LISA 9

Uuring ehituse süsinikujalajälje hindamisprintsiipide rakendamiseks Eestis

JUHTUMIUURINGU ARUANNE

Kalamees, Targo
Kertsmik, Kadri-Ann
Kurnitski, Jarek
Lylykangas, Kimmo
Oviir, Anni
Pasanen, Panu
Tikka, Sara

Euroopa Liit
Euroopa
Regionaalarengu Fond

Eesti
tuleviku heaks

Tabelid

Tabel 1 Ülevaade viiest juhtumiuuringu hoonest.
Tabel 2 Põhiteave Maardu päevakeskuse kohta.
Tabel 3 Maardu: ehitusmaterjalide ja -toodete süsinikujalajälg elutsükli etapis A1–A3.
Tabel 4 Maardu: kasvuhoonegaaside heitkogused elutsükli jooksul.
Tabel 5 Põhiteave Sõpruse korterelamu kohta.
Tabel 6 Sõpruse: ehitusmaterjalide ja -toodete süsinik jalajälg elutsükli etapis A1–A3.
Tabel 7 Sõpruse: elutsükli jooksul tekkivad kasvuhoonegaaside heitkogused.
Tabel 8 Põhiteave Mäemaja õppehoone kohta.
Tabel 9 Mäemaja: ehitusmaterjalide ja -toodete süsinikujalajälg elutsükli etapis A1–A3.
Tabel 10 Mäemaja: elutsükli jooksul tekkivad kasvuhoonegaaside heitkogused.
Tabel 11 Põhiteave Kuuma korterelamu renoveerimise kohta.
Tabel 12 Kuuma: ehitusmaterjalide ja -toodete süsinikujalajälg elutsükli etapis A1–A3.
Tabel 13 Kuuma: kasvuhoonegaaside heitkogused kogu elutsükli jooksul.
Tabel 14 Põhiteave Pärnu büroohoone kohta.
Tabel 15 Pärnu: ehitusmaterjalide ja -toodete süsinikujalajälg elutsükli etapis A1–A3.
Tabel 16 Pärnu: elutsükli jooksul tekkivad kasvuhoonegaaside heitkogused.
Tabel 17 Kolme erineva meetodiga hõlmatud moodulid.
Tabel 18 Juhtumiuuringu tulemuste võrdlus kolme erineva meetodi vahel.
Tabel 19 Maardu juhtumiuuringu tulemuste võrdlus elutsükli moodulite kaupa.
Tabel 20 Maardu: 20 materjali, mis põhjustavad kõige rohkem CO_2e heitkoguseid moodulites A1–A3.
Tabel 21 Sõpruse: 20 materjali, mis põhjustavad kõige rohkem CO_2e heitkoguseid moodulites A1–A3.
Tabel 22 Mäemaja: 20 materjali, mis põhjustavad kõige rohkem CO_2e heitkoguseid moodulites A1–A3.
Tabel 23 Kuuma: 20 materjali, mis põhjustavad kõige rohkem CO_2e heitkoguseid moodulites A1–A3.
Tabel 24 Pärnu: 20 materjali, mis põhjustavad kõige rohkem CO_2e heitkoguseid moodulites A1–A3.

Arvud

Joonis 1 Maardu päevakeskus, Ploomipuu pst 52.

Joonis 2 Maardu hoone elutsükli süsinikujalajälje osakaal hindamismoodulite kaupa; Maardu hoones sisalduva süsiniku mõju iga hooneelemendi kohta.

Joonis 3 Tallinn, Sõpruse pst 33.

Joonis 4 Sõpruse hoone elutsükli süsinikujalajälje osakaal hindamismoodulite kaupa; Sõpruse hoones sisalduva süsiniku mõju iga hooneelemendi kohta.

Joonis 5 Tallinn, Mäepealse 3.

Joonis 6 Mäemaja hoone elutsükli süsinikujalajälje osakaal hindamismoodulite kaupa; Mäemaja hoones sisalduva süsiniku mõju iga hooneelemendi kohta.

Joonis 7 Saue, Kuuma 4.

Joonis 8 Kuuma hoone elutsükli süsinikujalajälje osakaal hindamismoodulite kaupa; Kuuma hoones sisalduva süsiniku mõju iga hooneelemendi kohta.

Joonis 9 Pärnu avalik hoone.

Joonis 10 Pärnu hoone elutsükli süsinikujalajälje osakaal hindamismoodulite kaupa; Pärnu hoones sisalduva süsiniku mõju iga hooneelemendi kohta.

Sisu

Tabelid 2
Joonised 2
Sisukord 4
1. SISSEJUHATUS 5
2. JUHTUMIUURINGUD 5
2.1 Maardu päevakeskus 6
Põhiteave 6
Andmete kogumine 7
Tulemused 7
2.2 Sõpruse korterelamu 9
Põhiteave 9
Andmete kogumine 10
Tulemused 10
2.3 Mäemaja õppehoone 12
Põhiteave 12
Andmete kogumine 13
Tulemused 14
2.4 Kuuma kortermaja renoveerimine 16
Põhiteave 16
Andmete kogumine 16
Tulemused 17
2.5 Pärnu büroohoone 19
Põhiteave 19
Andmete kogumine 20
Tulemused 20
3. Tulemuste valideerimine 22

1. SISSEJUHATUS

Käesolevas aruandes võetakse kokku projekti "Uuring ehituse süsinikujalajälje hindamisprintsiipide rakendamiseks Eestis" viie juhtumiuuringu tulemused, mis tehti aastal 2021. Projekti tellis Eesti Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium ning seda kaasrahastas RITA programm. Projekti viisid läbi TalTechi teadlased ja Soome konsultatsioonifirma One Click LCA eksperdid.

Juhtumianalüüsi eesmärk on kasutada ja katsetada Eesti meetodit reaalsete projektide puhul, lisaks võrrelda tulemusi valideeritud tööriista tulemustega ja koguda kvantitatiivseid andmeid erinevate hoonetüüpide kohta. Süsinikujalajälg arvutati juhtumiuuringute puhul välja, kasutades Eesti meetodit, samuti Level(s) meetodit ja Soome keskkonnaministeeriumi meetodit One Click LCA-programmis. Seejärel võrreldakse tulemusi iga arvutusmooduli kohta (EN 15978 alusel), et valideerida meetodit ja selle aluseks olevat andmebaasi.

2. JUHTUMIUURINGUD

Projekti raames viidi läbi viie Eesti juhtumi süsinikdioksiidi jalajälje analüüs (Tabel 1).

Tabel 1. Ülevaade viiest juhtumiuuringu hoonest.

Juhtumiuuring	Hoone tüüp	Uus või renoveeritud	Suurus m²		Kandev konstruktsioon
			Suletud netopindala	Köetav pindala	
Maardu	päevakeskus	uus, 2018	1320	1060	puit
Sõpruse	kortermaja	uus, 2017	6800	6373	betoon, teras
Mäemaja	õppehoone	renoveeritud 2021 ehitatud 1986	4068	3406	puit
Kuuma	kortermaja	renoveeritud 2021 ehitatud 1986	3260	1887	suurpaneel
Pärnu	avalik hoone	uus, 2021	12 224	11 761	betoon, teras

2.1 Maardu päevakeskus

Joonis 1. Maardu päevakeskus, Ploomipuu pst 52.

Põhiteave

Tabel 2. Põhiteave Maardu päevakeskuse kohta.

Aadress	Harju maakond, Maardu linn, Ploomipuu pst 52
Tüüp	12631 Koolieelne lasteasutus / päevakeskus
Arhitekt	Arhitektuuribüroo Pluss OÜ
Valmimise aasta	2018
Hoone ehitusalune pindala (m²)	1475
Korruste arv (maa peal)	1
Korruste arv (maa all)	-
Kõrgus (m)	6.4
Pikkus (m)	55.8
Laius (m)	28
Sügavus (m)	0,6
Suletud netopindala (m²)	1111.7
Köetav pindala (m²)	1064
Maht (m³)	4400

Maardu juhtumiuuring on monteeritavatest puitelementidest ehitatud ühekorruseline päevakeskuse hoone. Kandev konstruktsioon on saematerjalist (195 mm).

Põrandaplaan on ristkülikukujuline. Põrandakonstruktsioon on raudbetoonplaat maapinnal. Katus on lamekatus, millel on naelplaadist sõrestikkonstruktsioon. Hooned seinad on puitkarkassil ja fassaadil on horisontaalne puitvooder.

U-väärtused on järgmised:

sein	0.18 W/m²K
katus	0.09 W/m²K
põrand	0.19 W/m²K.

Maardu päevakeskuses on tõhusa soojustagastusega mehaaniline ventilatsioonisüsteem. Küttesüsteem on maasoojuspump. Soojus kantakse üle põrandaküttega. Tarnitud energia arvutati IDA-ICE sisekliima- ja energiasimulatsiooni tarkvaraga. Hoone energiaklass on B. Hoone katusel on päikesepaneelid.

Lahendusi võib pidada üsna tüüpiliseks uue ehituse puhul, kus kasutatakse kokkupandavat kergpuitkarkassi.

Andmete kogumine

Maardu päevakeskuses olid arhitektuuri ja ehituse alammudelid. Süsinikujalajälje arvutamiseks analüüsiti arhitektuuri- ja ehitusmudeleid koos, pidades samas silmas, et materjalikogused võetakse arvesse ainult üks kord. Kuna sellel projektil ei olnud sisearhitektuurimudelit, arvutati kõikide põrandate, seinte ja ripplagede kogused käsitsi, kasutades põrandaplaane. Täpsemate tulemuste saamiseks on vaja, et viimistluskihid modelleeritaks eraldi kihis ja korrektsete paksustega.

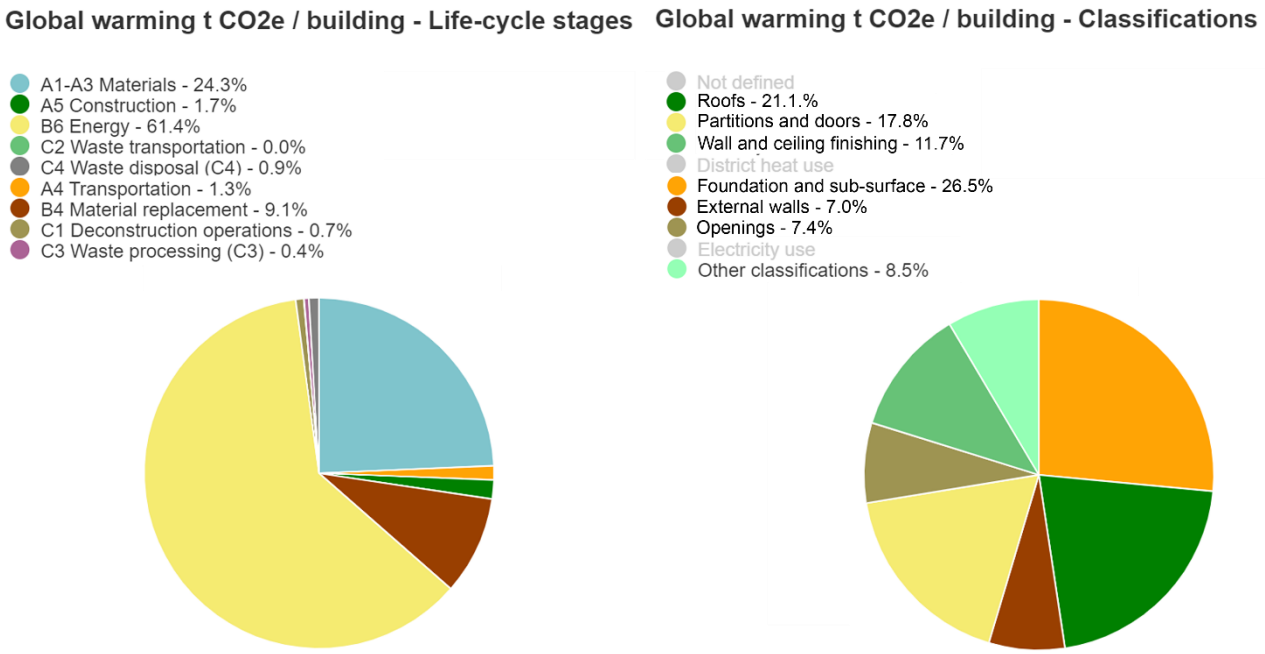
Tulemused

Tabel 3. Maardu: ehitusmaterjalide ja -toodete süsinikujalajälg elutsükli etapis A1–A3.

Ehitustööd	Süsinikujalajälg C, tCO_2e/hoone	Süsinikuerijalajälg c, $kgCO_2e/(m^2a)$
Vundamendid, alused ja keldriseinad	93.87	1.69
Postid ja kandvad vertikaalsed tarindid	1.36	0.02
Põrandaplaadid, vahelaed, talad, katuslaed ja katused	61.3	1.1
Välisseinad ja fassaad	21	0.38
Avatäited	31.89	0.57
Vaheseinad ja mittekandvad tarindid	57.33	1.03
Muud tarindid	4.32	0.08
Viimistlus- ja kattematerjalid	19.49	0.35
Tehnosüsteemid	67.77	1.22
Kokku	358.32	6.45

Tabel 4. Maardu: kasvuhoonegaaside heitkogused elutsükli jooksul.

Elutsükli etapp	C, tCO_2e/hoone	c, $kgCO_2e/(m^2a)$
A1–A3 Tootmine	358	6.5
A4 Transport ehitusele	19	0.3
A5 Ehitamine	26	0.5
B4 Asendamine	134	2.4
B6 Kasutusaegne energia	904	16.3
C1–C4 Lõppkäitlus	31	0.6
Kokku (A+B+C)	**1472**	**26.5**
D Täiendav teave väljaspool elutsüklit	-43	-0.8



Joonis 2. Maardu hoone elutsükli süsinikujalajälje osakaal hindamismoodulite kaupa (vasakul); Maardu hoones sisalduva süsiniku mõju iga hooneelemendi kohta (paremal).

2.2 Sõpruse korterelamu

Joonis 3. Tallinn, Sõpruse pst 33.

Põhiteave

Tabel 5. Põhiteave Sõpruse korterelamu kohta.

Aadress	Harju maakond, Tallinn, Kristiine linnaosa, Sõpruse pst 33
Tüüp	Mitmekorruseline elamu
Arhitekt	Velle Kadalipp
Valmimise aasta	2016
Hoone ehitusalune pindala (m²)	1618
Korruste arv (maa peal)	5
Korruste arv (maa all)	1
Kõrgus (m)	17.8
Pikkus (m)	54.3
Laius (m)	35.7
Sügavus (m)	3.2
Köetav pindala (m²)	6373
Maht (m³)	25 900

Juhtumiuuring Sõpruse pst 33 on viiekorruseline korterelamu. See on U-kujuline hoone, milles on 51 korterit. Sõpruse pst 33 on ehitatud vaivundamendile ja betoonist tugimüüridele. Esimese korruse karkass on valatud kohapeal. Ülejäänud hoone on ehitatud monteeritavatest betoonelementidest. Välisseinad on valmistatud kolmekihilistest elementidest ja kandvad siseseinad ühekihilistest monteeritavatest raudbetoonpaneelidest. Korteritevahelised seinad on müra vältimiseks valmistatud raudbetoonist. Märgade ruumide seinad on valmistatud kergplokkidest. Korteritel on kolmekordse klaaspaketiga puitaknad. Äripindadel ja trepikodadel

on alumiiniumprofiilidel klaasfassaadid. Hoone fassaad on valmistatud vineerist, erinevate tekstuuridega betoonpindadest ja klaasist. Hoones on 35 autole mõeldud raudbetoonkonstruktsioonis maa-alune parkla. Hoone esimesel korrusel on äriruumid.

Hoone energiaklass on B-klass.

Andmete kogumine

Sõpruse korterelamul oli ainult üks BIM-mudel – konstruktiivne mudel. Hoone arhitektuursete vaadete, plaanide ja lõigete abil arvutati viimistlusmaterjalide ja mittekandvate seinte kogused. Uste ja akende spetsifikatsioone kasutati avatäidete arvutamiseks.

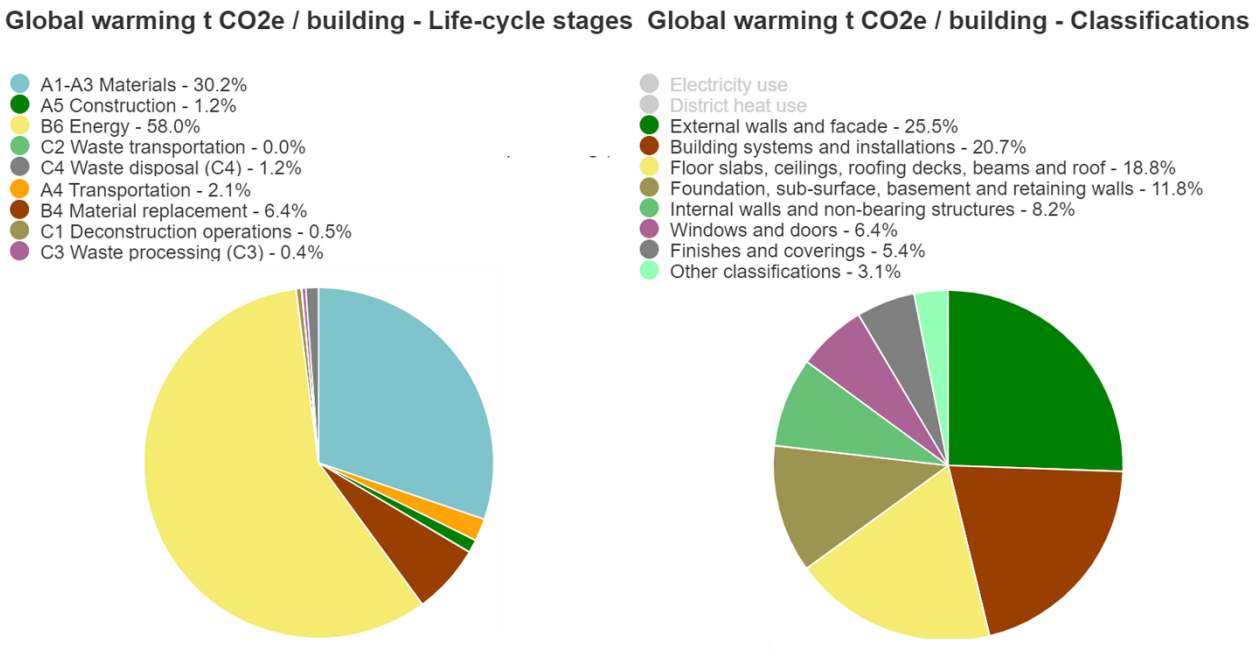
Tulemused

Tabel 6. Sõpruse: ehitusmaterjalide ja -toodete süsinikujalajälg elutsükli etapis A1–A3.

Ehitustööd	Süsinikujalajälg C, tCO_2e	Süsinikuerijalajälg c, $kgCO_2e/(m^2a)$
Vundamendid, alused ja keldriseinad	413.54	1,22
Postid ja kandvad vertikaalsed tarindid	41.49	0.12
Põrandaplaadid, vahelaed, talad, katuslaed ja katused	587.54	1.73
Välisseinad ja fassaad	846.2	2.49
Avatäited	228.94	0.67
Vaheseinad ja mittekandvad tarindid	327.63	0.96
Muud tarindid	27.25	0.08
Viimistlus- ja kattematerjalid	90.49	0.27
Tehnosüsteemid	372.13	1.09
Kokku	2899.71	8.53

Tabel 7. Sõpruse: elutsükli jooksul tekkivad kasvuhoonegaaside heitkogused.

Elutsükli etapp	C, tCO_2e/hoone	c, $kgCO_2e/(m^2a)$
A1–A3 Tootmine	2900	8.5
A4 Transport ehitusele	199	0.6
A5 Ehitamine	115	0.3
B4 Asendamine	616	1.8
B6 Kasutusaegne energia	5564	16.4
C1–C4 Lõppkäitlus	199	0.6
Kokku (A–C)	**9593**	**28.2**
D Täiendav teave väljaspool elutsüklit	-537	-1.6



Joonis 4. Sõpruse hoone elutsükli süsinikujalajälje osakaal hindamismoodulite kaupa (vasakul); Sõpruse hoones sisalduva süsiniku mõju iga hooneelemendi kohta (paremal).

2.3 Mäemaja õppehoone

Joonis 5. Tallinn, Mäepealse 3.

Põhiteave

Tabel 8. Põhiteave Mäemaja õppehoone kohta.

Aadress	Harju maakond, Tallinn, Mustamäe linnaosa, Mäepealse tn 3
Tüüp	Õppehoone
Arhitekt	Tõnu Laigu
Valmimise aasta	2021
Hoone ehitusalune pindala (m²)	1491
Korruste arv (maa peal)	3
Korruste arv (maa all)	-1
Kõrgus (m)	17.8
Pikkus (m)	50.1
Laius (m)	43.1
Sügavus (m)	3.2
Suletud netopindala (m²)	3411.1
Köetav pindala (m²)	3411.1
Maht (m³)	20 328

Mäemaja on Tallinna Tehnikaülikooli rekonstrueerimise suurprojekt, kus asuvad ehitus- ja teedeehituse, HVAC ja ehitusfüüsika laborid ning auditooriumid. Käesolevas juhtumiuuringus analüüsitakse hoone kolmekorruselist osa, mis on alates vundamentidest täiesti uus ja vastab seega uuele õppehoonele. Teist hooneosa, ehituskatsehalli, mis on põhjalikult renoveeritud, kuid mille kandev konstruktsioon on säilinud, ei ole käesolevas arvutuses arvesse võetud. Mäemaja uuel osal on betoonkonstruktsioonidega keldrikorrus, kuid ülejäänud kolm korrust on CLT-st, sealhulgas postid, talad ja vahelaeplaadid. CLT-plaadil on kasutatud betoonkihti, ka trepikojad on betoonist. Välisseinad on kergkonstruktsioonis, mõnes kohas on kasutatud kandvat CLT-d, mis on avatud siseruumidesse. Enamik fassaadist on kaetud metallplaatidega, hoone peasissekäigu fassaad aga akaatsiapuidust elementidega. Aknad ja klaasfassaadid on alumiiniumprofiilidest. Hoone on hästi soojustatud ja seal on moodsad kütte- ja jahutusseadmed. Enamikus ruumides on mehaaniline sisse- ja väljapuhke ventilatsioon, mis on nõudluse järgi reguleeritav, ruumide konditsioneerimine toimub vesiradiaatorite ja aktiivsete jahutustalade abil. Hoone on ühendatud kaugküttega. LED-valgustus kasutab paljudes ruumides kohalolekuandureid. Katusele on paigaldatud maksimaalne kogus päikesepaneele taastuvenergia tootmiseks. Hoone saavutas tervikuna, koos uue ja renoveeritud osaga, Eesti uute hoonete nZEB-nõude 100 kWh/(m²a) primaarenergia, kaasa arvatud seadmete elektrienergia, mis on Eesti arvutustes lisatud minimaalse energiakasutuse tippu.

Andmete kogumine

Mäemaja õppehoonel oli üksikasjalik BIM-mudel ja alamudelid, LCA-arvutuste tegemiseks kasutati ühte mudelit, kuhu oli kombineeritud konstruktiivne ja arhitektuurne mudel.

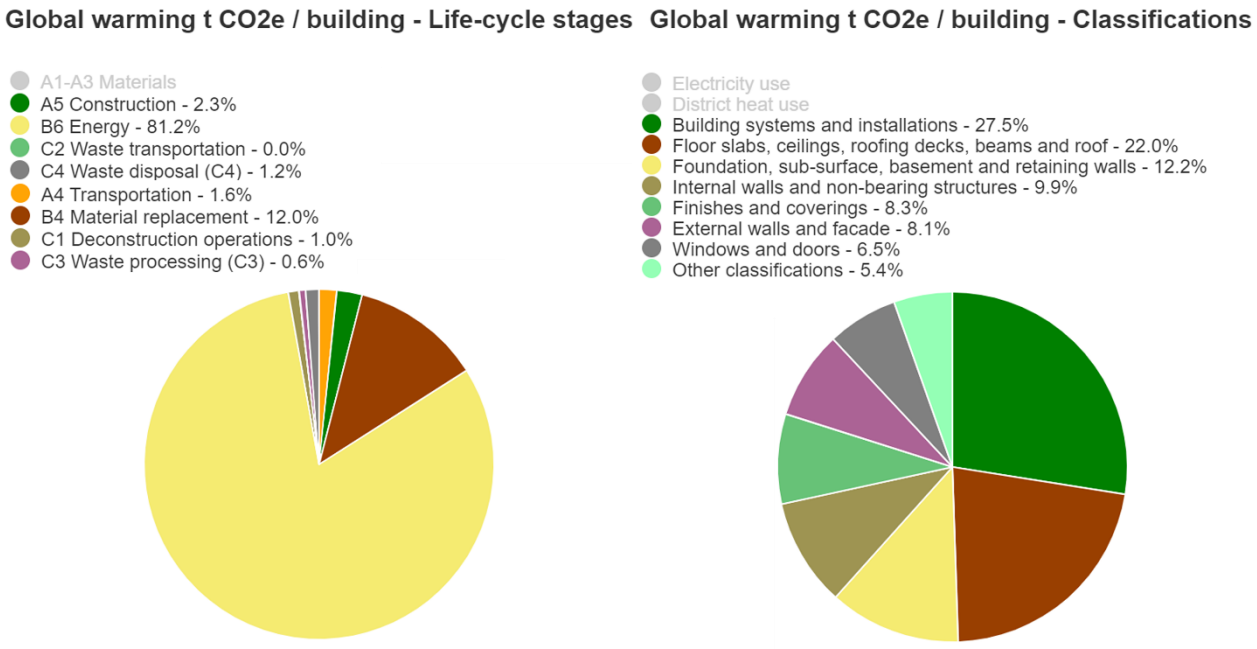
Tulemused

Tabel 9. Mäemaja: ehitusmaterjalide ja -toodete süsinikujalajälg elutsükli etapis A1–A3.

Ehitustööd	Süsinikujalajälg C, tCO_2e	Süsinikuerijalajälg c, $kgCO_2e/(m^2a)$
Vundamendid, alused ja keldriseinad	176.03	0.87
Postid ja kandvad vertikaalsed tarindid	13.73	0.07
Põrandaplaadid, vahelaed, talad, katuslaed ja katused	313.98	1.54
Välisseinad ja fassaad	126.06	0,.2
Avatäited	83.39	0.41
Vaheseinad ja mittekandvad tarindid	141.53	0.7
Muud tarindid	31.69	0.16
Viimistlus- ja kattematerjalid	54.24	0.27
Tehnosüsteemid	251.46	1.24
Kokku	1192.11	5.86

Tabel 10. Mäemaja: elutsükli jooksul tekkivad kasvuhoonegaaside heitkogused.

Elutsükli etapp	C, tCO_2e/hoone	c, $kgCO_2e/(m^2a)$
A1–A3 Tootmine	1192	5.9
A4 Transport ehitusele	69	0.3
A5 Ehitamine	68	0.3
B4 Asendamine	393	1.9
B6 Kasutusaegne energia	2841	14.0
C1-C4 Lõppkäitlus	118	0.6
Kokku (A–C)	**4681**	**23.0**
D Täiendav teave väljaspool elutsüklit	-2	-0.0



Joonis 6. Mäemaja hoone elutsükli süsinikujalajälje osakaal hindamismoodulite kaupa (vasakul); Mäemaja hoones sisalduva süsiniku mõju iga hooneelemendi kohta (paremal).

2.4 Kuuma kortermaja renoveerimine

Joonis 7. Saue, Kuuma 4.

Põhiteave

Tabel 11. Põhiteave Kuuma korterelamu renoveerimise kohta.

Aadress	Kuuma 4
Tüüp	Mitmekorruseline elamu
Arhitekt	Kristina Sepp
Valmimise aasta	2021
Hoone ehitusalune pindala (m²)	762
Korruste arv (maa peal)	3
Korruste arv (maa all)	-1
Suletud netopindala (m²)	2415
Köetav pindala (m³)	1887
Maht (m³)	7944
Korterite arv	24

Andmete kogumine

Kuuma 4 korterelamu renoveerimisest oli olemas 3D mudel, kuid kuna kõik elemendid olid mudeldatud *«generic-model»* all, ei olnud seda mudelit võimalik kasutada ja kõik materjalide kogused arvutati käsitsi. Kuna tegemist oli kortermaja renoveerimisega, siis ei olnud palju ridu, mida arvutada.

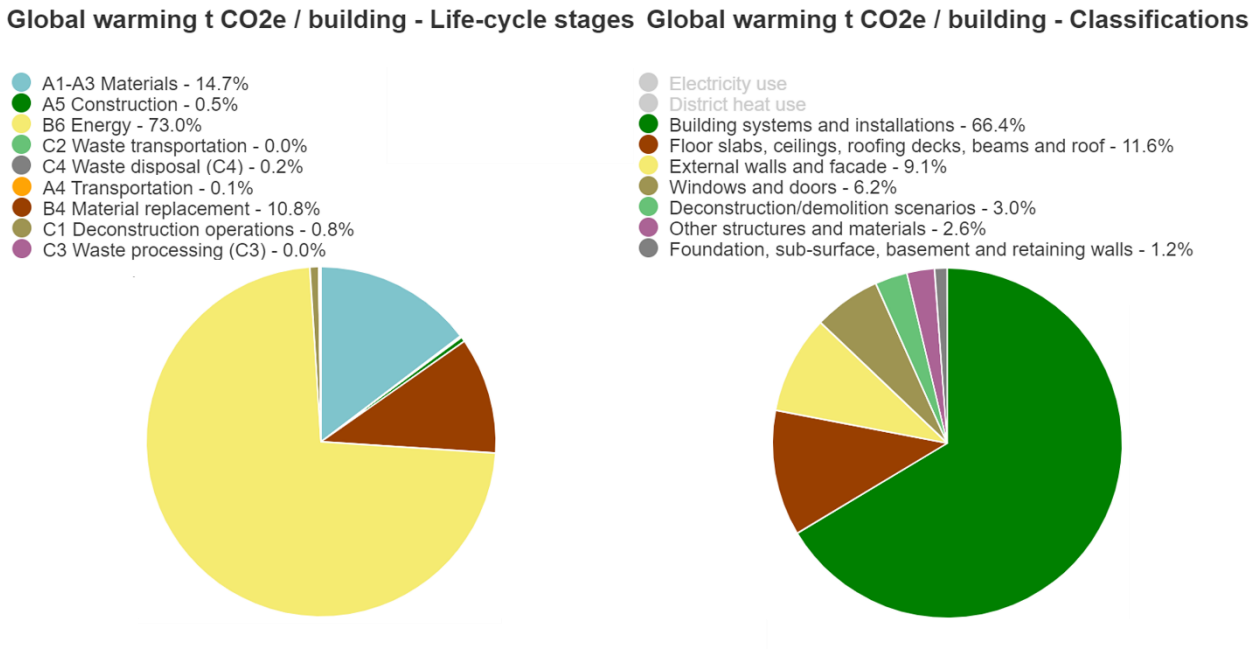
Tulemused

Tabel 12. Kuuma: ehitusmaterjalide ja -toodete süsinikujalajälg elutsükli etapis A1–A3.

Ehitustööd	Süsinikujalajälg C, tCO_2e/hoone	Süsinikuerijalajälg c, $kgCO_2e/(m^2a)$
Vundamendid, alused ja keldriseinad	8.29	0.05
Postid ja kandvad vertikaalsed tarindid	-	-
Põrandaplaadid, vahelaed, talad, katuslaed ja katused	73.88	0.45
Välisseinad ja fassaad	54.78	0.34
Avatäited	45.65	0.28
Vaheseinad ja mittekandvad tarindid	-	-
Muud tarindid	18.1	0.11
Viimistlus- ja kattematerjalid	-	-
Tehnosüsteemid	214.19	1.31
Kokku	414.89	2.55

Tabel 13. Kuuma: kasvuhoonegaaside heitkogused kogu elutsükli jooksul.

Elutsükli etapp	C, tCO_2e/hoone	c, $kgCO_2e/(m^2a)$
A1–A3 Tootmine	415	2.6
A4 Transport ehitusele	4	0.0
A5 Ehitamine	13	0.1
B4 Asendamine	304	1.9
B6 Kasutusaegne energia	2062	12.7
C1–C4 Lõppkäitlus	28	0.2
Kokku (A–C)	**2826**	**17.3**
D Täiendav teave väljaspool elutsüklit	-24	-0.2



Joonis 8. Kuuma hoone elutsükli süsinikujalajälje osakaal hindamismoodulite kaupa (vasakul); Kuuma hoones sisalduva süsiniku mõju iga hooneelemendi kohta (paremal).

2.5 Pärnu büroohoone

Joonis 9. Pärnu avalik hoone.

Põhiteave

Tabel 14. Põhiteave Pärnu büroohoone kohta.

Aadress	Pärnu maakond, Pärnu linn, Tammsaare pst 61, Tammsaare pst 70
Tüüp	Avalik hoone
Arhitekt	Novarc Group AS
Valmimise aasta	2021
Hoone ehitusalune pindala (m²)	4575.7
Korruste arv (maa peal)	4
Korruste arv (maa all)	0
Suletud netopindala (m²)	12 789
Köetav pindala (m³)	11 761.2
Maht (m³)	53 311

Ühine hoonekompleks on mõeldud siseministeeriumi haldusasutuste jaoks. Kompleksi uutes hoonetes Tammsaare pst 61 ja Tammsaare pst 70 kinnistutel asuvad Politsei- ja Piirivalveameti, Päästeameti, Häirekeskuse, Siseministeeriumi infotehnoloogia- ja arenduskeskuse (SMIT) ning Sotsiaalkindlustusameti ohvriabi osakonna ametiruumid ja tööruumid.

Andmete kogumine

Pärnu avalikul hoonel oli üksikasjalik BIM-koondmudel ja detailsed alamudelid. Süsinikujalajälje arvutamiseks kasutati arhitektuuri- ja konstruktiivset BIM-mudelit.

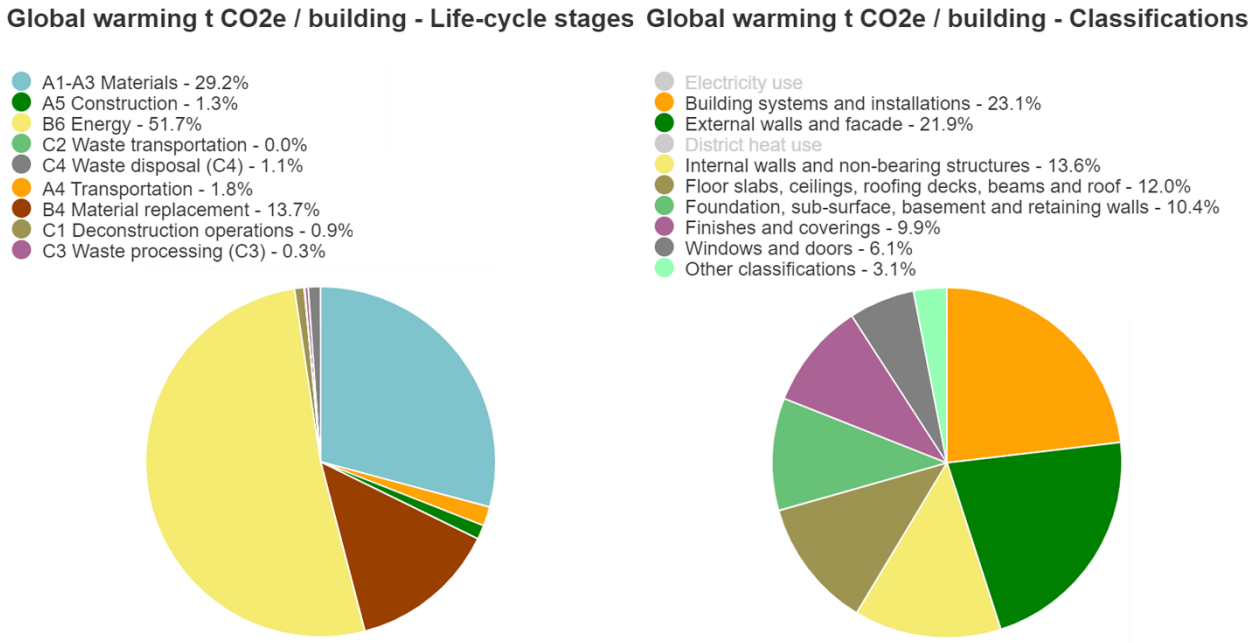
Tulemused

Tabel 15. Pärnu: ehitusmaterjalide ja -toodete süsinikujalajälg elutsükli etapis A1–A3.

Ehitustööd	Süsinikujalajälg C, tCO_2e/hoone	Süsinikuerijalajälg c, $kgCO_2e/(m^2a)$
Vundamendid, alused ja keldriseinad	743.08	1.22
Postid ja kandvad vertikaalsed tarindid	80.2	0.13
Põrandaplaadid, vahelaed, talad, katuslaed ja katused	904.84	1.48
Välisseinad ja fassaad	1044.68	1.71
Avatäited	513.79	0.84
Vaheseinad ja mittekandvad tarindid	1003.65	1.64
Muud tarindid	15.12	0.02
Viimistlus- ja kattematerjalid	356.09	0.58
Tehnosüsteemid	989.45	1.62
Kokku	5650.92	9.25

Tabel 16. Pärnu: elutsükli jooksul tekkivad kasvuhoonegaaside heitkogused.

Elutsükli etapp	C, tCO_2e/hoone	c, $kgCO_2e/(m^2a)$
A1–A3 Tootmine	5651	9.3
A4 Transport ehitusele	346	0.6
A5 Ehitamine	253	0.4
B4 Asendamine	2651	4.3
B6 Kasutusaegne energia	10 012	16.4
C1–C4 Lõppkäitlus	463	0.8
Kokku (A+B+C)	**19 505**	**31.9**
D Täiendav teave väljaspool elutsüklit	-358	-0.6



Joonis 10. Pärnu hoone elutsükli süsinikujalajälje osakaal hindamismoodulite kaupa (vasakul); Pärnu hoones sisalduva süsiniku mõju iga hooneelemendi kohta (paremal).

3. Tulemuste valideerimine

Tabelis 17 on esitatud ülevaade erinevate süsinikujalajälje aruandluskavade/meetodite ulatusest, mis hõlmavad elutsükli etappe.

Tabel 17. Kolme erineva meetodiga hõlmatud moodulid.

Metoodika võrdlus	Moodulid	Level(s)	Vähese süsinikdioksiidiheitega (Soome)	Hoone süs kalk (Eesti)
Üksus		$kgCO_2e$	$kgCO_2e/(m^2a)$	tCO_2e/hoone
Tootmine	A1–A3	✓	✓	✓
Transport ehitusele	A4	✓	✓	✓
Ehitamine	A5	✓	✓	✓
Kasutamine	B1			
Hooldus	B2			
Remont	B3	✓	-	-
Asendamine	B4		✓	✓
Renoveerimine	B5	✓	-	-
Kasutusaegne energia	B6	✓	✓	✓
Kasutusaegne vesi	B7	✓	-	-
Lammutamine	C1		✓	✓
Transport	C2		✓	✓
Jäätmetöötlus	C3		✓	✓
Lõplik kõrvaldamine	C4	✓	✓	✓
Eelised	D	✓	✓	✓

Tabel 18 näitab, et eri meetodite võrdlemisel näitavad juhtumiuuringu arvutustulemused viie projekti puhul väga sarnaseid üldisi tulemusi. See on ootuspärane, sest kõigi meetodite aluseks olev standard on sama, isegi kui üksikasjalikud arvutusreeglid mõnevõrra erinevad.

Tabel 18. Juhtumiuuringu tulemuste võrdlus kolme erineva meetodi vahel.

$CO_2e/(m^2a)$	Level(s)	Vähese süsinikdioksiidiheitega (Soome)	Hoone süs kalk (Eesti)
Maardu	28.0	27.2	26.5
Sõpruse	27.5	26.3	28.2
Mäemaja	22.2	21.7	23.0
Kuuma	17.3	17.2	17.3
Pärnu	30.4	29.9	31.9

Tabelis 19 on esitatud Maardu juhtumiuuringu tulemused iga elutsükli mooduli kohta. Moodulis A1–A3 näitab Eesti meetod veidi suuremat mõju kui Soome või Level(s) meetodid. See on tõenäoliselt tingitud piiratud andmebaasist, mida kasutati käesoleva projekti raames välja töötatud materjali tootmise mõju määratlemiseks (lisa 6). Tõenäoliselt on tulemused sarnasemad, kui Eesti materjalide andmebaas laieneb. A4 mooduli mõju ei hinnata Soome meetodiga, kuna see kasutab vaikimisi väärtust, mida ei ole veel kinnitatud, mistõttu ei ole seda praeguses etapis arvutusvahendisse lisatud. Tulevikus on võimalik A4 mooduli võrdlemine. Võrreldes Level(s) meetodiga on Eesti meetodi mõju A4 puhul palju suurem. See on ootuspärane, kuna kavandatud meetod soovitab kasutada konservatiivseid transpordikaugusi, kui tegelikud andmed puuduvad. Hindamise varajases etapis on õigustatud mõjude mõningane ülehindamine, kuid ka A4 moodulil ei ole proportsionaalselt suuri mõjusid võrreldes teiste moodulitega. A5 mooduli arvutamine Eesti meetodi järgi näitab teiste meetoditega võrreldes väiksemaid mõjusid. See on tõenäoliselt tingitud asjaolust, et teised meetodid hõlmavad ka mõju, mis on seotud energia- ja materjalikuluga kohapeal, samas kui Eesti meetod hõlmab (selles etapis) mõju, mis on seotud materjali raiskamise, selle transpordi ja lõpptöötlemisega. Energia- ja abimaterjalide tarbimisega seotud mõju võib lisada hilisemas etapis, kuid selleks, et määrata kindlaks Eesti keskmine stsenaarium, on vaja täiendavaid uuringuid. B4 mõju on kõigi meetodite puhul üsna sarnane. Väike kõrvalekalle on tõenäoliselt seotud andmebaasi piirangutega. C1–C4 mõju on samuti kõigi meetodite puhul sarnane. Eesti meetod näitab siin veidi väiksemaid mõjusid, mis on tõenäoliselt jällegi seotud andmebaasi piiranguga.

D-mooduli tulemused näitavad, et betoonehitiste puhul on kasu suurem kui puitkonstruktsiooniga hoonete puhul. See on nii järgmistel põhjustel:

- meetod ei hõlma biogeenset süsinikku;

- Eesti materjaliandmebaasi puhul eeldatakse, et vaikimisi ei ole ühegi materjali puhul tegemist ringlussevõetud materjaliga (et hoida eeldus konservatiivsena), seega on metallide (nt armatuuri) ringlussevõtu eelised väga suured;
- puitmaterjali D-moodul arvestab energia taaskasutamise eeliseid.

D-mooduli arvestusmeetodit saab tulevikus kohandada, kui on vajadus täpsemate ja kvaliteetsemate tulemuste järele.

Mida üksikasjalikum mudel, seda lihtsamad olid arvutused. Kuid oluline on meeles pidada, et süsinikujalajälje hinnangulised arvutused tehakse eelprojekti käigus. Lisaks analüüsiti RKAS BIM 2020 nõudeid ja EVS 932 standardit eelprojekteerimise etapis. RKAS BIM 2020 puhul ei ole selles etapis vaja määrata viimistlusmaterjale. EVS 932 standardis on sisearhitektuuri osas vaja kirjeldada hoone põhikontseptsiooni, mitte konkreetseid ruume. Seega ei ole selles etapis täpsustatud, milliseid materjale põrandate, seinte ja lagede puhul kasutatakse.

Tabel 19. Maardu juhtumiuuringu tulemuste võrdlus elutsükli moodulite kaupa.

$kgCO_2e/(m^2a)$	Level(s)	Soome	Eesti
A1–A3	6.4	6.2	6.5
A4	0.1	0.0	0.3
A5	1.7	1.6	0.5
B4	2.8	2.5	2.4
B6	16.3	16.3	16.3
C1–C4	0.8	0.7	0.6

Tabelites 20–24 on näidatud juhtumiuuringute kaupa 20 materjali, mis on moodulites A1–A3 suurimad CO_2e heitkoguste allikad. See annab arvutuste tulemuste hindamiseks vajaliku taustateabe.

Tabel 20. Maardu: 20 materjali, mis põhjustavad kõige rohkem CO_2e heitkoguseid moodulites A1–A3.

MAARDU Nr.	Ressurss	Mõju toormest kliendini (A1–A3) tCO_2e	% toormest kliendini (A1–A3)
1.	Ehitusteenused, õppehooned (väärtus m² kohta)	68	18.9 %
2.	Kivivill	43	11.9 %
3.	Valmisbetoon, C30/37	38	10.7 %
4.	Konstruktsiooniteras	35	9.8 %
5.	XPS-isolatsioon	29	8.0 %
6.	Saematerjal	23	6.5 %
7.	Aken, puit-alumiinium, kolmekordse klaaspaketiga	23	6.5 %
8.	Kiudplaat	20	5.6 %
9.	Valmisbetoon, C25/30 ja alla selle	18	5.0 %
10.	Kipsplaat	17	4.7 %
11.	Tugevdusteras	16	4.4 %
12.	Värv	8.1	2.3 %
13.	Uks, välisuks, klaasist, alumiiniumraamiga	8	2.2 %
14.	Keraamilised põrandaplaadid	5	1.4 %
15.	Bituumenist hüdroisolatsioonimembraan	3.5	1.0 %
16.	PIR-isolatsioon	1.9	0.5 %
17.	Lamineeritud spoonist saematerjal	0.97	0.3 %
18.	Valuklaas	0.54	0.2 %
19.	Põrandakate, parkett	0.75	0.2 %
20.	Uks, siseruumides asuv uks	0.1	0.0 %

Tabel 21. Sõpruse: 20 materjali, mis põhjustavad kõige rohkem CO_2e heitkoguseid moodulites A1–A3.

Nr.	Ressurss	Mõju toormest kliendini (A1–A3) tCO_2e	% toormest kliendini (A1–A3)
1.	Tugevdusteras	740	25.5 %
2.	Valmisbetoon, C40/50	420	14.5 %
3.	Valmisbetoon, C25/30 ja alla selle	350	12.1 %
4.	Ehitusteenused, korterelamu (väärtus m² kohta)	290	9.8 %
5.	Konstruktsiooniteras	250	8.7 %
6.	Valmisbetoon, C30/37	200	6.8 %
7.	Muud raudbetoonist monteeritavad tooted	150	5.0 %
8.	Aken, puit-alumiinium, kolmekordse klaaspaketiga	140	4.9 %
9.	Päikesepaneel, monokristalliline	87	3.0 %
10.	Klaas-alumiinium fassaad, kolmekordse klaasiga	49	1.7 %
11.	Klaasvill	47	1.6 %
12.	EPS-isolatsioon	40	1.4 %
13.	Keraamilised põrandaplaadid	35	1.2 %
14.	Põrandakate, parkett	31	1.1 %
15.	Värv	14	0.5 %
16.	Uks, välisuks, klaasist, alumiiniumraamiga	15	0.5 %
17.	Uks, metallist, tulekindlad	11	0.4 %
18.	Uks, siseruumides asuv uks	11	0.4 %
19.	Bituumenist hüdroisolatsioonimembraan	9.9	0.3 %
20.	Kipsplaat	9.8	0.3 %

Tabel 22. Mäemaja: 20 materjali, mis põhjustavad kõige rohkem CO_2e heitkoguseid moodulites A1–A3.

MÄEMAJA

Nr.	Ressurss	Mõju toormest kliendini (A1–A3) tCO_2e	% toormest kliendini (A1–A3)
1.	Ehitusteenused, õppehoone (väärtus m^2 kohta)	250	20.8 %
2.	Valmisbetoon, C30/37	130	10.5 %
3.	Valmisbetoon, siseseinte element	99	8.3 %
4.	Ristkihtpuit	85	7.1 %
5.	Tugevdusteras	80	6.7 %
6.	Konstruktsiooniteras	79	6.7 %
7.	Valmisbetoon, õõnespaneelid	75	6.3 %
8.	Alumiiniumprofiilid või -plaadid	51	4.3 %
9.	Klaasvill	50	4.2 %
10.	Lamineeritud spoonist saematerjal	42	3.5 %
11.	Valmisbetoon, C40/50	36	3.1 %
12.	Valmisbetoon, C25/30 ja alla selle	36	3.0 %
13.	EPS-isolatsioon	34	2.8 %
14.	Kiudplaat	22	1.8 %
15.	Kipsplaat	22	1.8 %
16.	Valuklaas	14	1.2 %
17.	Põrandakate, polüamiidist tekstiil	14	1.2 %
18.	Kivivill	13	1.1 %
19.	Uks, metallist, tulekindlad	11	1.0 %
20.	Aken, puit-alumiinium, kolmekordse klaaspaketiga	11	0.9 %

Tabel 23. Kuuma: 20 materjali, mis põhjustavad kõige rohkem CO_2e heitkoguseid moodulites A1–A3.

KUUMA

Nr.	Ressurss	Mõju toormest kliendini (A1–A3) tCO_2e	% toormest kliendini (A1–A3)
1.	Ehitusteenused, korterelamu (väärtus m^2 kohta)	140	33.0 %
2.	Päikesepaneel, monokristalliline	77	18.6 %
3.	Klaasvill	71	17.2 %
4.	Aken, puit-alumiinium, kolmekordse klaaspaketiga	45	10.9 %
5.	Konstruktsiooniteras	31	7.5 %
6.	Kivivill	30	7.1 %
7.	EPS-isolatsioon	8.3	2.0 %
8.	Kipsplaat	4.2	1.0 %
9.	Saematerjal	3.8	0.9 %
10.	Looduslikud kiviplaadid	3.8	0.9 %
11.	Bituumenist hüdroisolatsioonimembraan	2.7	0.6 %
12.	Uks, välisuks, puidust, puitkarkassiga	0.54	0.1 %
13.	XPS-isolatsioon	0.04	0.0 %
14.	Valmisbetoon, õõnespaneelid	0.08	0.0 %

Tabel 24. Pärnu: 20 materjali, mis põhjustavad kõige rohkem CO_2e heitkoguseid moodulites A1–A3.

PÄRNU

Ei.	Ressurss	Mõju toormest kliendini (A1–A3) tCO_2e	% toormest kliendini (A1–A3)
1.	Valmisbetoon, õõnespaneelid	180	21.3 %
2.	Konstruktsiooniteras	160	16.3 %
3.	Ehitusteenused, büroo (väärtus m^2 kohta)	160	14.3 %
4.	Valmisbetoon, C25/30 ja alla selle	140	7.8 %
5.	Valmisbetoon, C60/75 ja üle selle	130	6.3 %
6.	Valmisbetoon, siseseinte element	120	6.0 %
7.	Värv	110	5.2 %
8.	Päikesepaneel, monokristalliline	70	3.2 %
9.	Kipsplaat	51	2.8 %
10.	Aken, puit-alumiinium, kolmekordse klaaspaketiga	40	2.8 %
11.	Põrandakate, parkett	29	2.5 %
12.	Alumiiniumprofiilid või -plaadid	30	2.4 %
13.	Klaasvill	23	2.1 %
14.	Klaas-alumiinium fassaad, kolmekordse klaasiga	180	2.0 %
15.	Uks, välisuks, klaasist, alumiiniumraamiga	160	1.2 %
16.	EPS-isolatsioon	160	0.9 %
17.	Portlandtsement, üldine, CEM I	140	0.7 %
18.	Savitellised	130	0.5 %
19.	Keraamilised põrandaplaadid	120	0.5 %
20.	Uks, metallist, tulekindel	110	0.4 %