94, pp. 1142–1152, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.07.012.
- [8] “Regulations and policies driving embodied and whole-life carbon.” Accessed: Jan. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.oneclicklca.com/regulations-and-policies-driving-embodied-and-whole-life-carbon/>
- [9] “VV_2024_60k_lisa.pdf.” Accessed: Dec. 05, 2024. [Online]. Available: https://www.riigiteataja.ee/aktiisa/3060/3202/4006/VV_2024_60k_lisa.pdf
- [10] “Hoone süsinikujalajalg | Kliimaministeerium.” Accessed: Sep. 29, 2024. [Online]. Available: <https://kliimaministeerium.ee/elukeskkond-ringmajandus/energiatohusus-ja-keskkonnasaast/hoone-susiniujalajalg>
- [11] “Uuring ehituse süsinikujalajalg. Lisa 9 Juhtumiuuringuaruanne.”
- [12] “Ehituse teekaart 2040.” Rohetiiger, 2023.
- [13] “Hoone süsinikujalajälje tööriistad | Kliimaministeerium.” Accessed: Dec. 05, 2024. [Online]. Available: <https://kliimaministeerium.ee/elukeskkond-ringmajandus/energiatohusus-ja-keskkonnasaast/hoone-susiniujalajalje-tooriistad>
- [14] “Annex 2 - Method description, Estonian method for calculating the carbon footprint for construction works.pdf.”
- [15] Tarja Häkkinen and Matti Kuittinen, *Madalsüsinikehituse suunas*. Tallinn: ET Infokeskuse AS, 2021.

- [16] G. Oy, “Talotekniikan hiilijalanjälki ja materiaalisäältö,” 2000.
- [17] “UNEP ANNUAL REPORT,” United Nations Environment Programme, 2012.
- [18] U. N. Environment, “2022 Global Status Report for Buildings and Construction | UNEP - UN Environment Programme.” Accessed: Dec. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>
- [19] “Global Warming of 1.5 °C —.” Accessed: Dec. 12, 2024. [Online]. Available: <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- [20] “Energy efficiency directive - European Commission.” Accessed: Jan. 26, 2024. [Online]. Available: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en
- [21] “Energy Performance of Buildings Directive.” Accessed: Jan. 26, 2024. [Online]. Available: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
- [22] “Directive - EU - 2024/1275 - EN - EUR-Lex.” Accessed: Dec. 11, 2024. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj>
- [23] “Roadmap for harmonising Nordic Building Regulations concerning Climate Emissions.pdf.” Accessed: Dec. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.nordicsustainableconstruction.com/Media/638302229397775948/Roadmap%20for%20harmonising%20Nordic%20Building%20Regulations%20concerning%20Climate%20Emissions.pdf>
- [24] *The Nordic Region – towards being the most sustainable and integrated region in the world.* Nordic Council of Ministers, 2020. doi: 10.6027/politknord2020-728.
- [25] “Ehituse programm aastateks 2023-2026 (3).pdf.” Accessed: Dec. 11, 2024. [Online]. Available: <https://kliimaministeerium.ee/sites/default/files/documents/2023-11/Ehituse%20programm%20aastateks%202023-2026%20%283%29.pdf>
- [26] Rauno Lõhmus, “Ehitustegevusest tekkiv süsinikujalajälg sa sellest teadlikkus Eesti ehitusettevõtete seas,” Magistritöö, Tallinna Tehnika Ülikool, 2024.
- [27] “„Vabariigi Valitsuse tegevusprogrammi 2023–2027“ kinnitamine–Riigi Teataja.” Accessed: Dec. 12, 2024. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/317102023003?leiaKehtiv>
- [28] “Hoone süsinikujalajälg | Kliimaministeerium.” Accessed: Dec. 11, 2024. [Online]. Available: <https://kliimaministeerium.ee/elukeskkond-ringmajandus/energiatohusus-ja-keskkonnasaast/hoone-susiniujalajalg>
- [29] “EVS-EN 15978:2011 - EVS standard evs.ee | et.” Accessed: Feb. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-en-15978-2011>
- [30] “EVS-EN 15978:2011,” EVS. Accessed: Dec. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-en-15978-2011>

- [31] “Glossary-on-different-CO2-terms.pdf.” Accessed: Dec. 14, 2024. [Online]. Available: <https://bluemangrove.fund/wp-content/uploads/2021/03/Glossary-on-different-CO2-terms.pdf>
- [32] M. Röck *et al.*, “Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation,” *Applied Energy*, vol. 258, p. 114107, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114107.
- [33] “EVS-EN ISO 14040:2006+A1:2020 - EVS standard evs.ee | et.” Accessed: Feb. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-en-iso-14040-2006-a1-2020-consolidated>
- [34] “EVS-EN ISO 14044:2006/A2:2020 - EVS standard evs.ee | en.” Accessed: Feb. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.evs.ee/en/evs-en-iso-14044-2006-a2-2020>
- [35] “Eesti Hoone süsinikujalajälje meetodi tehniline dokumenatsioon.”
- [36] “EVS-EN ISO 14025:2010,” EVS. Accessed: Dec. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-en-iso-14025-2010>
- [37] “EVS-EN 15804:2012+A2:2019,” EVS. Accessed: Dec. 06, 2024. [Online]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-en-15804-2012-a2-2019-consolidated>
- [38] A. Oviir, “Materjalide keskkonnadeklaratsioonidest ehk EPD-dest,” presented at the Keskkonnasäästliku ehituse infopäev, Sep. 2024, p. <https://kliimaministerium.ee/elukeskkond-ringmajandus/energiatohusus-ja-keskkonnasaast/hoone-susiniikujalajalje-tooriistad>.
- [39] “Emissions database for construction.” Accessed: Dec. 14, 2024. [Online]. Available: <https://co2data.fi/rakentaminen/>
- [40] “EHEA | Estonian emission factor database.” Accessed: Dec. 15, 2024. [Online]. Available: <https://data.ghg.ee/>

LISAD

LISA 1 Süsinikujalajälje arvutustes kasutatud materjalide mahud

Hoone 1		Hoone 2		Hoone 3		Hoone 4		Hoone 5		Hoone 6		Hoone 7		Hoone 8	
Materjal	kogu mass, t	Materjal	kogu mass, t	Materjal	kogu mass, t	Materjal	kogu mass, t	Materjal	kogu mass, t	Materjal	kogu mass, t	Materjal	kogu mass, t	Materjal	kogu mass, t
Ventilatsioonisüsteem		Ventilatsioonisüsteem		Ventilatsioonisüsteem		Ventilatsioonisüsteem		Ventilatsioonisüsteem		Ventilatsioonisüsteem		Ventilatsioonisüsteem		Ventilatsioonisüsteem	
Tsingitud lehtteras toru 100	0,86	Tsingitud lehtteras toru 100	1,41	Tsingitud lehtteras toru 100	0,10	Tsingitud lehtteras toru 100	0,10	Tsingitud lehtteras toru 100	0,07	Tsingitud lehtteras toru 100	0,05	Tsingitud lehtteras toru 100	0,05	Tsingitud lehtteras toru 100	0,22
Tsingitud lehtteras toru 125	3,43	Tsingitud lehtteras toru 125	4,93	Tsingitud lehtteras toru 125	0,22	Tsingitud lehtteras toru 125	0,26	Tsingitud lehtteras toru 125	0,30	Tsingitud lehtteras toru 125	0,25	Tsingitud lehtteras toru 125	0,04	Tsingitud lehtteras toru 125	0,96
Tsingitud lehtteras toru 160	5,52	Tsingitud lehtteras toru 160	0,46	Tsingitud lehtteras toru 160	0,33	Tsingitud lehtteras toru 160	0,29	Tsingitud lehtteras toru 160	1,11	Tsingitud lehtteras toru 160	0,58	Tsingitud lehtteras toru 160	0,05	Tsingitud lehtteras toru 160	0,51
Tsingitud lehtteras toru 200	3,12	Tsingitud lehtteras toru 200	0,03	Tsingitud lehtteras toru 200	0,27	Tsingitud lehtteras toru 200	0,68	Tsingitud lehtteras toru 200	0,63	Tsingitud lehtteras toru 200	0,27	Tsingitud lehtteras toru 200	0,05	Tsingitud lehtteras toru 200	0,81
Tsingitud lehtteras toru 250	0,90	Tsingitud lehtteras toru 315	0,35	Tsingitud lehtteras toru 250	0,64	Tsingitud lehtteras toru 250	1,82	Tsingitud lehtteras toru 250	0,70	Tsingitud lehtteras toru 250	0,31	Tsingitud lehtteras toru 250	0,24	Tsingitud lehtteras toru 250	0,49
Tsingitud lehtteras kandiline kanal	9,06	Tsingitud lehtteras kandiline kanal	9,60	Tsingitud lehtteras toru 315	1,11	Tsingitud lehtteras toru 315	1,33	Tsingitud lehtteras toru 315	0,77	Tsingitud lehtteras toru 315	0,24	Tsingitud lehtteras toru 315	0,27	Tsingitud lehtteras toru 315	0,07
Kivivilla soojustus SI50	1,63	Kivivilla soojustus SI50	0,24	Tsingitud lehtteras toru 400	0,17	Tsingitud lehtteras toru 400	0,40	Tsingitud lehtteras toru 400	1,51	Tsingitud lehtteras toru 400	0,01	Tsingitud lehtteras toru 400	0,38	Tsingitud lehtteras toru 400	0,39
Poorkumm isolatsioon 19mm	0,05	Sisepuhkeplafoon	0,12	Tsingitud lehtteras kandiline kanal	0,22	Tsingitud lehtteras toru 630	0,06	Tsingitud lehtteras toru 500	0,86	Tsingitud lehtteras toru kandiline	1,70	Tsingitud lehtteras toru 630	0,73	Tsingitud lehtteras kandiline kanal	2,45
Sisepuhkeplafoon	0,32	Väljatõmbepafoon	0,12	Kivivilla soojustus SI50	1,67	Tsingitud lehtteras toru 800	0,07	Tsingitud lehtteras toru 630	0,30	Kivivilla soojustus	0,49	Tsingitud lehtteras toru 800	0,16	Kivivilla soojustus SI50	2,05
Väljatõmbepafoon	0,01	Välisest	0,05	Sisepuhkeplafoon tasanduskastga	0,75	Tsingitud lehtteras toru 1000	1,22	Tsingitud lehtteras toru 800	0,71	Plafoon tasanduskastga	0,30	Tsingitud lehtteras toru 1000	0,71	Sisepuhkeplafoon	0,06
Välisest	0,23	Reguleerklapid	0,66	Sisepuhkeplafoon	0,02	kandiline kanal	13,55	Tsingitud lehtteras toru 1000	0,08	Plafoon	0,06	kandiline kanal	0,06	Väljatõmbepafoon	0,10
Reguleerklapid	0,11	Tuletõkkeklapid	2,29	Väljatõmbepafoon tasanduskast	0,50	Kivivilla soojustus	0,02	Tsingitud lehtteras kandiline kanal	1,92	Välisrest 300x300	0,05	Kivivilla soojustus	0,11	Välisest	0,09
Tuletõkkeklapid	3,13	Müraummutid	4,00	Väljatõmbepafoon	0,01	Sisepuhkeplafoon tasanduskastga	1,37	Kivivilla soojustus SI50	0,83	Reguleerklapid	0,10	Plafoon	0,00	Reguleerklapid	0,65
Müraummutid	4,20	SEADMED korter ja üldalad	5,61	Välisrestid	0,07	Sisepuhkeplafoon	0,02	Sisepuhkeplafoon tasanduskastga	1,82	Tuletõkkeklapid (TTK)	0,16	Plafoon tasanduskastiga	0,02	Tuletõkkeklapid	1,36
SEADMED	6,58	SEADMED äripinnad	0,44	Iris tüüpi reguleerklapid (RK)	0,10	Väljatõmbepafoon tasanduskast	1,14	Sisepuhkeplafoon	0,01	Müraummutid	0,78	Restid	0,20	Müraummutid	1,65
SEADMED	2,68			CAV, VAV klapid	0,11	Väljatõmbepafoon	0,07	Väljatõmbepafoon tasanduskast	0,47	SEADMED korter ja üldalad	8,00	Klapid	0,20	SEADMED	3,50
Ventilaatorid	0,65			Tuletõkkeklapid (TTK)	1,80	Välisrest	0,28	Väljatõmbepafoon	0,06	Kanali/katuse ventilaatorid	0,09	Müraummutid	0,16		
		Küttesüsteem		Müraummutid (KVDPX)	1,22	Klapiid	0,63	Välisrestid	0,31			SEADMED korter ja üldalad	4,00	Küttesüsteem	
		Terastoru DN15	0,65	SEADMED	9,12	Tuletõkkeklapid (TTK)	0,51	Iris tüüpi reguleerklapid (RK)	0,16	Küttesüsteem		Kanali/katuse ventilaatorid	0,18	Terastoru DN15	0,12
Küttesüsteem		Terastoru DN20	0,54			Müraummutid	0,87	CAV, VAV klapid	0,20	Terastoru 20	0,01			Terastoru DN20	0,24
Terastoru DN15	0,03	Terastoru DN25	0,05			SEADMED korter ja üldalad	14,00	Tuletõkkeklapid (TTK)	0,32	Terastoru 25	0,09	Kütte/jahutussüsteem		Terastoru DN25	0,17
Terastoru DN20	0,11	Terastoru DN32	1,13	Küttesüsteem		Kanali/katuse ventilaatorid	0,59	Müraummutid (KVDPX)	0,34	Terastoru 32	0,16	Terastoru DN25	0,02	Terastoru DN32	0,35
Terastoru DN25	0,27	Terastoru DN40	0,04	De16 pex	0,10			SEADMED	5,47	Terastoru 40	0,07	Terastoru DN32	0,14	Terastoru DN40	0,03
Terastoru DN32	0,60	Terastoru DN50	0,20	De20 pex	1,22					Terastoru 50	0,09	Terastoru DN50	0,16	Terastoru DN50	0,03

Terastoru DN40	0,53	Terastoru DN65	0,67	De16 al-pex	0,00	Küttesüsteem		Kütte/jahutussüsteem		Terastoru 65	0,06	Terastoru DN65	0,06	Terastoru DN65	0,06
Terastoru DN50	0,49	Terastoru DN70	0,15	De20 al-pex	0,00	Terastoru DN15	0,18	De20 pex toru	2,45	De20 pex	0,49	Terastoru DN100	0,43	Pex-Al-pex toru de20	3,51
Terastoru DN65	0,45	De20 pex toru	5,53	De25 al-pex	0,02	Terastoru DN20	0,04	Terastoru DN20	0,00	De20 al-pex	0,02	Vasktoru 3/8"	0,00	Pex de16	1,46
Terastoru DN70	0,63	Kollektor	0,43	De32 al-pex	0,08	Terastoru DN25	0,26	Terastoru DN25	0,01	Õhkkardin	0,05	Kivivill Isolatsioon Keskmine SI40	0,01	Radiaator	0,43
Terastoru DN100	0,94	Ventiilid, sulgkraanid	0,40	De40 al-pex	0,06	Terastoru DN32	0,23	Terastoru DN32	0,06	Radiaator	0,07	Poorkumm isolatsioon	0,03	Kollektor	0,11
Terastoru DN125	0,55	Pump	0,01	De50 al-pex	0,17	Terastoru DN40	0,26	Terastoru DN40	0,00	Kollektor	0,04	Siseosa	0,37	Ventiilid, sulgkraanid	0,07
Terastoru DN150	0,19	Kivivilla soojustus SI50	0,89	De63 al-pex	0,08	Terastoru DN50	0,52	Terastoru DN65	0,15	Ventiilid	0,02	Välisosa	0,05	Pump	0,00
Pex-Al-pex toru	3,63			De75 al-pex	0,15	Terastoru DN65	0,62	Terastoru DN100	0,35	Ringluspumbad	0,01	Ventiilid	0,01	Kivivill Isolatsioon SI50	0,41
Pex de16	5,46	Vee ja kanalisatsioonisüsteem		De90 al-pex	0,02	Terastoru DN70	0,15	De50 al-pex	0,21	Kivivill Isolatsioon Keskmine SI40	0,17	Ventiilid Elektrilised küttekehad	0,33		
Kollektor	0,41	De16 pex toru	0,45	Kollektor	0,12	Terastoru DN100	0,13	De63 al-pex	0,46					Vee ja kanalisatsioonisüsteem	
Ventiilid, sulgkraanid	0,53	De20 pex toru	0,09	Radiaator	2,44	De20 pex	2,24	Kollektor	0,17	Jahutussüsteem		Vee ja kanalisatsioonisüsteem		De16 pex-al-pex toru	0,54
Pump	0,00	De16 pex-al-pex toru	0,11	Tasakaaluventiil	0,06	De20 Pex-al-pex	0,07	Radiaator	0,10	Terastoru DN20	0,03	De16 pex-al-pex toru	0,00	De20 pex-al-pex toru	0,08
Kivivill Isolatsioon Keskmine SI40	1,36	De20 pex-al-pex toru	0,04	Pump	0,01	Radiaator	0,63	Ventiilid, sulgkraanid	0,06	Terastoru DN25	0,11	De20 pex-al-pex toru	0,01	De25 pex-al-pex toru	0,04
Paagid	0,00	De25 pex-al-pex toru	0,24	Kivivill Isolatsioon Keskmine SI40	0,09	Kollektor	0,08	Pump	0,01	Terastoru DN32	0,19	De25 pex-al-pex toru	0,02	De32 pex-al-pex toru	0,06
		De32 pex-al-pex toru	0,43	Poorkumm isolatsioon	0,08	Ventiilid	0,05	Paagid	0,00	Terastoru DN40	0,16	De32 pex-al-pex toru	0,02	De40 pex-al-pex toru	0,02
		De40 pex-al-pex toru	0,11			Kuulkraanid	0,04		0,00	Terastoru DN50	0,10	De50 pex-al-pex toru	0,00	De50 pex-al-pex toru	0,03
Jahutussüsteem		De50 pex-al-pex toru	0,09			Ringluspumbad	0,01		0,00	Terastoru DN65	0,31	Kanalisatsioon PP	0,41	De65 pex-al-pex toru	0,03
Terastoru Keskmine	4,44	De65 pex-al-pex toru	0,29	Jahutussüsteem				Vee ja kanalisatsioonisüsteem		Terastoru DN70	0,51	Kivivill isolatsioon	0,16	De75 pex-al-pex toru	0,03
Terastoru DN20	0,10	De90 PE toru	0,02	Vasktoru keskmine	0,17			De16 pex-al-pex toru	0,09	Terastoru DN100	0,11	Ventiilid, kuulkraanid	0,01	Kanalisatsioon PP toru	1,26
Terastoru DN25	0,15	De110 PE toru	0,05	Vasktoru 1/4"	0,00			De20 pex-al-pex toru	0,04	Terastoru DN125	0,06			Sadevesi HDPE toru	0,18
Terastoru DN32	0,60	De110 PE toru kanalisatsioon	2,55	Vasktoru 3/8"	0,05	Jahutussüsteem		De25 pex-al-pex toru	0,10	Ventiilid ja sulgkraanid	0,08	Tugev ja nõrkvoolu süsteemid		Kivivill isolatsioon	1,39
Terastoru DN40	0,76	Sademeveetoru HDPE	0,88	Vasktoru 1/2"	0,01	Vasktoru 3/8"	0,01	De32 pex-al-pex toru	0,03	AF	0,19	Tugevvoolu kaabel	1,76	Ventiilid, kuulkraanid	0,46
Terastoru DN50	0,30	Kivivill isolatsioon	2,32	Vasktoru 5/8"	0,05	Vasktoru 5/8"	0,01	De40 pex-al-pex toru	0,01	Pumbad	0,00	Nõrkvool kaabel	0,88	Pump	0,00
Terastoru DN65	0,35	Liiniseaded	0,12	Vasktoru 3/4"	0,02	AF	0,02	De50 pex-al-pex toru	0,01	Siseosa fancoil	1,97	Jaotuskilbid	0,11		
Terastoru DN70	0,94	Pump	0,01	Vasktoru 7/8"	0,02	Siseosa	0,08	Kanalisatsioon PP	0,55			Kaabliredelid	0,98	Tugev ja nõrkvoolu süsteemid	
Terastoru DN100	0,51	Kaevud	1,70	Vasktoru 1 1/8"	0,01			Sadevesi HDPE	0,23	Vee ja kanalisatsioonisüsteem				Tugevvoolu kaabel	5,32
Terastoru DN125	0,34	Pumplad	0,15	Jahutusseade siseosa	0,06			Kivivill isolatsioon	0,60	De16 pex-al-pex toru	0,04			Nõrkvool kaabel	1,69
Terastoru DN150	1,15					Vee ja kanalisatsioonisüsteem		Ventiilid, kuulkraanid	0,13	De20 pex-al-pex toru	0,02			Jaotuskilbid	0,81
Pex-Al-pex toru	11,35					De16 pex-al-pex toru	0,11	Tarbevee kollektor	0,01	De25 pex-al-pex toru	0,04			Kaabliredelid	2,44
Poorkumm isolatsioon	0,98			Vee ja kanalisatsioonisüsteem		De20 pex-al-pex toru	0,08	Pump	0,00	De32 pex-al-pex toru	0,04				
Kuulkraan	0,32	Tugevvoolu kaabel	7,00		0,49	De25 pex-al-pex toru	0,08			De40 pex-al-pex toru	0,02				

Reguleerventiilid	0,11	Nõrkvool kaabel	1,47	De16 al-pex	0,06	De32 pex-al-pex toru	0,09	Tugev ja nõrkvoolu süsteemid		De50 pex-al-pex toru	0,00
Pump	0,00	Korterikilbid	1,80	De20 al-pex	0,03	De40 pex-al-pex toru	0,05	Tugevvoolu kaabel	4,20	Kanaliseatsioon PP	0,73
Jahutusseade 70	1,68	Kaabliredelid	2,94	De25 al-pex	0,04	De50 pex-al-pex toru	0,01	Nõrkvool kaabel	1,95	Sadeveetoru HDPE	0,04
Jahutusseade 100	5,71			De32 al-pex	0,04	De65 pex-al-pex toru	0,12	Jaotuskilbid	0,22	Kivivill isolatsioon	0,18
				De40 al-pex	0,01	De75 pex-al-pex toru	0,04	Kaabliredelid	3,24	Ventiilid, kuulkraanid	0,05
				De50 al-pex	0,04	De110 pex-al-pex toru	0,02				
Vee ja kanalisatsioonisüsteem				De16 PE	0,13	Kanaliseatsioon PP	0,73			Tugev ja nõrkvoolu süsteemid	
PE torustik (keskmine)	2,03			De20 PE	0,05	Sadeveetoru tsingitud teras	0,38			Tugevvoolu kaabel	1,26
De16 pex toru	0,40			De25 PE	0,01	Kivivill isolatsioon	0,81			Nõrkvool kaabel	0,63
De20 pex toru	0,24			De50 PE	0,00	Ventiilid, kuulkraanid	0,09			Jaotuskilbid	0,12
De16 pex-al-pex toru	0,19			Kanaliseatsioon PP	1,19	Pump	0,01			Kaabliredelid	0,50
De20 pex-al-pex toru	0,02			Sadevesi HDPE	0,02	Tarbevee kollektor	0,03				
De25 pex-al-pex toru	0,17			Kivivill isolatsioon	0,89						
De32 pex-al-pex toru	0,37			Ventiilid, kuulkraanid	0,06						
De40 pex-al-pex toru	0,35			Tarbevee kollektor	0,07	Tugev ja nõrkvoolu süsteemid					
De50 pex-al-pex toru	0,23			Kaev	1,06	Tugevvoolu kaabel	2,10				
De65 pex-al-pex toru	0,13					Nõrkvool kaabel	1,06				
De75 pex-al-pex toru	0,03					Jaotuskilbid	0,12				
De90 PE toru	0,06			Tugev ja nõrkvoolu süsteemid		Kaabliredelid	4,80				
De110 PE toru	0,56			Tugevvoolu kaabel	1,40						
Kanaliseatsioon PP toru	4,54			Nõrkvool kaabel	0,65						
Sadevesi HDPE toru	1,25			Jaotuskilbid	0,20						
Kivivill isolatsioon	3,39			Kaabliredelid	2,30						
Ventiilid, kuulkraanid	0,46										
Pump	0,00										
Kaev	0,94										
Tugev ja nõrkvoolu süsteemid											
Tugevvoolu kaabel	9,11										
Nõrkvool kaabel	1,02										
Korterikilbid	2,69										
Kaabliredelid	4,79										

LISA 2 Süsinikujalajälje arvutustes kasutatud vaikeväärtused

SÜSTEEM	Toode	A1-A3, GWP väärtused				A4 vaikeväärtused										A5	B4	C3		C4	
		GWP total	GWP fossil	Ühik	Allikas	Koormuse mahtuvus	EF, transport, kg CO2e/tkm linn	EF, transport, kg CO2e/tkm maantee	distsants linnas, km	distsants maanteel, km	EF, transport, kg CO2e/tkm linn, tagasi	EF, transport, kg CO2e/tkm	distsants linnas tagasi, km	distsants maanteel tagasi, km	Ülekulutegur			Kasutusiga	Efr	Ringlusesse võtu määr, R	EfK
Ventilatsioon	Tsingitud lehtteras toru ümmargune	4,03	4,03	kgCO2/kg	ETS NORD, RTS_288_24	40,00%	0,15	0,094	10	90	1,25	0,81	3	27	0,1	50	0,002	1	0	0	
Ventilatsioon	Tsingitud lehtteras toru kandiline	3,83	3,84	kgCO2/kg	ETS NORD, RTS_288_24	40,00%	0,15	0,094	10	90	1,25	0,81	3	27	0,1	50	0,002	1	0	0	
Ventilatsioon	Sissepuhkeplafoon	2,74	2,67	kgCO2/kg	EHEA, Profileeritud lehtteras	100,00%	0,086	0,05	10	90	1,25	0,81	3	27	0	50	0,002	1	0	0	
Ventilatsioon	Sissepuhkeplafoon + tasanduskast	3,57	3,92	kgCO2/kg	Lindinvent AB, HUB-0059	100,00%	0,086	0,05	10	90	1,25	0,81	3	27	0	50	0,002	1	0	0	
Ventilatsioon	Väljatõmbeplafoon	2,74	2,67	kgCO2/kg	EHEA, Profileeritud lehtteras	100,00%	0,086	0,05	10	90	1,25	0,81	3	27	0	50	0,002	1	0	0	
Ventilatsioon	Väljatõmbeplafoon + tasanduskast	3,57	3,92	kgCO2/kg	Lindinvent AB, HUB-0059	100,00%	0,086	0,05	10	90	1,25	0,81	3	27	0	50	0,002	1	0	0	
Ventilatsioon	Välisrest	2,74	2,67	kgCO2/kg	EHEA, Profileeritud lehtteras	100,00%	0,086	0,05	10	90	1,25	0,81	3	27	0	50	0,002	1	0	0	
Ventilatsioon	Klapp (reguleer, tuletõkke, CAV, VAV)	4,13	4,34	kgCO2/kg	EPD-IES-0014208	100,00%	0,086	0,05	170	1530	1,25	0,81	51	459	0	50	0,002	1	0	0	
Ventilatsioon	Mürasummuti	3,71	3,69	kgCO2/kg	ETS NORD, RTS_290_24	100,00%	0,086	0,05	170	1530	1,25	0,81	51	459	0	50	0	0	0,057	1	
Ventilatsioon	Ventilatooni seadmed	4,2	3,5	kgCO2/kg	co2data.fi, Air exchanger with hr	100,00%	0,086	0,05	170	1530	1,25	0,81	51	459	0	20	0	0,75	0,057	0,25	
Jahutus	Jahutus siseseade	6,7	6,91	kgCO2/kg	S-P- 12659	100,00%	0,086	0,05	170	1530	1,25	0,81	51	459	0	20	0	0,75	0,057	0,25	
Küte	Raadiaator	4,08	3,4	kgCO2/kg	co2data.fi	100,00%	0,086	0,05	170	1530	1,25	0,81	51	459	0	20	0,002	1	0	0	
Vent, Küte, Vesi, Kanal	Kivivill isolatsioon	1,32	1,32	kgCO2/kg	EHEA, kivivill 33 kg/m3	20,00%	0,285	0,18	170	1530	1,25	0,81	51	459	0,1	50	0	0	0,057	1	
Vent, Küte, Jahutus, Vesi, Kanal	Poorkumm isolatsioon	230	264	kgCO2/m3	EPD-ARM-20200218-IBB1-EN	20,00%	0,285	0,18	170	1530	1,25	0,81	51	459	0,1	50	0	0	0,057	1	
Küte, Jahutus	Terastoru	3,6	3,6	kgCO2/kg	EHEA (torud roostevaba)	80,00%	0,098	0,058	170	1530	1,25	0,81	51	459	0,1	50	0,002	1	0	0	
Küte, Jahutus, Vesi	Pex, Pe toru	3,48	2,9	kgCO2/kg	co2data.fi	80,00%	0,098	0,058	170	1530	1,25	0,81	51	459	0,1	50	0,7	0,5	3	0,5	
Küte, Jahutus, Vesi	Pex-Al-pex toru	5,56	5,53	kgCO2/kg	Uponor, RTS_164_22	80,00%	0,098	0,058	170	1530	1,25	0,81	51	459	0,1	50	0,7	0,5	3	0,5	
Jahutus	Vasktoru	0,63	0,63	kgCO2/kg	EHEA Torud, vask 100 % ringlusest	80,00%	0,098	0,058	170	1530	1,25	0,81	51	459	0,1	50	0,002	1	0	0	
Kanal	PP toru	2,19	2,18	kgCO2/kg	Uponor, HUB-0561	80,00%	0,098	0,058	170	1530	1,25	0,81	51	459	0,1	50	0,7	0,5	3	0,5	
Sadevesi	HDPE toru	2,28	2,3	kgCO2/kg	Geberit, 367.000.16.0	80,00%	0,098	0,058	170	1530	1,25	0,81	51	459	0,1	50	0,7	0,5	3	0,5	
Küte, Jahutus, Vesi	Liiniseadmed (ventiilid, sulgkraanid)	1,2	1,27	kgCO2/kg	IMI Hydronic Engineering AB, HUB-0669	100,00%	0,086	0,05	170	1530	1,25	0,81	51	459	0	20	0	0	0,057	1	
Küte, Vesi	Kollektor	4,05	4,15	kgCO2/kg	S-P-07218	100,00%	0,086	0,05	170	1530	1,25	0,81	51	459	0	50	0	0	0,057	1	
Küte, Jahutus, Vesi	Pump	7,15	5,96	kgCO2/kg	co2data.fi, water pump	100,00%	0,086	0,05	170	1530	1,25	0,81	51	459	0	20	0	0,75	0,057	0,25	
Kanal, Sadevesi	Kaevud/pumplad	2,65	2,68	kgCO2/kg	EHEA, Torud, PP ja PE	80,00%	0,098	0,058	170	1530	1,25	0,81	51	459	0	50	0,7	0,5	3	0,5	
TV	Tugevvoolu kaabel	6,5	5,42	kgCO2/kg	co2data.fi	100,00%	0,086	0,05	170	1530	1,25	0,81	51	459	0,1	50	0,002	1	0	0	

NV	Nõrkvool kaabel	6,34	5,29	kgCO2/kg	co2data.fi	100,00%	0,086	0,05	170	1530	1,25	0,81	51	459	0,1	50	0,002	1	0	0
TV, NV	Korterikilbid	2,78	2,32	kgCO2/kg	co2data.fi	100,00%	0,086	0,05	170	1530	1,25	0,81	51	459	0	50	0,002	0,75	0,057	0,25
TV, NV	Kaabliredelid	3,19	2,66	kgCO2/kg	co2data.fi	100,00%	0,086	0,05	170	1530	1,25	0,81	51	459	0,1	50	0,002	1	0	0