

ASUMISEN RAHOITUS- JA KEHITTÄMISKESKUKSEN RAPORTEJA
08 | 2018

Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pientäminen kustannustehokkaasti vuokratalokohteessa

Riina Ahola ja Kimmo Liljeström



TIIVISTELMÄ

Julkaisija	ARA
Tekijät	Riina Ahola ja Kimmo Liljeström
Julkaisun nimi	Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti vuokratalokohteessa
Asiasanat	Hiilijalanjälki, kasvihuonekaasupäästöt, rakentaminen, kustannustehokkuus, elinkaarikustannukset
Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Joutsenmerkkiä tavoittelevan vuokrakerrostalo VAV Kaskelantie 1:n elinkaaren hiilijalanjäljen taso yhdessä kolmen muun VAV:n vuokrakerrostalon hiilijalanjälkien kanssa ja selvittää kohteiden hiilijalanjälkiä vertailemalla millaisin keinoin hiilijalanjälkeä voitaisiin pienentää tulevilla vuokratalokohteissa mahdollisimman pienellä kustannuksella mahdollisimman suuren kasvihuonekaasupäästövähennyksen saavuttamiseksi. Hiilijalanjälkilaskennan tulosten perusteella tarkemmalla tasolla tarkasteltiin muun muassa kohteissa esiintyviä ulkoseinätyyppejä, yläpohjatyyppejä sekä maalämmön käyttöä energialähteenä kaukolämmön sijaan. Lisäksi tarkasteltiin muutamien energiatehokkuutta parantavien vaihtoehtojen suunnitteluratkaisujen vaikutusta esimerkkikohteen E₂₀₁₈-lukuun, lasketun ostoenergian määrään sekä kasvihuonekaasupäästöihin. Näitä olivat tarpeenmukaisen huoneistokohtaisen ilmanvaihdon ohjauksen lisääminen, lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen, ikkunan U-arvon, yläpohjan U-arvon, ulkoseinän U-arvon, alapohjan U-arvon ja ilmatiiveyden parantaminen sekä hajautettu huoneistokohtainen ilmanvaihto keskitetyn ilmanvaihdon sijaan. Tulosten perusteella suurin potentiaali päästövähennykselle löytyi maalämmön suosimisesta kaukolämmön sijaan. Edullisin hinta tonnin kasvihuonekaasupäästövähennykselle oli ilmanvaihdon toteuttamisella keskitetyn sijaan hajautettuna. Myös huoneistokohtaisella ilmanvaihdon ohjausmahdollisuudella ja LTO-vuosihyötysuhteen parantamisella voidaan saada huomattavat vähennykset rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen ja ratkaisut maksavat itsensä takaisin rakennuksen käytön aikana. Materiaalivalinnoissa tulosten perusteella kannattaa huomioida etenkin ulkoseinärakenteiden kasvihuonekaasupäästöt päätettäessä kohteeseen soveltuvaa seinäratkaisua. Sekä tutkimuskohteissa esiintyvissä kantavissa- että ei-kantavissa ulkoseinätyypeissä pienempipäästöiset seinärakenteet olivat myös investointikustannuksiltaan edullisimpia, jolloin päästövähennys olisi investointikustannusten osalta ilmaista. Yksittäisten ratkaisujen muutoksilla saatavat vähennykset rakennuksen elinkaaren aikaisiin päästöihin ovat pienehköjä, mutta useampien muutosten yhteisvaikutuksella saadaan aikaan näkyviä muutoksia. Pelkillä tuote- tai materiaalivalinnoilla ei vielä saavuteta kovinkaan suuria säästöjä. Oleellista on pyrkiä minimoimaan materiaalin määrää huomioimalla materiaalitehokkuus suunnittelussa ja rakentamisessa niin luonnonvarojen säästämisen kuin kasvihuonekaasupäästöjen minimoimisenkin näkökulmasta.	

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	2
SISÄLLYSLUETTELO	3
1 JOHDANTO	4
1.1 Tutkimuksen tausta	4
1.2 Tutkimuksen tavoitteet.....	5
2 LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT, RAJAUKSET JA OLETUKSET	7
2.1 Käytetyt lähtötiedot	7
2.2 Elinkaaren vaiheet, oletukset ja rajaukset	8
2.3 Kohde-esittelyt.....	12
3 KOHTEIDEN ELINKAAREN HIILIJALANJÄLJET JA RATKAISUJEN VERTAILU	20
3.1 Rakennusten elinkaaren hiilijalanjälki	20
3.2 Energian käyttövaiheen kasvihuonekaasupäästöt	24
3.3 Rakennusmateriaalien kasvihuonekaasupäästöt	26
3.4 Rakentamisvaiheen kasvihuonekaasupäästöt	35
3.5 Laskentatulosten tarkkuus	38
3.6 Aukkaan hiilijalanjälki	39
4 KEINOT JA KUSTANNUKSET HIILIJALANJÄLJEN PIENENTÄMISESSÄ	41
4.1 Ratkaisujen optimointi.....	41
4.2 Materiaalitehokkuus.....	59
4.3 Toimenpiteet rakennushankkeen eri vaiheissa	60
4.4 Hiilineutraali rakentaminen.....	62
5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	64
5.1 Tutkimuskohteiden elinkaaren hiilijalanjäljet	64
5.2 Tutkimuskohteiden hiilijalanjälkiin vaikuttaneet ratkaisut	65
5.3 Kustannustehokkaimmat keinot hiilijalanjäljen pienentämiseksi	66
5.4 Tavoitetaso kohtuuhintaisen vuokratalotutannon hiilijalanjäljelle	70
LÄHDELUETTELO	72

1 JOHDANTO

Yksittäisen rakennuksen vaikutusta ilmaston lämpenemiseen kuvaa sen elinkaaren hiilijalanjälki, joka kertoo, paljonko kasvihuonekaasupäästöjä rakennus vapauttaa elinkaarensa aikana ilmakehään. Rakennetulla ympäristöllä on suuri rooli ilmastomuutoksen hillinnässä, sillä rakentaminen ja kiinteistöjen ylläpito kuluttavat suuren osan energiasta ja luonnonvaroista maailmassa. Suomessa rakennettu ympäristö aiheuttaa kolmanneksen kasvihuonekaasupäästöistä (Ympäristöministeriö 2017).

1.1 Tutkimuksen tausta

Rakennuksen hiilijalanjälki muodostuu rakennuksen energiatehokkuudesta, tuotetun energian kasvihuonekaasupäästöistä ja rakennusmateriaalien hiilijalanjäljestä. Suurimman osan rakennusten ja rakentamisen kasvihuonekaasupäästöistä synnyttää rakennuksen energiakulutus. Usein rakennusten käyttämä energia on peräisin fossiilisista polttoaineista ja siksi rakentamisessa on ollut tarpeen siirtyä kohti nollaenergiarakentamista ja käyttää enenevässä määrin uusiutuvia energialähteitä. Perinteisesti isoin osa rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä on syntynyt käytönajan energiankäytöstä. Energiatehokkuuden parantumisen ja energiajärjestelmien päästöjen alenemisen myötä rakennusmateriaalien suhteellinen osuus päästöistä kuitenkin kasvaa. Rakentamisen ympäristöohjausta laajennetaan Suomessakin energiatehokkuuden parantamisesta ja käytönaikaisten päästöjen vähentämisestä rakennusmateriaalien valmistukseen, rakentamiseen, rakennusjätteen synnyn ehkäisyyn ja kierrätykseen.

Ympäristöministeriö on teettänyt tiekartan (Bionova 2017), jossa on kuvattu ehdotettu prosessi, jonka mukaisesti Suomessa voitaisiin ottaa käyttöön rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen sääntely ja huomioida rakennusmateriaalien hiilijalanjälki rakentamisen ohjauksessa 2020-luvun puoliväliin mennessä. Prosessi voisi alkaa vapaaehtoisella pilotoinnilla ja johtaa hiilijalanjäljelle asetettuihin raja-arvoihin vuoteen 2025 mennessä. Kerrostaloille hiilijalanjäljen ilmoitusvelvollisuus voisi laaditun tiekarttaehdotuksen mukaan tulla jo 2020-luvun alkupuolella.

Ympäristöministeriö on jo laatinut vapaaehtoiset suositukset ympäristöhaittojen vähentämiseen ja kestäväen kehityksen periaatteiden huomioimiseen julkisille rakennushankkeille Suomessa. Suositukset on julkaistu oppaissa ”Vihreän julkisen rakentamisen hankintaopas” ja ”Vähähiilisen rakentamisen hankintakriteerit”. Lisäksi käynnissä on kokeiluprojekti, jossa valitaan vähähiilisyyslaskennan kohteeksi erilaisia rakennushankkeita. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA) vastaa keskeisesti valtion asuntopolitiikan toimeenpanosta. ARA on vuosien varrella ollut mukana erilaisissa asumisen energiatehokkuuteen ja vähähiilisyyteen liittyvissä hankkeissa ja osallistuu nyt Ympäristöministeriön kokeiluprojektiin omalla kehittämishankkeellaan laskemalla uudisrakennushankkeidensa elinkaaren hiilijalanjälkiä.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Rakennuksen energiankulutuksen jälkeen suurin hiilijalanjäljen pienentämispotentiaali on rakennusmateriaaleissa. Energiatehokkuuden ja energiamuodon valinnan lisäksi on alettava kiinnittää enemmän huomiota myös rakennusmateriaalivalintoihin ja pyrittävä käyttämään vähähiilisempiä tuotteita. Ratkaisuvaihtojen vaikutukset elinkaaren hiilijalanjälkeen eivät kuitenkaan ole yksiselitteisiä. Ratkaisu, jolla on suurempi hiilijalanjälki tuotenvaiheessa voi materiaalien pitkäaikaiskestävyyden tai energiankulutuksen pienentymisen kautta vaikuttaa suotuisasti rakennuksen koko elinkaaren hiilijalanjälkeen tai päinvastoin.

VAV Asunnot ja NCC ovat toteuttamassa Vantaalle ARA-rahoitteista vuokratalokohdetta VAV Kaskelantie 1. Kohteelle haetaan ympäristömerkintänä pohjoismaista ympäristömerkkiä Joutsenmerkkiä. Tässä tutkimuksessa päätavoitteena on selvittää Kaskelantie 1:n elinkaaren hiilijalanjäljen taso yhdessä kolmen muun vuokrakerrostalon hiilijalanjälkien kanssa.

Toisena tavoitteena on selvittää, millaisin keinoin hiilijalanjälkeä voitaisiin pienentää tulevaisuuden vuokratalokohteissa kustannustehokkaimmin. Kustannustehokkuudella tarkoitetaan tässä mahdollisimman pientä kustannusta mahdollisimman suuren kasvihuonekaasupäästövähennyksen saavuttamiseksi. Investointi- ja käyttökustannusten vaikuttaessa vuokratalon vuokratasoon on kustannuksia tarkasteltava sekä investointi- että elinkaarinäkökulmasta.

Muut laskettavat kohteet Kaskelantie 1:n lisäksi ovat aiempia ARA-rahoitteisia VAV Asuntojen ja NCC:n Vantaalle toteuttamia vuokrakerrostaloja: VAV Lipputie 14, VAV Marsinkuja 1 ja VAV Loiskekuja 1. Myös vertailukohde VAV Lipputie 14:ssä eli Opaalissa ympäristöasioihin on kiinnitetty erityistä huomiota. Opaali-talo on luonnonvaratasapainoinen kerrostalo, jossa pyrittiin säästämään luonnonvaroja ja pienentämään rakentamisen hiilijalanjälkeä hyödyntämällä kierrätys- ja uusiomateriaaleja ja materiaalitehokkaita ratkaisuja. VAV Marsinkuja 1 ja VAV Loiskekuja 1 taas ovat tavanomaisin ratkaisuin toteutettuja kohteita.

Tutkimuksen tavoitteista voidaan johtaa seuraavat tutkimuskysymykset:

- 1) Mitkä ovat tutkimuskohteiden elinkaaren hiilijalanjäljet?
- 2) Mistä mahdolliset erot kohteiden hiilijalanjäljissä johtuvat?
- 3) Millaisin keinoin asuinkerrostalon hiilijalanjälkeä voitaisiin pienentää ja millaisia kustannuksia tästä aiheutuisi?

Tutkimuksen tuloksena syntyvät tutkimuskohteina toimivien Kaskelantie 1:n, Lipputie 14:n, Marsinkuja 1:n ja Loiskekuja 1:n hiilijalanjäljet, hiilijalanjälkien vertailutieto sekä tietoa siitä, miten ratkaisuja voitaisiin lähteä tavoitteesta riippuen parantamaan ja mitä hiilijalanjäljen tasoa kohtuuhintaisessa vuokratalotuotannossa voitaisiin tällä hetkellä tavoitella ilman, että asumisen kustannukset asukkaalle nousisivat merkittävästi.

2 LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT, RAJAUKSET JA OLETUKSET

Tässä luvussa esitellään käytetyt lähtötiedot, laskentaan sisällytetyt elinkaaren vaiheet, tehdyt oletukset ja rajaukset sekä tutkimuskohteet.

2.1 Käytetyt lähtötiedot

Tutkimuskohteiden hiilijalanjälkien laskennassa on pyritty mahdollisuuksien mukaan käyttämään samantasoisia lähtötietoja samoin rajauksin vertailun mahdollistamiseksi, jotta on voitu tasapuolisesti tarkastella, mitkä ratkaisut ovat tutkittavissa kohteissa vaikuttaneet hiilijalanjälkeen eniten ja mistä mahdolliset erot syntyvät.

Laskettujen kohteiden osalta lähtötietona on käytetty urakoitsijan NCC Suomi Oy:n kautta saatuja suunnitelmia. Taulukossa 1 on esitetty käytetyt lähtötiedot kohteittain.

Taulukko 1: Käytetyt lähtötiedot kohteittain

KÄYTETYT LÄHTÖTIEDOT	VAV Kaskelantie 1	VAV Lipputie 14	VAV Marsinkuja 1	VAV Loiskekuja 1
Rakennusselostus	Kanttia 2, 30.12.2016	Optiplan, 7.2.2014	Projekt Kuubis, 18.1.2016	Arkkitehtitoimisto HML, 28.10.2014
LVI-työselostus	Optiplan, 18.11.2016	Optiplan, 29.11.2013	Teknoplan, 27.2.2015	Arkins Suunnittelu, 28.10.2014
Arkkitehtimalli	Kanttia 2, 6.3.2017	Optiplan, 9.6.2014	Projekt Kuubis, 10.4.2015	Arkkitehtitoimisto HML, 9.4.2015
Julkisivut	Kanttia 2, 22.6.2017	Optiplan, 27.3.2014	Projekt Kuubis, 24.8.2015	Arkkitehtitoimisto HML, 17.6.2016
Rakennetyypit	A-insinöörit 27.1.2017	Optiplan, 5.11.2014	Projekt Kuubis, 5.12.2016	Finnmap Consulting, 17.6.2016
Energiatodistus	Optiplan, 17.8.2018	Optiplan, 3.6.2015	Insinööritoimisto Teknoplan, 9.2.2017	Arkins Suunnittelu, 1.7.2016
Panoslistat laskentakäyttöön	NCC Building 28.2.2018	NCC Building 28.2.2018	NCC Building 28.2.2018	NCC Building 28.2.2018

Tutkimuskohteiden hiilijalanjäljet on laskettu One Click LCA -laskentaohjelmaa hyödyntäen. One Click LCA on selainpohjainen ympäristö- ja elinkaariarvioinnin pilvipalvelu, jonka kolmas osapuoli on verifioinut standardin EN15978 mukaiseksi. Se sisältää rakennustuotteiden ja -materiaalien ympäristövaikutusprofiileja Suomesta, Pohjoismaista ja Euroopasta. Työkalun materiaalitietokannan päästötiedot perustuvat standardin EN-15804 mukaisiin ympäristöselosteisiin.

Tietokanta sisältää Suomen keskimääräisen kansallisen sähköverkon ja kaukolämpöverkkojen päästöt, joten laskennassa on voitu käyttää Suomen keskimääräistä päästötietoa sähkönkulutukselle ja Vantaan Energian päästötietoja kaukolämmön kulutukselle. Energian päästöt on laskettu rakennuksen koko elinkaarelle laskentahetkellä julkaistuilla energian päästökertoimilla. Laskennassa on käytetty laskentatyökalussa saatavilla olleita uusimpia vuoden 2016 päästökertoimia. Energiankulutuksen päästöjen on siis oletettu pysyvän samana koko rakennuksen elinkaaren ajan, vaikka todellisuudessa päästökertoimet muuttuvat energiantuotantomuotojen kehittyessä.

Tavoite-energialaskelmia ei kaikille kohteille ollut saatavilla, joten lähtötietona energiankulutuksen osalta on käytetty kohteiden laskennallisia ostoenergiämääriä kohteiden käyttöönottovaiheiden energiatodistuksista. Luvut eivät kuvaa rakennusten todellista energiankulutusta, mutta mahdollistavat kohteiden vertailtavuuden myös energiankulutuksen päästöjen osalta.

2.2 Elinkaaren vaiheet, oletukset ja rajaukset

Hiilijalanjäkilaskenta on tehty 60 vuoden tarkastelujaksolle Level(s)-järjestelmän ohjeiden mukaisesti (European Commission 2018). Laskennassa on huomioitu kuitenkin kaikki elinkaaren vaiheet Elinkaarimittareiden laskentaohjeen (FIGBC 2013) mukaan, jolloin mukana on myös Level(s)-laskennasta poisjätettävä elinkaaren vaihe B7 veden kulutus. Taulukossa 2 on esitetty laskentaan sisällytetyt elinkaaren vaiheet ja näiden suhteen laskennassa tehdyt rajaukset tai käytetyt oletukset.

Taulukko 2: Elinkaaren eri vaiheet ja laskennassa huomioitu sisältö sekä tehdyt rajaukset ja oletukset

Vaihe		Sisältö
A1-A3	Tuotevaihe	Rakennustuotteiden koko valmistusketjun päästöt. Rakennusmateriaalien määrät saatavilla olevien lähtötietojen mukaan. Tuotetason valintoja pyritty huomioimaan mahdollisuuksien mukaan.
A4	Kuljetukset työmaalle	Rakennustuotteiden ja koneiden kuljetuksista aiheutuvat päästöt. Käytetty laskentaohjelmassa Pohjoismaille määritettyjä oletuksia kuljetusetäisyyksien ja -tapojen osalta.
A5	Työmaatoiminnot	Työmaan toiminnot, sisältäen työmaan energian- ja vedenkulutukset sekä jätehuollon. Sähkönkulutustiedot ja jätemäärät toteuman mukaan valmistuneissa kohteissa. Kaskelantie 1:n osalta toteutuman mukaan huhtikuu 2018 loppuun saakka ja ennustettu työmaan loppuun.
B1-B5	Käyttö, kunnossapito, korjaus, osien vaihto ja laajamittaiset korjaukset	Materiaalien ylläpidon ja uusimisen päästöt. Käytetty laskentaohjelma laskee B1-B5 vaiheen päästöt syötettyjen materiaalitietojen perusteella. Rakennusmateriaalien käyttökinä on käytetty laskentatyökalun oletusarvoisia käyttöikiä eri tuotteille ja materiaaleille.
B6	Energian käyttö	Rakennuksen kuluttaman energian päästöt. Laskettu Energiatodistuksen laskennallisen ostoenergiamäärän mukaan. Ei sisällä kuluttajalaitteiden sähkönkulutusta. Energiaratkaisujen on oletettu pysyvän samana koko elinkaaren ajan. Päästökertoimet vuoden 2016 profiilien mukaisesti. Päästökertoimien kehittymistä ei ole huomioitu.

Vaihe		Sisältö
B7	Veden käyttö	Puhtaan veden tuotanto ja jäteveden käsittelyn päästöt rakennuksen käytön ajalta. Koska parempaa tietoa ei ollut saatavilla, laskettu energiatodistuksessa esitetyn lämpimän käyttöveden ominaiskulutuksen perusteella suhteella lämmin 40 %, kylmä 60 %.
C1-C4	Purkaminen, purkuvaiheen kuljetukset, purkujätteen käsittely ja purkujätteen loppusijoitus	Purkamisen ja jätteiden käsittelyn päästöt. Käytetty laskentaohjelma laskee C1-C4 vaiheen päästöt syötettyjen lähtötietojen perusteella.
D	Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset	Sisältää kierrätyskelpoisesta jätteestä saatavat hyödyt. Käytetty laskentaohjelma laskee D vaiheen päästöt syötettyjen lähtötietojen perusteella.

Tuloksissa rakennuksen materiaalit on tuotevaiheen osalta jaoteltu ryhmiin perustukset, ulkoseinät ja julkisivut, pilarit ja pylväät, väliseinät, vaakarakenteet, muut materiaalit, ikkunat ja ovet, pintamateriaalit, ulkoalueet ja talotekniikka. Taulukossa 3 on eritelty tarkemmalla tasolla, mitä laskentaan on kuhunkin osioon sisällytetty ja mitä rajattu laskennan ulkopuolelle. Lisäksi taulukossa on kerrottu, mitä on käytetty lähtötietona kunkin osion massojen muodostamisessa.

Taulukko 3: Laskentaan sisällytetyt materiaalit

Laskentaan sisällytetyt materiaalit	Sisältö	Lähde ja rajaukset
Perustukset	Paalutus	Panosluettelon mukaan
	Anturat	Tietomallin tai panosluettelon mukaan
Ulkoseinät ja julkisivut	Sokkelit	Tietomallin ja rakennetyyppikuvien mukaan. Sokkelit ja ulkoseinät on laskennassa yhdistetty. Betoneiden lujuudet piirustuksista.
	Ulkoseinät	
	Julkisivun pintamateriaalit	Tietomallin mukaan tai tarvittaessa laskettu piirustuksista
Pilarit ja pylväät	Pilarit ja muut pystysuorat pylväsmäiset rakenteet	Tietomallin mukaan
Väliseinät	Kantavat väliseinät	Tietomallin mukaan tai laskettu piirustuksista. Kantavia ja kevyitä väliseiniä ei ole laskennassa erotettu toisistaan.
	Kevyet väliseinät	
Vaakarakenteet	Alapohjat	Tietomallin ja rakennetyyppiluettelon mukaan
	Välipohjat	Tietomallin ja rakennetyyppiluettelon mukaan
	Yläpohjat	Tietomallin ja rakennetyyppiluettelon mukaan
	Vesikattorakenteet	Tietomallin ja rakennetyyppiluettelon mukaan
Muut materiaalit	Portaat	Tietomallin mukaan
	Kaiteet	Tietomallin mukaan
Ikkunat ja ovet	Ikkunat	Tietomallin ja rakennusluettelon mukaan
	Sisäovet	Tietomallin tai ovikaavioiden mukaan
	Ulko-ovet	Tietomallin tai ovikaavioiden mukaan
Pintamateriaalit	Lattianpäällysteet	Rakennusluettelon mukaan laskettu piirustuksista
	Alakatot	Tietomallin tai rakennusluettelon mukaan
	Listat	Puulistat huomioitu panosluettelon mukaan, muut arvioitu vähäiseksi
	Maalit	Sisäseinäpinnoille laskettu maalaus, ulkomaalit panosluettelon mukaan
Ulkoalueet	Maamassat	Sis. kaikki panosluettelossa esitetyt maamassat määrineen
	Asfaltti	Panosluettelon mukaan
	Betonikiveykset	Panosluettelon mukaan
Talotekniikka	Hissit	Hissit piirustusten mukaan
	Ilmanvaihto	IV-järjestelmän putket laskentaohjelman oletuksella pinta-alapohjaisena
	Sähkö	Sähkökaapeloinnit laskentaohjelman oletuksella pinta-alapohjaisena
	Lämmitys	Lämmitysjärjestelmän putket laskentaohjelman oletuksella pinta-alapohjaisena
	Viemäri	Viemäriputket laskentaohjelman oletuksella pinta-alapohjaisena
	Vesi	Vesiputket laskentaohjelman oletuksella pinta-alapohjaisena

Rakennuksen vaipalla on energiatehokkuuden lisäksi monia muita tehtäviä ja asioita, joihin se vaikuttaa. Tällaisia ovat esimerkiksi palontorjunta, turvallisuusasiat, ilmanpitävyys, ääneneristävyys ja säänsuojaus. Ratkaisujen vaikutuksia näihin ei

huomioida tässä tutkimuksessa, vaan tutkimuksessa tarkastellaan ainoastaan rakennuksen energiankulutusta, kasvihuonekaasupäästöjä ja kustannusvaikutuksia.

Osa tutkituista kohteista koostuu useammasta erillisestä talosta. Erillisten talojen hiilijalanjäljet on laskettu yhteen ja tarkasteltu kohteita yhtenä suurempana kokonaisuutena. Tulokset esitetään pinta-alaperusteisena.

Energiankulutuksen päästöjen on oletettu pysyvän samana koko rakennuksen elinkaaren ajan, vaikka todellisuudessa päästökertoimet muuttuvat energiantuotantomuotojen kehittyessä.

Elinkaarikustannuslaskelmissa laskentakorkona on käytetty 4 %, energian hinnan nousuna 2 % ja inflaationa 0 %.

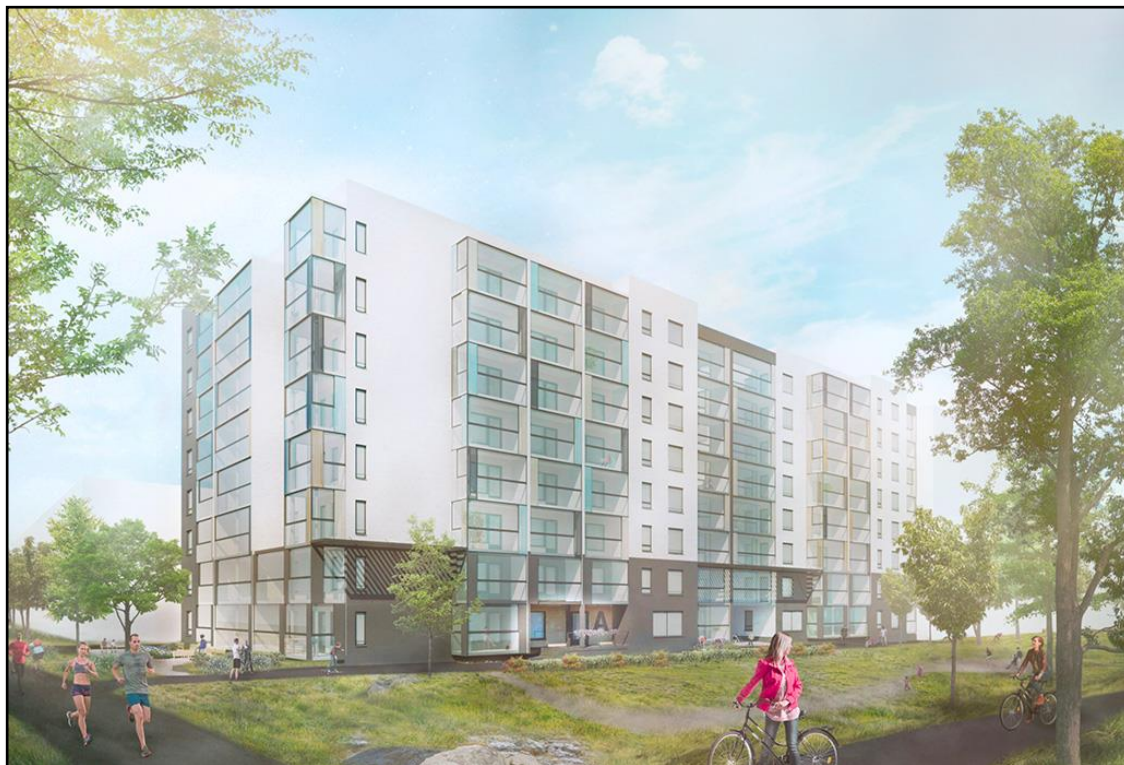
Työn tuloksissa kasvihuonekaasupäästöt esitetään hiilidioksidiekvivalenttina, joka sisältää hiilidioksidipäästöjen lisäksi myös muiden kasvihuonekaasujen ilmastovaikutuksen.

2.3 Kohde-esittelyt

Kaikki tutkimuksen kohteet ovat VAV Asuntojen rakennuttamia ja edustavat ARA-rahoitteista kohtuuhintaista vuokratalotuontoa. Kohteiden pääurakoitsijana on toiminut NCC Suomi Oy.

VAV Kaskelantie 1

VAV Asuntojen Asunto Oy Vantaan Joutsenmerkki valmistuu Vantaan Kaskelantielle 2018. Kohde koostuu kahdesta kahdeksankerroksisesta talosta, jotka on sidottu toisiinsa talojen välisen parvekelinjan kautta kuvan 1 mukaisesti. Kohteessa on yhteensä 127 huoneistoa. Kohteen huoneistoala on 5 831,6 m², kokonaisala 8 830 m² ja tilavuus 28 250 m³. Tontin pinta-ala on 2 726 m².



Kuva 1: VAV Kaskelantie 1

Kohde tavoittelee ympäristömerkki Joutsenmerkkiä. Joutsenmerkin kriteereillä on joitain suoria ja epäsuoria vaikutuksia ilmastoon ja sitä kautta rakennuksen hiilijalanjälkeen. Joutsenmerkin kriteereiden kautta kohteen energiatehokkuus on lainsäädäntöä tiukempi, valaistuksen tarveohjaus pienentää sähkönkulutusta ja rakennustyömaalla on tavoitteena, että jätteestä yli 70 % menee uusiokäyttöön tai materiaalikiertäykseen. Joutsenmerkkikriteerien mukaisesti kohteen ikkunoissa ja ulko-ovissa vähintään 40 % niiden sisältämästä alumiinista, 30 % PVC-materiaalista ja 20 % teräksestä on oltava kierrätettyä.

Rakennus on perustettu teräsbetonipaaluille ja anturat ovat teräsbetonianturoita. Alapohja on paikalla valettu ja maanvastainen. Väli- ja yläpohjat ovat ontelolaattaelementtejä ja porrashuoneiden kerrostasot massiivilaattaelementtejä. Kantavat väliseinät ja pilarit ovat teräsbetonielementtejä. Kevyet väliseinät ovat pääosin betonielementtejä tai metallirankarunkoisia kipsilevyseiniä. Alakatot ovat pääosin kipsi- tai akustiikkalevyalakattoja. Lattiapäällysteet ovat asunnoissa pääosin laminaattia, yhteistiloissa lattialaattaa ja teknisissä tiloissa muovimattoja.

Rakennuksen julkisivut ovat etelä- ja länsisivuilla 1. ja 2. kerroksen osalta maalattuja betonipintaisia sandwich-elementtejä. Länsisivu ja pohjoispäädyt sekä osittain eteläsivu ovat hienopestyä betonisandwich-elementtiä. Julkisivun eteläsivulla ja sisäpihalla on paksurappauselementtejä.

VAV Lipputie 14

VAV Asuntojen vuokratalo Lipputie 14 eli Opaali valmistui Vantaan Kivistöön vuonna 2015. Kohde on 5-kerroksinen ja koostuu kahdesta talosta, joissa toisessa on 1 porrashuone ja toisessa 3 porrashuonetta. Kohteessa on yhteensä 87 huoneistoa. Kohteen huoneistoala on 4 273,5 m², kokonaisala 6 224 m² ja tilavuus 19 920 m³. Tontin pinta-ala on 2 163 m².

Lipputie 14 on VAV:n ja NCC:n toteuttama hanke, jossa tavoitteena oli säästää luonnonvaroja, pienentää hiilijalanjälkeä hyödyntämällä uusiomateriaaleja ja kiinnittää erityistä huomiota materiaalitehokkuuteen. Kohteessa on kevennetty väliseiniä ja pyritty vähentämään betonin määrää rakenteissa. Julkisivussa on lisäksi käytetty käsittelemätöntä puuta.



Kuva 2: VAV Lipputie 14

Rakennus on perustettu teräsbetonipaaluille ja anturat ovat teräsbetonianturoita. Alapohja on pääosin ontelolaatta-alapohja tuulettamalla ryömintätilalla. Väli- ja yläpohjat ovat ontelolaattaelementtejä, porrashuoneiden kerrostasot massiivilaattaelementtejä. Kantavat väliseinät ja pilarit ovat teräsbetonielementtejä. Kevyet väliseinät ovat betonia, kalkkihiekkakiveä tai metallirankarunkoisia kipsilevyseiniä. Alakatot ovat pääosin kipsi- tai akustiikkalevyalakattoja. Lattiapäällysteet ovat asunnoissa pääosin laminaattia ja yhteistiloissa sekä teknisissä tiloissa muovimattoa.

Rakennuksen julkisivut ovat pääosin kuitusementtilevyllä tai puulla verhottuja rankarakenteisia seiniä. Päädyt ovat betonisia villarappauslementtejä ja katujulkisivulla ensimmäisessä kerroksessa on tiiliverhous.

VAV Marsinkuja 1

VAV Asuntojen Marsinkuja 1 on Vantaan Mikkolaan vuonna 2017 valmistunut neljän talon kokonaisuus. Asuinrakennusten yhteenlaskettu bruttoala on 11 675 m². Asuntoja on yhteensä 147 kpl ja huoneistoalaa 6 632,1 m².



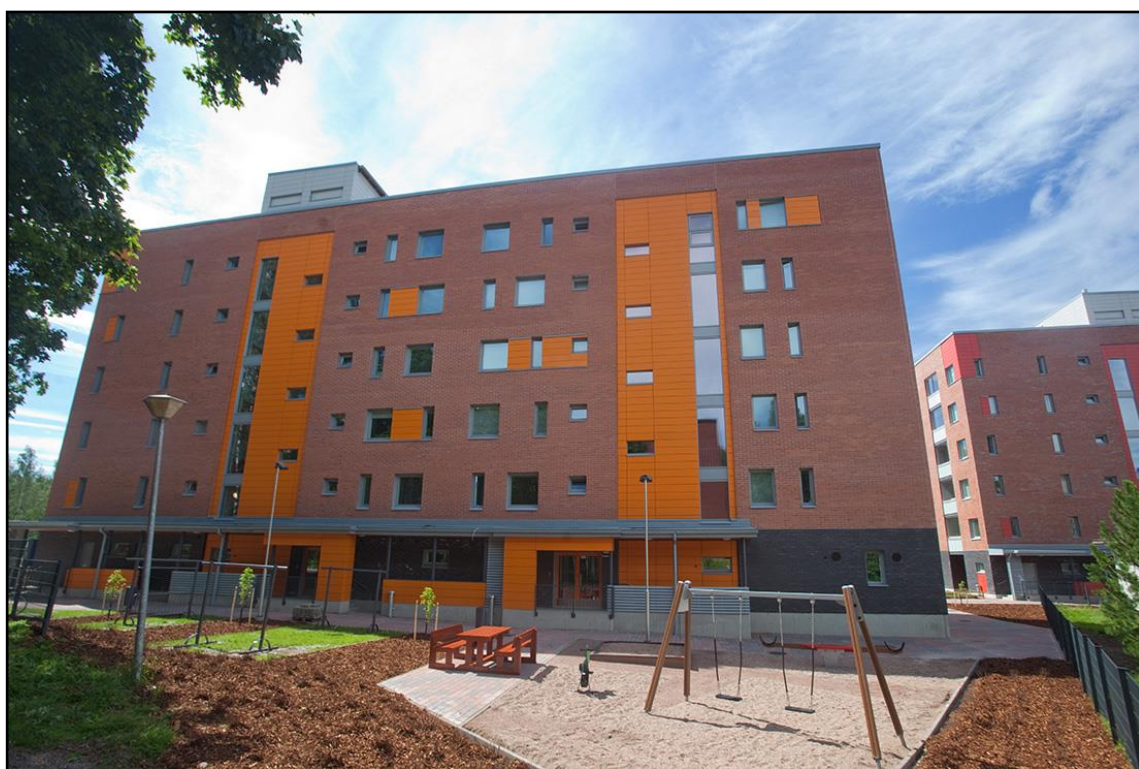
Kuva 3: VAV Marsinkuja 1

Rakenteet on perustettu maanvaraisena. Kohteessa ei ole käytetty paaluja. Anturat ovat paikalla valettuja teräsbetonianturoita ja sokkelit betonielementtejä.

Alapohja on pääosin tuuletettu ontelolaatta-alapohja. Väestönsuojassa on maanvarainen laatta. Rakennuksen kantavat seinät ovat paikalla valettuja tai teräsbetonielementtejä. Väli- ja yläpohjat ovat yleensä ontelolaattoja. Portaot ovat teräsbetonielementtejä. Ulkoseinät ovat pääosin betoni-sandwich -elementtejä ja tehdasrapattua, sileää, maalattua tai läpivärjättyä betonia. IV-konehuoneen ulkoseinä on verhoiltu profiilipellillä. Kevyet väliseinät ovat yleensä metallirankarunkoisia kipsilevyseiniä tai kevytsorabetoniharkkoseiniä.

VAV Loiskekuja 1

VAV Asuntojen Loiskekuja 1 sijaitsee Vantaan Myyrmäessä ja koostuu kolmesta kuusikerroksisesta asuinkerrostalosta. Kohteen yhteenlaskettu bruttoala on 8 842 m², huoneistoala 5 196,5 m² ja tilavuus 18 830 m³. Asuntoja on yhteensä 115.



Kuva 4: VAV Loiskekuja 1

Rakennus on perustettu teräsbetonipaaluille ja anturat ovat teräsbetonianturoita. Alapohja on pääosin ontelolaattaa. Väli- ja yläpohjat ovat yleensä ontelolaattaelementtejä, porrashuoneiden kerrostasot massiivilaattaa. Kantavat väliseinät ja pilarit ovat paikalla valettuja tai teräsbetonielementtejä. Kevyet väliseinät ovat pääosin betonielementtejä, metallirunkoisia kipsilevyseiniä tai kalkkihiekattiiltä.

Alakatot ovat pääosin kipsi- tai akustiikkalevyalakattoja. Lattiapäällysteet ovat pääosin laminaattia, lattialaattaa ja muovimattoja.

Rakennuksen julkisivut ovat pääosin tiilimuurattua teräsbetoniseinää osittain kuitusementtilevyllä verhottuna.

Yhteenveto tutkimuksen kohteista

Tutkimuskohteiden taustatiedot, toiminnalliset vaatimukset, käyttöiät, fysikaaliset ominaisuudet sekä energiankulutukset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4: Tutkimuskohteiden taustatiedot, toiminnalliset vaatimukset, käyttöiät, fysikaaliset ominaisuudet ja energiankulutukset

Kohde	VAV Kaskelantie 1 (Joutsenmerkkitalo)	VAV Lipputie 14 (Luonnonvara- tasapainotalo Opaali)	VAV Marsinkuja 1 (Tavanomainen vertailukohde)	VAV Loiskekuja 1 (Tavanomainen vertailukohde)
TAUSTATIEDOT JA TOIMINNALLISET VAATIMUKSET				
Osoite	Kaskelantie 1, 01200 Vantaa	Lipputie 14, 01700 Vantaa	Marsinkuja 1, 01480 Vantaa	Loiskekuja 1, 01300 Vantaa
Projektityyppi	Uudisrakennus	Uudisrakennus	Uudisrakennus	Uudisrakennus
Rakentamisvuosi	2018	2015	2017	2016
Käyttötarkoitus	Asuinkerrostalo	Asuinkerrostalo	Asuinkerrostalo	Asuinkerrostalo
Markkinasegmentti	Vuokratalo	Vuokratalo	Vuokratalo	Vuokratalo
Talojen lukumäärä	2	2	4	3
Kerrosmäärä	6/8	5	4	6
Portaita yhteensä	2	4	11	3
Bruttoala	8830	6224	11675	8842
Lämmitetty nettoala	8029,3	5670	10696	7552,5
Huoneistoala	5831,6	4273,5	6632,1	5196,5
Mitoitettu käyttäjämäärä	127 asuntoa, 217 asukasta	87 asuntoa, 150 asukasta	147 asuntoa, 225 asukasta	105 asuntoa, 187 asukasta
Pysäköintiratkaisu	Erillinen pysäköintilaitos, ei sis. arviointiin. Pihassa 3 invapaikkaa.	Erillinen pysäköintilaitos, ei sis. arviointiin	Pihapysäköinti	Pihapysäköinti
RAKENNUKSEN KÄYTTÖIKÄ JA FYSIKAALISET OMINAISUUDET				
Tarkastelujakso	60 vuotta	60 vuotta	60 vuotta	60 vuotta
Vaadittu käyttöikä	Ei ole esitetty erillistä vaatimusta, ks. tekninen käyttöikä	Ei ole esitetty erillistä vaatimusta, ks. tekninen käyttöikä	Ei ole esitetty erillistä vaatimusta, ks. tekninen käyttöikä	Ei ole esitetty erillistä vaatimusta, ks. tekninen käyttöikä
Tekninen käyttöikä	Suunniteltu käyttöikä 50 vuotta, kantavat rakenteet 100 vuotta	Rakenteiden suunnittelukäyttöikä 50 vuotta, perustukset ja lämmin kantava runko 100 vuotta	Betonirakenteiden suunnittelukäyttöikä 100 vuotta	Betonirakenteiden suunnittelukäyttöikä 100 vuotta
Energia, lämmitys	Kaukolämpö, Vantaan Energia	Kaukolämpö, Vantaan Energia	Kaukolämpö, Vantaan Energia	Kaukolämpö, Vantaan Energia

Kohde	VAV Kaskelantie 1 (Joutsenmerkkitalo)	VAV Lipputie 14 (Luonnonvara- tasapainotalo Opaali)	VAV Marsinkuja 1 (Tavanomainen vertailukohde)	VAV Loiskekuja 1 (Tavanomainen vertailukohde)
Energia, jäähdytys	Ei jäähdytystä	Ei jäähdytystä	Ei jäähdytystä	Ei jäähdytystä
Energia, käyttövesi	Kaukolämpö, Vantaan Energia	Kaukolämpö, Vantaan Energia	Kaukolämpö, Vantaan Energia	Kaukolämpö, Vantaan Energia
Sähkön pientuotanto	Aurinkosähkö 10 000 kW/vuosi	Ei ole	Ei ole	Ei ole
Ilmanvaihto	Keskitetty lämmöntalteenotolla varustettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	Keskitetty lämmöntalteenotolla varustettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	Keskitetty lämmöntalteenotolla varustettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	Keskitetty lämmöntalteenotolla varustettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto
Perustus	Paaluperustus teräsbetonipaaluin	Paaluperustus teräsbetonipaaluin	Maanvarainen perustus	Paaluperustus teräsbetonipaaluin
Rakenteet	Paikalla valetut tai elementtirakenteiset teräsbetoniseinät. Paikalla valettu maanvastainen kantava alapohja. Väli- ja yläpohjat ontelolaattaelement- tejä. Parvekkeet esivalmisteisia teräsbetonielementt- ejä.	Paikalla valetut tai elementtirakenteiset teräsbetoniseinät. Pääosin ontelolaatta- alapohja. Väli- ja yläpohjat ontelolaattaelement- tejä. Parvekkeet esivalmisteisia teräsbetonielementt- ejä.	Paikalla valetut tai elementtirakenteiset teräsbetoniseinät. Pääosin ontelolaatta- alapohja. Väli- ja yläpohjat ontelolaattaelementt- ejä. Parvekelaatat esivalmisteisia teräsbetonilaattoja.	Paikalla valetut tai elementtirakenteiset teräsbetoniseinät. Väli- ja yläpohjat pääosin ontelolaattaelement- tejä. Parvekelaatat esivalmisteisiä teräsbetonilaattoja.
Julkisivu ja verhoilu	Sandwich-elementit maalatulla tai hienopestyillä betonipinnalla. Lisäksi paksurappauseleme- ntejä.	Julkisivut pääosin kuitusementtilevyllä tai puulla verhottuja rankarakenteisia seiniä. Päädyissä rapattu villarappauselementt- i. Parvekkeiden taustaseinät puulla verhottuja betonielementtejä. Katujulkisivulla ensimmäisessä kerroksessa tiiliverhous.	Parvekejulkisivulla ja rakennuksen ensimmäisessä kerroksessa värjätty betonisandwich- elementti. Julkisivut pääsisäänkäyntien puolella ja päädyissä pääosin rapattua kuorielementtiä.	Ulkoseinät pääosin tiilellä ja osittain Cembrit- kuitusementtilevyllä verhoiltuja teräsbetoniseiniä. Parvekkeiden kantavat pielet elementtirakenteisia sandwich-seiniä.
RAKENNUKSEN LASKETTU ENERGIANKULUTUS				
E ₂₀₁₂ -luku [kWhE/m ² /vuosi]	104	115	118, 114, 117, 113	118, 118, 118
Laskettu ostoenergia Sähkö [kWh/vuosi], ei sis. kuluttajalaitteita	137227	96 110	223 558	149 674
Laskettu ostoenergia kaukolämpö [kWh/vuosi]	447 973	376 642	672 677	516 521
Kohteessa tuotettu uusiutuva energia	Aurinkosähkö 10 000 kWh/vuosi	-	-	-

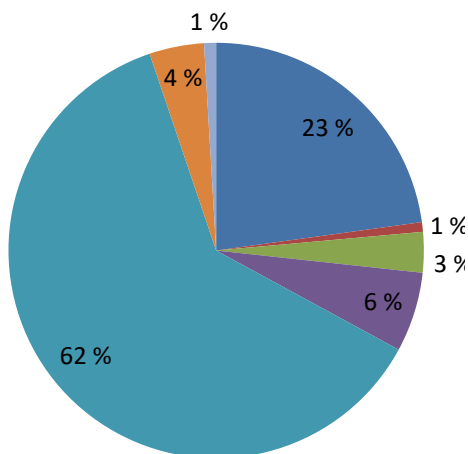
3 KOHTEIDEN ELINKAAREN HIILIJALANJÄLJET JA RATKAISUJEN VERTAILU

Tässä luvussa esitetään tutkimuskohteille lasketut elinkaaren ja elinkaaren eri osien hiilijalanjälkilaskennan tulokset 60 vuoden tarkastelujaksolla. Lisäksi kohteiden ratkaisuja ja niiden hiilijalanjälkiä on vertailtu etsien eroavaisuuksia, joilla olisi huomattava vaikutus kasvihuonekaasupäästöjen syntymiseen.

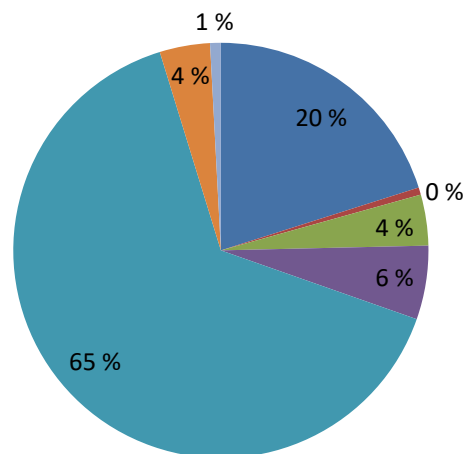
3.1 Rakennusten elinkaaren hiilijalanjälki

Kaskelantie 1:n elinkaaren hiilijalanjäljeksi saatiin 11 700 t CO₂e, Lipputie 14:n 9 010 t CO₂e, Marsinkuja 1:n 16 900 t CO₂e ja Loiskekuja 1:n 14 100 t CO₂e. Kohteiden hiilijalanjälkien jakaantumiset elinkaaren eri vaiheisiin on kuvattu kaaviossa 1.

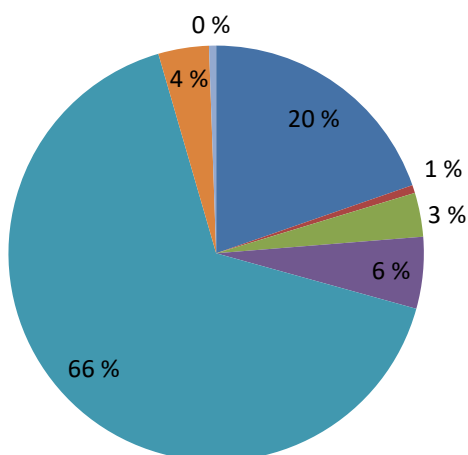
Kaskelantie 1



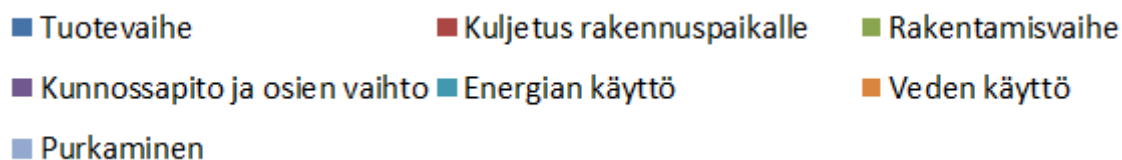
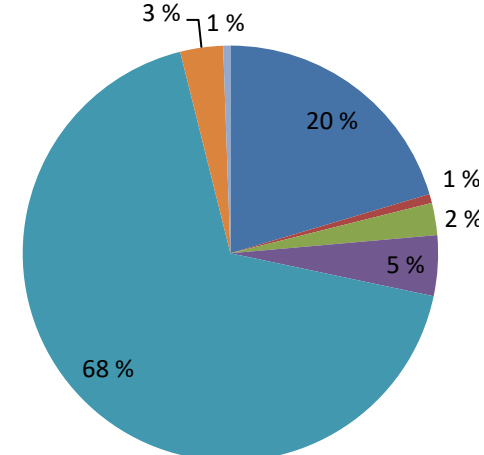
Lipputie 14



Marsinkuja 1



Loiskekuja 1



Kaavio 1: Hiilijalanjäljen jakaantuminen elinkaaren eri vaiheisiin tutkimuskohteissa

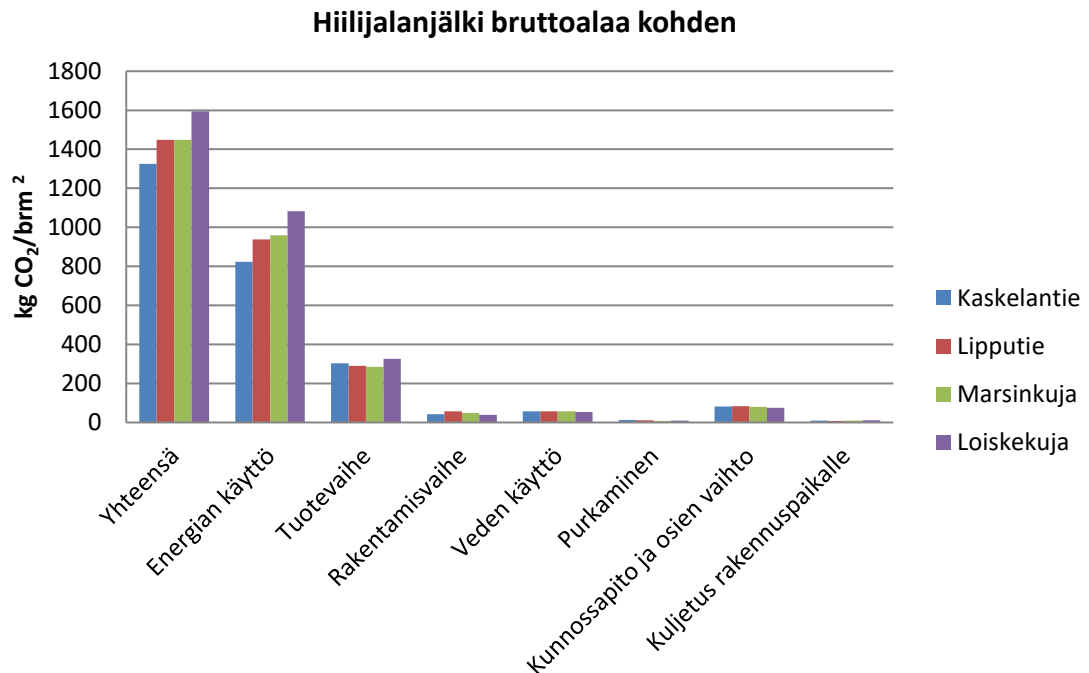
Tutkimuskohteissa tarkastelujakson kasvihuonekaasupäästöistä suurin osa, 62–68 %, syntyy energian käytöstä elinkaaren energian käyttö -vaiheessa B6. Energiatohokkuudeltaan parhaimmassa kohteessa Kaskelantie 1:ssä energian käytön osuus on hieman pienempi ja materiaalien osuus tällöin vastaavasti kasvanut muihin kohteisiin verrattuna. Tuotevaiheen A1–A3 päästöt kattavat 20–23 % tarkastelujakson päästöistä. Rakennustuotteisiin sitoutuneet kasvihuonekaasupäästöt eli elinkaaren vaiheiden tuotevaihe A1–A3, kuljetukset rakennuspaikalle A4, kunnossapito ja osienvaihto B1–B5 sekä purkaminen C1–C4 päästöt kattavat kohteissa 27–31 % koko tarkastelujakson päästöistä.

Taulukossa 5 on esitetty kohteille lasketut hiilijalanjäljet suhteutettuna niiden bruttoalaan elinkaaren eri vaiheissa.

Taulukko 5: Kohteiden elinkaaren hiilijalanjälki bruttoalaan suhteutettuna [kg CO₂e/brm²]

	Kaskelantie	Lipputie	Marsinkuja	Loiskekuja
Tuotevaihe A1-A3	304	291	285	326
Kuljetus rakennuspaikalle A4	10	8	9	11
Rakentamisvaihe A5	42	57	50	40
Kunnossapito ja osien vaihto B1-B5	83	83	81	75
Energian käyttö B6	823	938	959	1082
Veden käyttö B7	57	57	57	53
Purkaminen C1-C4	12	12	8	9
Yhteensä	1325	1448	1448	1595

Kaaviossa 2 on esitetty sama havainnollistavana kaaviona.



Kaavio 2: Kohteiden hiilijalanjäljet bruttoalaa suhteutettuna elinkaaren eri vaiheisiin jaettuna

Kaaviosta 2 voidaan nähdä, että Kaskelantie 1:n hiilijalanjälki on bruttoalaa suhteutettuna kaikista pienin. Tämä johtuu sen energiatehokkuudesta, joka on muita kohteita selvästi parempi. Loiskekujan suurempaan hiilijalanjälkeen osallisena ovat sekä suurempi energiankulutus että suunnitteluratkaisujen ja materiaalivalintojen suuremmat päästöt.

Taulukossa 6 on esitetty kohteiden hiilijalanjäljet bruttoalaa ja huoneistoalaa kohti yhdelle vuodelle jaettuna.

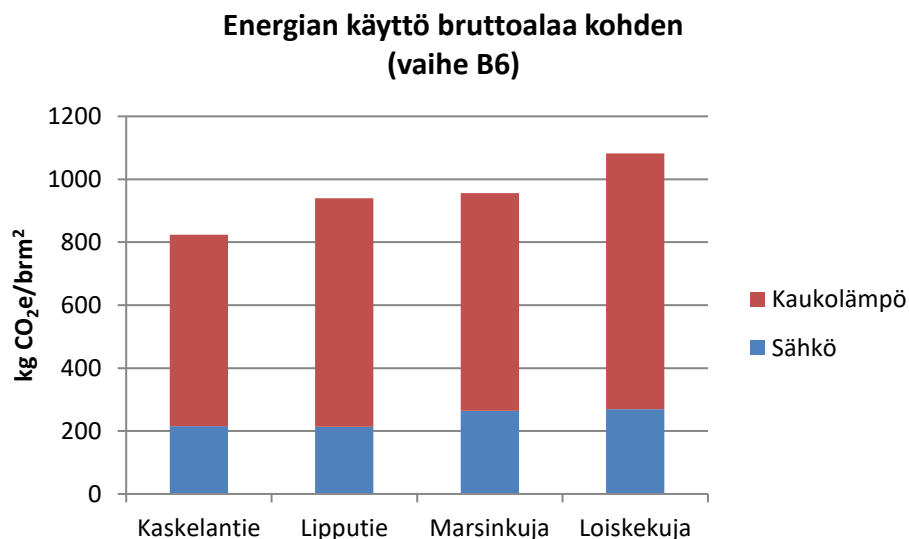
Taulukko 6: Kohteiden hiilijalanjäljet bruttoalaa ja huoneistoalaa kohden yhdessä vuodessa

	Kaskelantie		Lipputie		Marsinkuja		Loiskekuja	
	[kg CO ₂ e /brm ² /y]	[kg CO ₂ e /hym ² /y]	[kg CO ₂ e /brm ² /y]	[kg CO ₂ e /hym ² /y]	[kg CO ₂ e /brm ² /y]	[kg CO ₂ e /hym ² /y]	[kg CO ₂ e /brm ² /y]	[kg CO ₂ e /hym ² /y]
Tuotevaihe A1-A3	5,1	7,7	4,8	7,1	4,8	8,4	5,4	9,2
Kuljetus rakennuspaikalle A4	0,2	0,3	0,1	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3
Rakentamisvaihe A5	0,7	1,1	1,0	1,4	0,8	1,5	0,7	1,1
Kunnossapito ja osien vaihto B1-B5	1,4	2,1	1,4	2,0	1,3	2,4	1,3	2,1
Energian käyttö B6	13,7	20,8	15,6	22,8	16,0	28,1	18,0	30,7
Veden käyttö B7	0,9	1,4	0,9	1,4	1,0	1,7	0,9	1,5
Purkaminen C1-C4	0,2	0,3	0,2	0,3	0,1	0,2	0,1	0,3
Yhteensä	26,5	40,1	29,0	42,2	29,0	51,0	31,9	54,3

Seuraavissa luvuissa on tarkasteltu tarkemmalla tasolla erojen syntymistä elinkaaren eri vaiheissa.

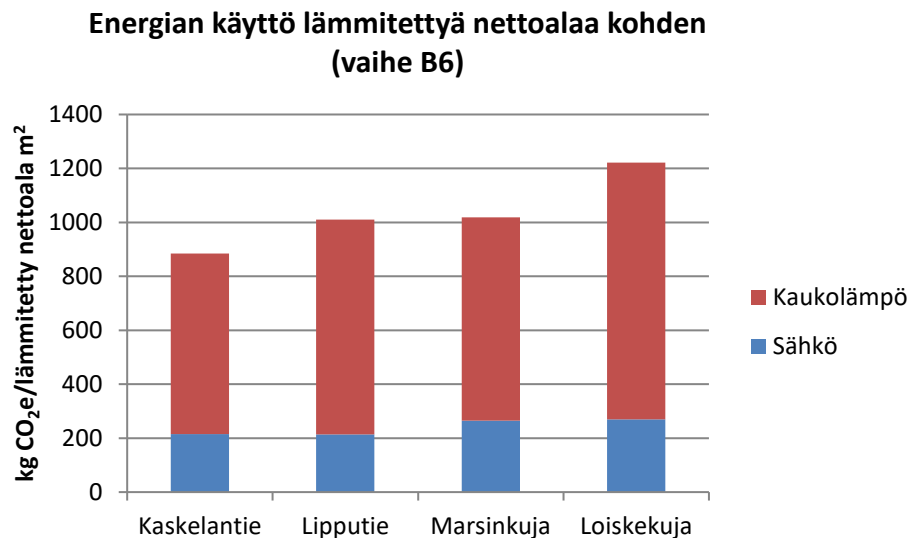
3.2 Energian käyttövaiheen kasvihuonekaasupäästöt

Energian käyttövaiheen B6 kasvihuonekaasupäästöt on esitetty bruttoalaa kohden kaaviossa 3 ja energiatodistuksen mukaista lämmitettyä nettoalaa kohden kaaviossa 4.



Kaavio 3: Energian käytön kasvihuonekaasupäästöt bruttoalaa kohden

Bruttoalaa kohden energian päästöt ovat Kaskelantiellä 823 kg, Lipputiellä 938 kg, Marsinkujalla 959 kg ja Loiskekujalla 1082 kg CO₂e/brm². Sähkönkulutuksen päästöt ovat kohteissa noin 25 % ja kaukolämmön päästöt noin 75 % energian käytön päästöistä.



Kaavio 4: Energian käytön kasvihuonekaasupäästöt lämmitettyä nettoalaa kohden

Lähtötietona energiankulutuksen osalta päädyttiin käyttämään kohteiden laskennallisia ostoenergiämääriä kohteiden käyttöönottovaiheiden energiatodistuksista. Kolmesta jo valmistuneesta kohteesta olisi voitu saada dataa toteutuneista energiankulutuksista, mutta vertailtavuuden mahdollistamiseksi käytettiin laskennallista energiankulutusta yhden kohteen rakentamisen ollessa vielä kesken. Paremmiin rakennuksen todellista energiankulutusta ennustavia tavoite-energiankulutuslaskelmia ei ollut kaikille kohteille saatavilla.

Kaikissa kohteissa päästötietoina on käytetty samoja vuoden 2016 päästöprofiileja Vantaan Energian kaukolämmölle ja keskimääräiselle sähköenergialle Suomessa. Erot kasvihuonekaasupäästöjen määrässä syntyvät tällöin pelkästään rakennuksen energiatehokkuudesta sekä mahdollisista energiatodistuksen laskentaeroista. Ennustettua kaukolämmön ja sähkön päästöjen pienentymistä tulevaisuudessa ei ole huomioitu laskelmissa.

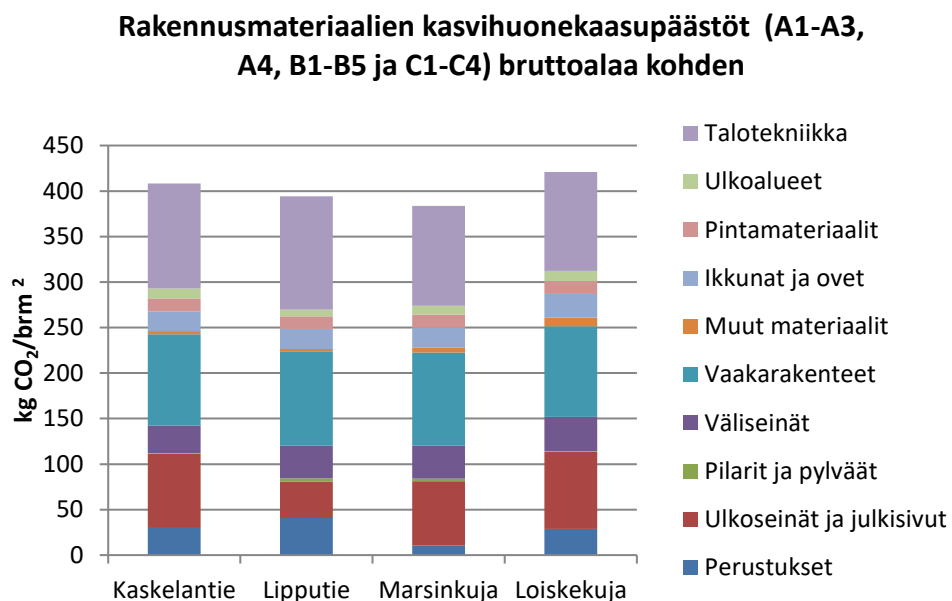
E₂₀₁₂-luvut ovat keskimäärin Kaskelantiellä 104, Lipputiellä 115, Marsinkujalla 116 ja Loiskekujalla 118 kWh/m²,a. Kaskelantiessä on muista kohteista poiketen omaa energiantuotantoa aurinkopaneelien muodossa. Paneeleista aiheutuva säästö kasvihuonekaasupäästöissä on 60 vuodessa energiankulutuksen osalta noin 15,5 kg

CO₂/brm² ja aurinkopaneelijärjestelmän materiaalien hiilijalanjälki huomioiden noin 13,5 kg CO₂/brm² olettaen, että paneelit uusitaan 60 vuoden aikana kerran.

Kuluttajalaitteiden sähkönkulutusta ei laskentaohjeiden mukaisesti ole sisällytetty rakennuksen hiilijalanjälkilaskelmaan, vaikka se rakennuksen käytön aikana muodostaakin ison osan aiheutuvista kasvihuonekaasupäästöistä.

3.3 Rakennusmateriaalien kasvihuonekaasupäästöt

Kaaviossa 5 on esitetty kohteiden rakennusmateriaalien kasvihuonekaasupäästöt bruttoalaa kohden jaoteltuna eri rakenneosien kesken. Rakennusmateriaalien elinkaaren päästöt on laskettu elinkaaren vaiheista tuotevaihe A1–A3, kuljetus rakennuspaikalle A4, kunnossapito ja osienvaihto B1–B5 sekä purkaminen C1–C4.

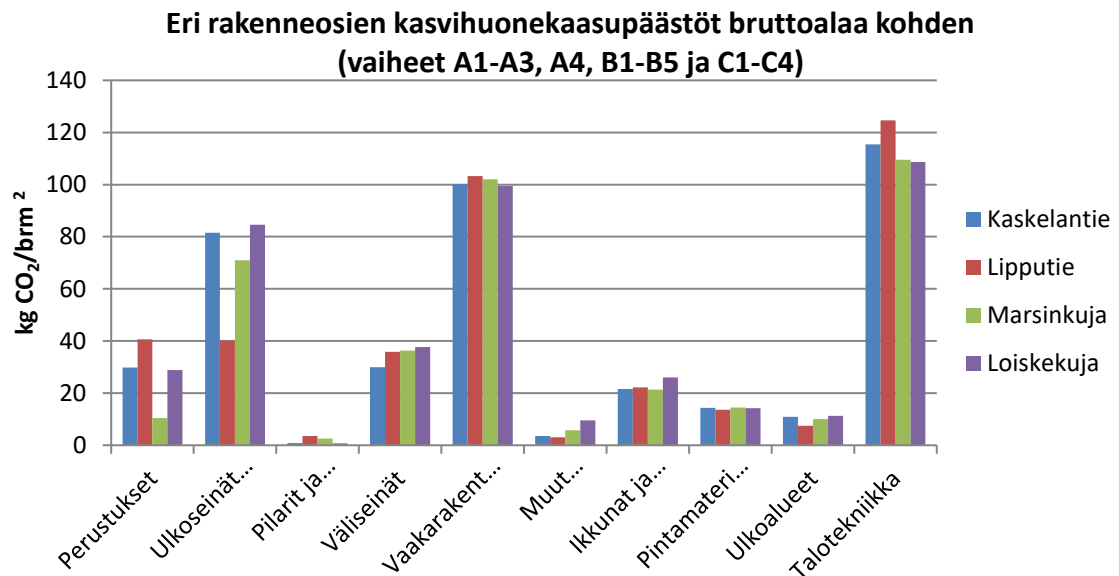


Kaavio 5: Rakennusmateriaalien kasvihuonekaasupäästöt bruttoalaa kohden

Rakennusmateriaalien osalta kohteiden kasvihuonekaasupäästöt ovat bruttoalaan suhteutettuna melko samaa luokkaa: Kaskelantie 408 kg CO₂e/brm², Lipputie 394 kg CO₂e/brm², Marsinkuja 384 kg CO₂e/brm² ja Loiskekuja 421 kg CO₂e/brm². Pienin materiaalien hiilijalanjälki on Marsinkujalla, jossa suurin ero ratkaisuihin muihin kohteisiin on se, ettei kohteessa ole tarvittu paaluperustusta. Erot rakennusmateriaalien

hiilijalanjäljissä kohteiden välillä ovat niin pieniä, että jos jätettäisiin paalutukset huomioimatta, järjestys muuttuisi.

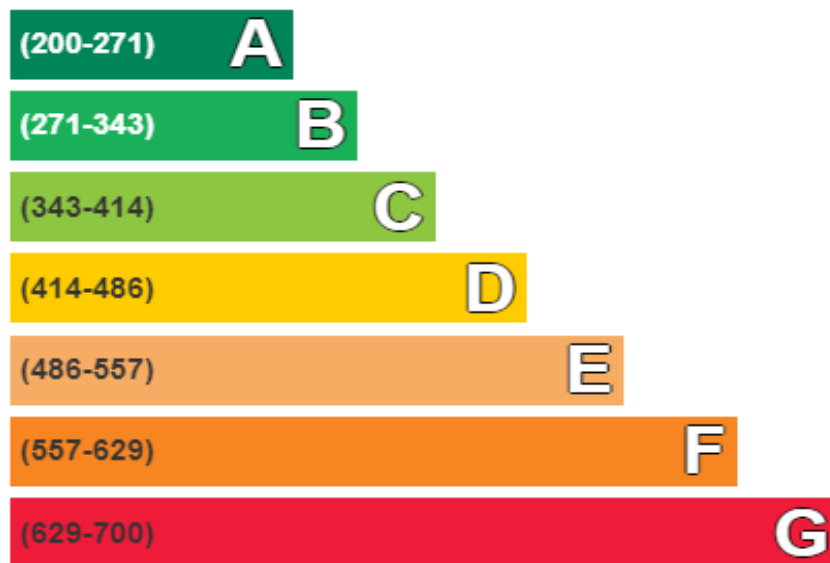
Kaaviosta 6 nähdään tarkemmalla tasolla, miten hiilijalanjälki on jakaantunut eri rakenneosien kesken ja missä eroja on.



Kaavio 6: Eri rakenneosien kasvihuonekaasupäästöt bruttoalaa kohden

Laskentadatan on mahdollisuuksien mukaan käytetty kohteissa käytettyjen materiaalien tuotekohtaisia ympäristötietoja. Kuitenkaan esimerkiksi Joutsenmerkinnän ikkunoita ja ovia koskevaa kierrätysmateriaalivaatimusta (ikkunoissa ja ulko-ovissa vähintään 40 % niiden sisältämästä alumiinista, 30 % PVC-materiaalista ja 20 % teräksestä on oltava kierrätettyä) ei ole pystytty huomioimaan. Tällaisen huomioimiseksi tarvittaisiin lähtötiedoksi verifioitu EPD eli ympäristöseloste kohteessa käytettyä tai vastaavaa tuotetta koskien.

Yhden näkemyksen kohteiden suoritusasosta rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen suhteen tarjoaa käytetty laskentatyökalu, jossa on määritetty työkalun laskentatuloksiin perustuen omat suoritusta kuvaavat vertailutasot eurooppalaiselle asuinrakennukselle rakennusmateriaalien elinkaaren aikaisten (elinkaaren vaiheet A1–A3, A4, B1–B5 ja C1–C4) päästöjen osalta. Asteikko on esitetty kuvassa 5.



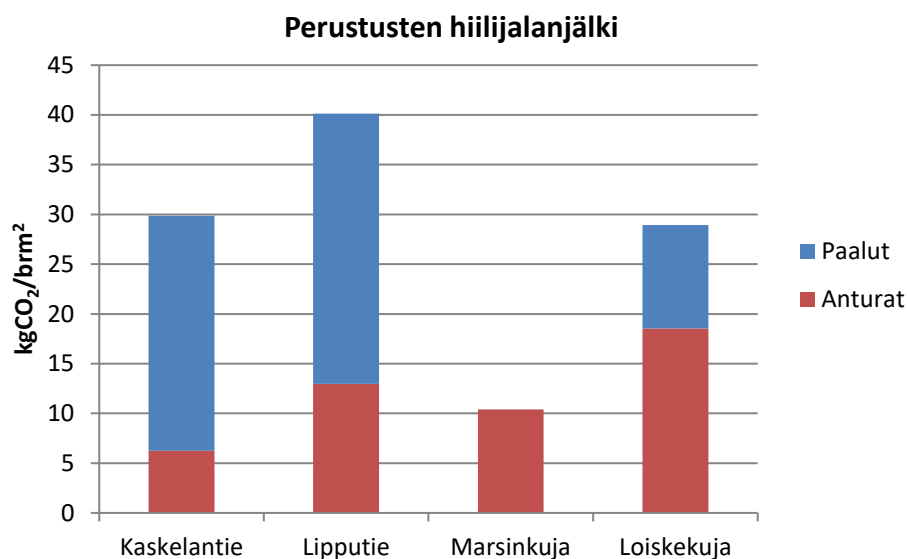
Kuva 5: Rakennusmateriaaleihin sitoutuneiden kasvihuonekaasupäästöjen vertailutasot eurooppalaiselle asuinrakennukselle bruttoalaa kohden One Click LCA -työkalussa (IPMS/RICS gross internal floor area) (Bionova 2018)

Kohteiden tulokset ovat C- ja D-luokkien rajamaastossa Lipputien ja Marsinkujan yltäessä C-luokkaan ja Kaskelantien ja Loiskekujan D-luokkaan. Kohteiden tulokset on laskettu vertailutasolle käyttäen pinta-alana IPMS/RICS gross internal floor area -määritelmän mukaista pinta-alaa, joka on pienempi kuin suomalainen bruttoala, jonka mukaan muut tulokset on tässä tutkimusraportissa esitetty, mutta yleensä suurempi kuin lämmitetty nettoala.

Suurimmat kokonaisuudet rakennusmateriaalien päästöistä aiheutuvat kaavion 6 mukaisesti talotekniikasta, vaakarakenteista, ulkoseinistä ja perustuksista, joten nämä kokonaisuudet on otettu seuraavissa luvuissa tarkempaan tarkasteluun.

3.3.1 Perustukset

Perustamistapa riippuu tontin maaperän ominaisuuksista. Vertailtavista kohteista kolme oli paaluperusteisia. Tämä näkyy rakennusmateriaalien hiilijalanjäljessä merkittävänä erona. Kaaviossa 7 on esitetty teräsbetonipaalujen ja anturoiden tuotevaiheen A1–A3, kuljetusten (A4) sekä C1–C4 purkuvaiheesta aiheutuvat päästöt kohteiden bruttoalaa kohden. Perustuksia ei oleteta uusittavan tarkastelujakson aikana, joten elinkaaren vaiheen kunnossapito ja osien vaihto (B1–B5) päästöt ovat nolla.



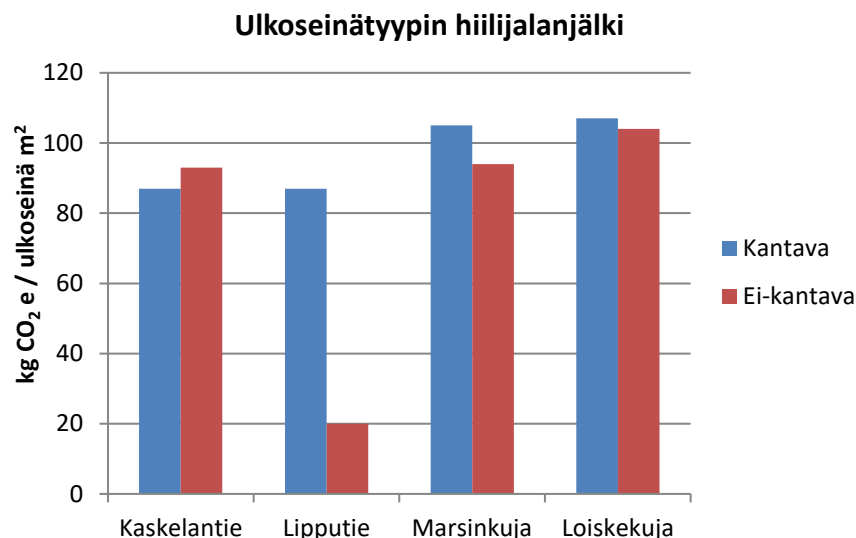
Kaavio 7: Perustusten hiilijalanjälki (A1-A3, A4, C1-C4)

Ero vähäpäästöisimmän Marsinkujan ja suuripäästöisimmän Lipputien perustusten välillä on noin 30 kg CO₂/brm², mikä on enemmän kuin kohteiden tuotevaiheen päästöjen erot kaikkien rakennusmateriaalien osalta yhteensä. Paalutuksen osuus on siis merkittävä, joten suosimalla tontteja, joiden maaperä on kantava, eikä paalutusta tarvita, saadaan etua päästölaskelmassa.

3.3.2 Ulkoseinät

Ulkoseinien kasvihuonekaasupäästöt ovat pienimmät Lipputie 14:ssä, missä ulkoseinät ovat pääosin kuitusementtilevyllä tai puulla verhottuja rankarakenteisia seiniä. Ainoastaan päädyissä ja parvekkeiden taustaseinissä on käytetty betonia. Muissa kohteissa ulkoseinät ovat pääosin teräsbetoniseiniä. Mahdollisen väribetonin päästökertoimenä on laskennassa käytetty värjäämättömän betonin päästökerrointa, koska parempaa tietoa ei ollut saatavilla.

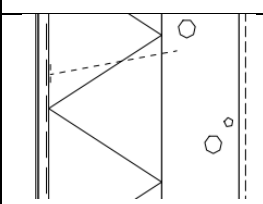
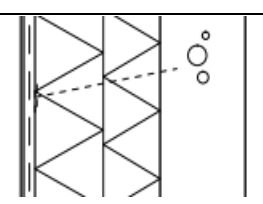
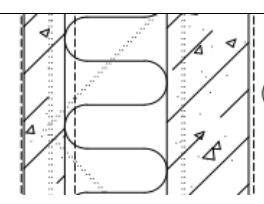
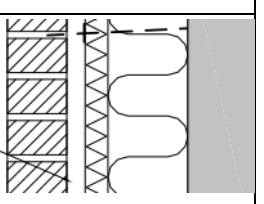
Ulkoseinistä on valittu tarkempaan tarkasteluun kohteista niissä eniten esiintyvä kantava rakennetyyppi sekä ei-kantava rakennetyyppi. Kaavion 8 mukaisesti Lipputie 14:stä löytyy sekä vähäpäästöisin kantava että ei-kantava seinätyyppi.



Kaavio 8: Kohteissa eniten esiintyvien ulkoseinätyyppien hiilijalanjälki per seinäneliö (A1–A3, A4, C1–C4)

Taulukossa 7 on esitetty vertailtujen kantavien ulkoseinätyyppien sisältö ja niiden päästöt tarkemmalla tasolla.

Taulukko 7: Kohteissa eniten esiintyvät kantavat ulkoseinätyypit sekä niiden kasvihuonekaasupäästöt kg CO₂e/m².

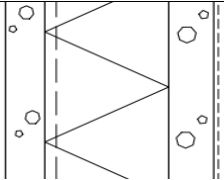
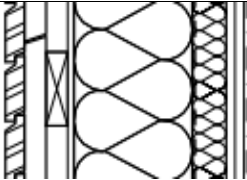
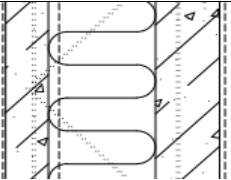
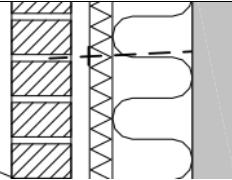
Kaskelantie	Lipputie	Marsinkuja	Loiskekuja
KANTAVAT ULKOSEINÄT			
US1, U=0,17 W/m ² K	US1, U=0,17 W/m ² K	USK1, U=0,17 W/m ² K	US1, U=0,15 W/m ² K
87 kg CO ₂ /m ²	87 kg CO ₂ /m ²	105 kg CO ₂ /m ²	107 kg CO ₂ /m ²
 Pintarappaus 5 mm Tehdasrappaus 20 mm Mineraalivilla 220 mm Teräsbetoni 150 mm	 Pintarappaus 5 mm Tehdasrappaus 20 mm Mineraalivilla 220 mm Teräsbetoni 150 mm	 Teräsbetoni 80 mm Mineraalivilla 200 mm Teräsbetoni 160 mm	 Julkisivumuuraus 130 mm Tuulensuojavilla 50 mm Mineraalivilla 175 mm Teräsbetoni 160 mm

Kantavista seinätyypeistä pienimmät kasvihuonekaasupäästöt ovat Kaskelantien ja Lipputien rapatuilla julkisivuilla. Marsinkujan betonisandwich-elementin päästöjä nostaa erityisesti ulkokuoren betoniraudoitukset, joiden täytyy ohuessa betonirakenteessa olla ruostumatonta terästä. Laskennassa Loiskekujan ulkoseinäratkaisussa käytetyllä tiilituotteella päästöt yhdessä laastin kanssa ovat samaa luokkaa yhtä paksun

betoniseinän kanssa. Kierrätystiiltä käyttämällä tiilirakennekerroksen päästöt koostuisivat lähes pelkästään käytetystä laastista, jolloin tiilikerroksella olisi yli puolet pienemmät päästöt samanvahvuiseen betonikerrokseen verrattuna.

Taulukossa 8 on esitetty vertailtujen ei-kantavien ulkoseinätyyppien sisältö ja niiden päästöt tarkemmalla tasolla.

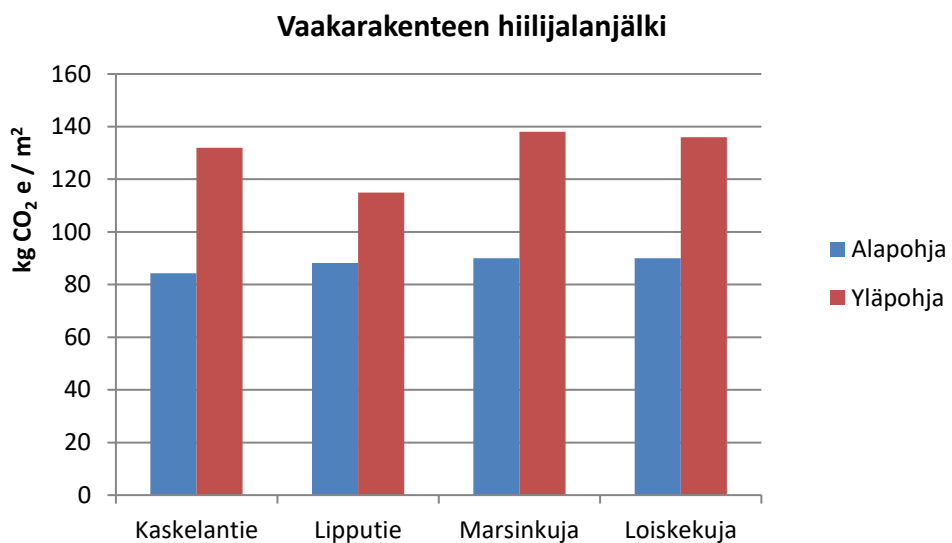
Taulukko 8: Kohteissa eniten esiintyvät ei-kantavat ulkoseinätyypit sekä niiden kasvihuonekaasupäästöt kg CO₂e/m².

Kaskelantie	Lipputie	Marsinkuja	Loiskekuja
EI-KANTAVAT ULKOSEINÄT			
US3, U=0,17 W/m ² K	US2, U=0,17 W/m ² K	US1, U=0,17 W/m ² K	US2, U=0,15 W/m ² K
93 kg CO ₂ /m ²	20 kg CO ₂ /m ²	94 kg CO ₂ /m ²	104 kg CO ₂ /m ²
 Teräsbetoni 80 mm Mineraalivilla 220 mm Teräsbetoni 90 mm	 Vaakapaneeli 28 mm Koolaukset Tuulensuojalevy 9 mm Termoranka 175 mm k600 Mineraalivilla 175 Höyrynsulku Vaakarunko ja mineraalivilla 48 mm Kipsilevy GN 13 mm Kipsilevy EK 13 mm	 Teräsbetoni 80 mm Mineraalivilla 200 mm Teräsbetoni 120 mm	 Julkisivumuuraus 130 mm Tuulensuojavilla 50 mm Mineraalivilla 175 mm Teräsbetoni 150 mm

Ei-kantavissa seinärakenteissa puulla verhotulla rankarakenteisella seinällä on betonijulkisivua huomattavasti pienemmät kasvihuonekaasupäästöt. Mikäli teräsranka korvattaisiin Lipputie 14:n puujulkisivun ulkoseinärakenteessa vielä puurangalla, päästäisiin ko. ulkoseinärakenteen osalta vielä hieman pienempiin, noin 17 kg CO₂/m² kasvihuonekaasupäästöihin. Lisäksi Kaskelantien ja Marsinkujan betonisandwich-seinillä on jonkin verran pienemmät päästöt kuin Loiskekujan tiilimuuratulla seinällä. Käyttämällä kierrätystiiltä Loiskekujan US2-ulkoseinärakenteen päästöt voisivat pudota tasolle 73 kg CO₂/m².

3.3.3 Vaakarakenteet

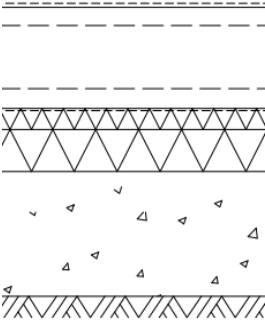
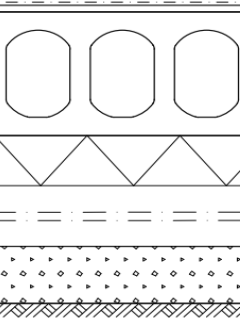
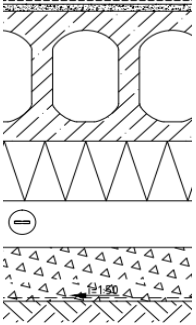
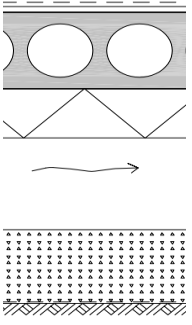
Vaakarakenteista on valittu tarkempaan tarkasteluun kohteissa yleisimmin esiintyvät alapohja- ja yläpohjatyypit. Välipohjat kaikissa kohteissa ovat saman paksuisia ontelolaattaelementtejä, joten niitä ei ole tarpeen tarkastella tarkemmalla tasolla. Kaaviossa 9 on esitetty vaakarakenteiden kasvihuonekaasupäästöt yhtä neliötä kohden.



Kaavio 9: Kohteissa eniten esiintyvien alapohja- ja yläpohjatyypien hiilijalanjälki per rakenneneeliö (A1–A3, A4, C1–C4)

Taulukossa 9 on esitetty vertailut alapohjatyypit sekä näille lasketut kasvihuonekaasupäästöt rakenneneeliötä kohden.

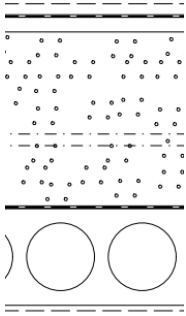
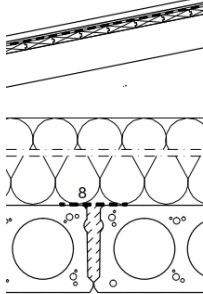
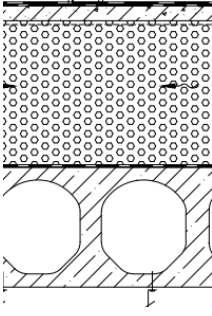
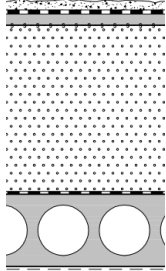
Taulukko 9: Kohteissa eniten esiintyvät alapohjatyypit sekä niiden kasviuonekaasupäästöt kg CO₂e/m².

Kaskelantie	Lipputie	Marsinkuja	Loiskekuja
ALAPOHJAT			
AP3, U=0,16 W/m ² K	AP9, U=0,09 W/m ² K	AP1, U=0, W/m ² K	AP1, U=0, W/m ² K
84 kg CO ₂ /m ²	88 kg CO ₂ /m ²	90 kg CO ₂ /m ²	90 kg CO ₂ /m ²
 Teräsbetoni-laatta 240 mm EPS 100 eriste 150 mm Sepeli 300 mm	 Tasoite 15 mm Ontelolaatta 370 mm EPS eriste 170 mm Sepeli 200 mm	 Tasoite 15 mm Ontelolaatta 370 mm EPS eriste 170 mm Sepeli 300 mm	 Tasoite 15 mm Ontelolaatta 370 mm EPS eriste 170 mm Sepeli 300 mm

Alapohjien kasviuonekaasupäästöt ovat keskenään melko samaa luokkaa. Kaskelantien ohuemman teräsbetoni-laatan päästöt ovat hieman paksumpaa ontelolaattarakennetta pienemmät, mutta teräsbetoni-laatan laskennassa on teräksen määränä käytetty teräsbetoni-laattojen keskimääräistä teräsmäärää, joka saattaa poiketa todellisesta suunnitteluratkaisusta.

Taulukossa 10 on esitetty vertaillut yläpohjatyypit sekä näille lasketut kasviuonekaasupäästöt rakenneneeliötä kohden.

Taulukko 10: Kohteissa eniten esiintyvät yläpohjatyytit sekä niiden kasviuonekaasupäästöt kg CO₂e/m².

Kaskelantie	Lipputie	Marsinkuja	Loiskekuja
YLÄPOHJAT, SIS. VESIKATTO			
YP1, U=0,09 W/m ² K	YP3, U=0,09 W/m ² K	YP1, U=0, W/m ² K	YP1, U=0, W/m ² K
132 kg CO ₂ /m ²	115 kg CO ₂ /m ²	138 kg CO ₂ /m ²	136 kg CO ₂ /m ²
 Suojakiveys 35 kg/m² Kumibitumikermi 2x Kevytsorabetonilaatta 60 mm Kevytsora 1030 mm Höyrynsulkukermi Ontelolaatta 265 mm	 Peltikate Aluskate Ruodelaudoitus Kattokannattajat k < 900 Puhallusvilla 460 mm Korokkeet Bitumihuopa Ontelolaatta 370 mm	 2 x kumibitumikermi Pintabetonilaatta 40mm Suodatinkangas Kevytsora 1050 mm Höyrynsulkukermi Ontelolaatta 320 mm	 Suojakiveys 35kg/m² Kumibitumikermi 2x Tasausbetoni 40 mm Kevytsora 1060 Salaojamatto Höyrynsulkukermi Ontelolaatta 265 mm

Lipputie 14:n vinolla peltiverhoillulla ja puhallusvillalla eristetyllä yläpohja- ja kattorakenteella on muiden kohteiden kevytsoraeristettyä ja kermi- tai kivipintaista kattoa pienemmät kasviuonekaasupäästöt. Yläpohjarakenteissa kevytsoran päästöt ovat merkittävässä roolissa, sillä niistä aiheutuu tutkimuskohteiden yläpohjissa kasviuonekaasupäästöjä enemmän kuin yläpohjassa olevasta ontelolaatasta.

3.3.4 Talotekniikka

Talotekniikkaa ei tässä tutkimuksessa ole sisällytetty laskelmiin tasolla, jolla kohteiden tuloksia voitaisiin sen osalta vertailla. Talotekniikka muodostaa kuitenkin merkittävän osan rakennuksen materiaaleista ja kokonaisuutena sisältää paljon potentiaalia hiilijalanjäljen pienentämiseen (Saari & Kokkonen 1999).

Tutkimuskohteiden laskentatuloksessa talotekniikan osuus rakennusmateriaalien kasviuonekaasupäästöistä on 25 - 31 %. Talotekniikka on sisällytetty kohteiden tulokseen laskentaohjelmasta löytyvillä järjestelmäkohtaisilla tiedoilla pinta-alaperusteisena ja tulos on todennäköisesti arvioitu yläkanttiin. Lisäksi on huomioitu

taloissa olevat hissit ja aurinkopaneelit. Tutkimuksissa on arvioitu, että talotekniikan osuus olisi 10–12 % rakennusmateriaalien hiilijalanjäljestä (CIBSE 2013) eli todellisuudessa vähemmän.

Talotekniikan lisääminen kasvattaa rakennusmateriaalien päästöjä ja talotekniikkaa joudutaan usein uusimaan rakennuksen käyttöänsä aikana, mutta lisääntynyt talotekniikka voi energiatehokkuuden parantuessa pienentää käytön ajan päästöjä. Esimerkiksi panostamalla matalahiiliteknologioihin ja tuottamalla uusiutuvaa energiaa tontilla kasvatetaan materiaalien hiilijalanjälkeä, mutta voidaan pienentää käytön ajan hiilijalanjälkeä.

Talotekniikan suhteen on useampia vaihtoehtoisia toteutustapoja, joiden hiilijalanjälki saattaa poiketa toisistaan ja joita kannattaisi tutkia tarkemmalla tasolla. Tällaisia voisivat olla esimerkiksi:

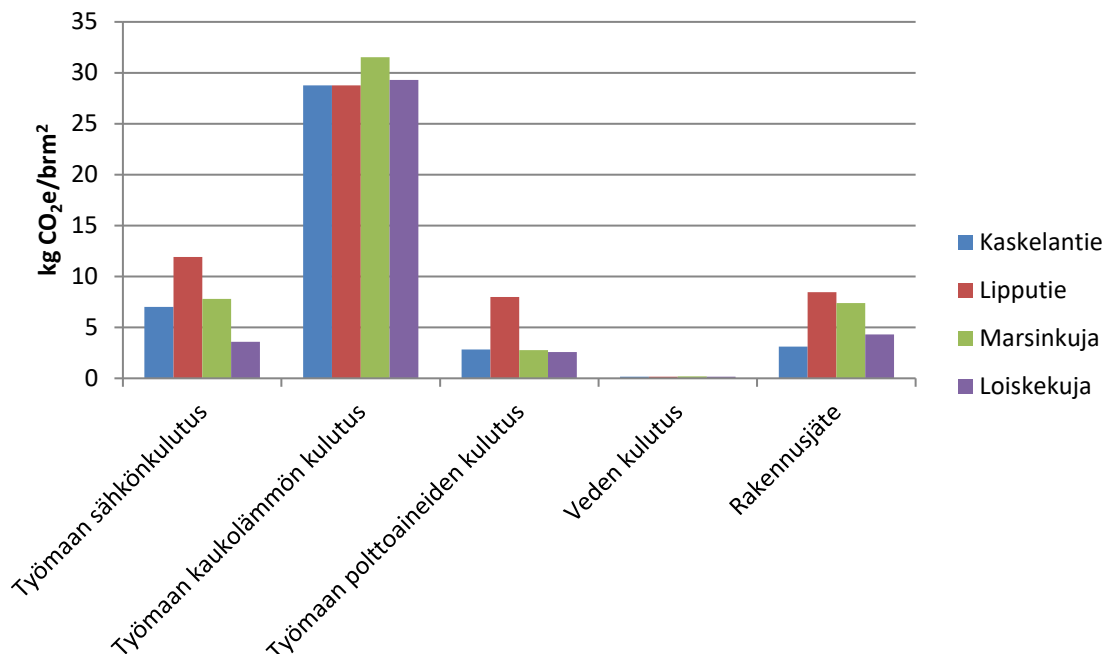
- Muoviviemäri vs. valurautaviemäri
- Kupariputki vs. muoviputki
- Keskitetty ilmanvaihto vs. hajautettu ilmanvaihto seinäpuhalluksella
- Lattialämmitys vs. radiaattorilämmitys

3.4 Rakentamisvaiheen kasvihuonekaasupäästöt

Rakentamisvaiheen hiilijalanjälki muodostuu rakentamisen aikana käytetystä energiasta, vedestä ja rakennusjätteiden syntymisestä. Rakentamisvaiheen päästöt kohteissa olivat keskimäärin 3 % koko rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä.

Rakentamisvaiheen päästöt bruttoalaa kohden on esitetty kaaviossa 10.

Rakentamismuokkauksen kasvihuonekaasupäästöt



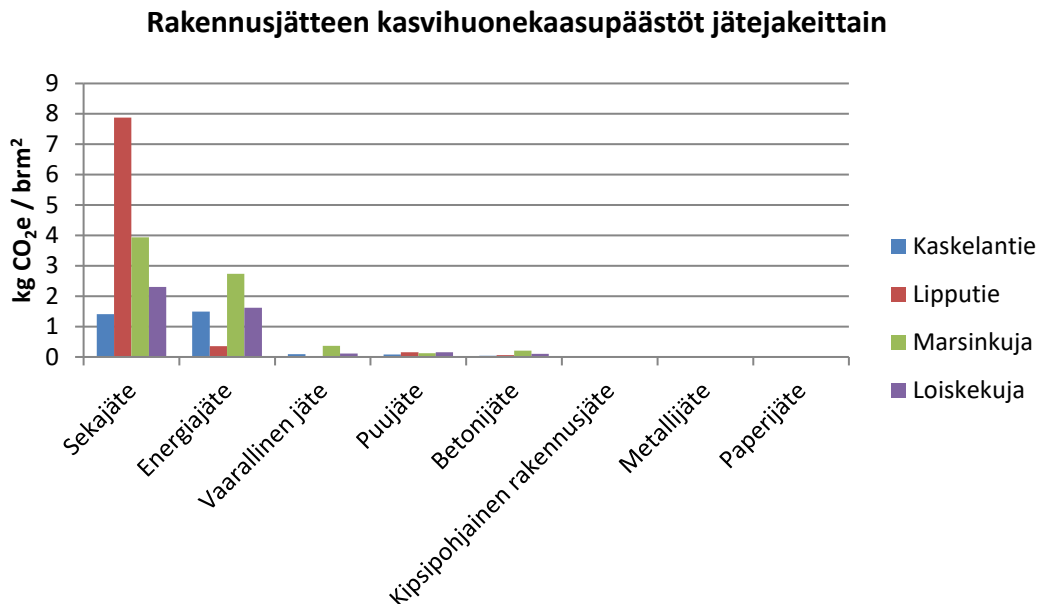
Kaavio 10: Rakentamismuokkauksen kasvihuonekaasupäästöt bruttoalaa kohden

Työmaan kaukolämmön ja polttoaineiden kulutusten osalta lähtötietona käytettiin urakoitsijalta saatujen panoslistojen arvioita. Tiedossa ei ole mihin arviot perustuvat tai miten tarkkoja luvut ovat, joten näiden osalta tarkempi vertailu ei ole mielekäästä.

Sähkönkulutus ja täten sähkönkulutuksen päästöt ovat Lipputien työmaalla olleet suurimmat ja Loiskekujan työmaalla pienimmät. Työmaiden sähkönkulutukseen vaikuttaa muun muassa rakentamisen ajankohta ja sääolosuhteet. Sähkönkulutukset perustuvat muiden työmaiden osalta toteutuneeseen tietoon, mutta Kaskelantien osalta työmaan ollessa vielä käynnissä on jäljellä olevien kuukausien sähkönkulutus ennustettu.

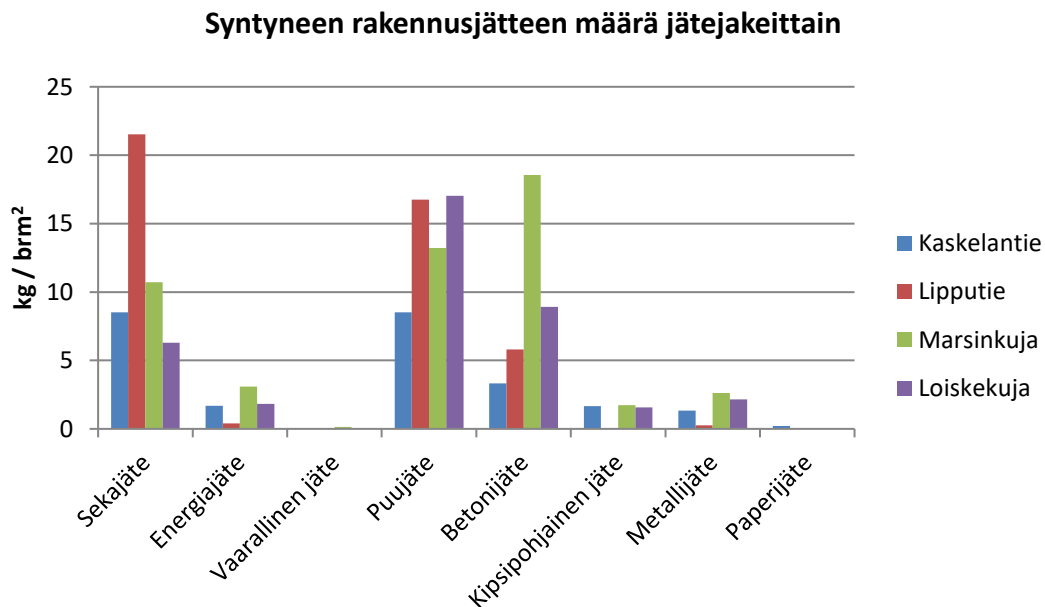
Rakennusjätteiden päästöjä on Kaskelantien työmaalla syntynyt yli puolet vähemmän kuin Lipputien työmaalla. Rakennusjätteiden kasvihuonekaasupäästöihin työmaalla on lajittelun kautta hyvät mahdollisuudet vaikuttaa. Tuloksiin vaikuttaa eniten se, miten paljon jätettä ylipäättään syntyy, miten tarkasti jätteet on lajiteltu jo työmaalla ja miten suuria seka- ja energiajätteiden osuudet ovat. Rakennusjätteen päästötietona on laskennassa käytetty laskentaohjelmasta löytyviä päästökertoimia eri jätejakeille.

Kaaviossa 11 on kuvattu eri jätelajien osuutta päästöistä.



Kaavio 11: Rakennusjätteen kasvihuonekaasupäästöt bruttoneliötä kohden jätelajittain

Kaaviossa 12 on esitetty eri jätelajien määrät bruttoneliötä kohden kiloina.



Kaavio 12: Rakennusjätteen määrät kiloina bruttoneliötä kohden jätelajittain

Kaavioista 11 ja 12 voidaan nähdä, että energiajätteellä ja sekajätteellä on suurimmat kasivhuonekaasupäästöt jätekiloa kohden. Muulla lajitellulla jätteellä päästöt ovat huomattavasti pienemmät.

3.5 Laskentatulosten tarkkuus

Tutkimuskohteiden hiilijalanjäljet on laskettu käyttäen samaa laskentamenetelmää ja mahdollisuuksien mukaan käyttäen samantasoisia lähtötietoja vertailtavuuden mahdollistamiseksi. Rakennuksen massat on suurelta osin muodostettu tietomallin avulla eli massojen tarkkuus on riippuvainen tietomallien tasosta. Todelliset rakennusmateriaalien määrät saattavat poiketa mallista ja teoreettisista määristä. Laskennasta on jätetty ulkopuolelle joitain pieniä merkityksettömäksi arvioituja massoja (pois rajattavan osa-alueen osuus rakennuksen kokonaismassasta alle 1 % ja kaikkien pois rajattujen päästölähteiden massa alle 5 % kokonaismassasta) ja laskennassa on käytetty oletuksia silloin, kun tietoa ei ole ollut saatavilla. Laskennan tulosta voidaan kuitenkin pitää hyvin suuntaa antavana ja vertailun mahdollistavana. Talotekniikka sisällytettiin tulokseen laskentaohjelman oletusten kautta, joten sen osalta tulos on epävarma ja vaatisi tarkempaa tarkastelua.

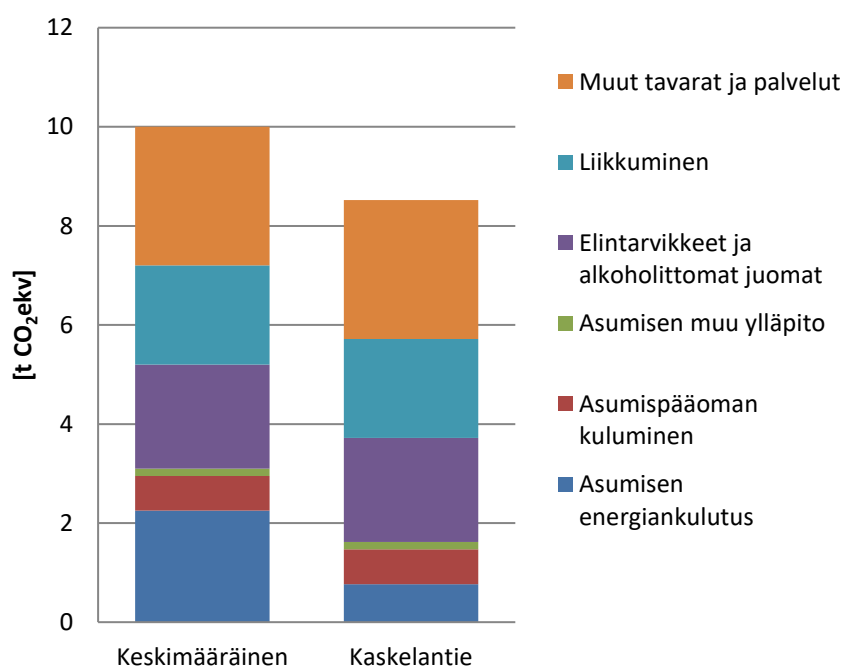
Energian käyttövaiheen päästöjen osalta täytyy huomioida, että energiankulutuksen osalta laskennassa ei ole huomioitu energian päästökertoimien kehittymistä. Energian päästötiedot on laskettu vuoden 2016 päästötiedoilla koko elinkaarelle, vaikka ennustettavasti energiatuotannon päästöt tulevat vielä pienentymään tulevaisuudessa. Lisäksi rakennuksen todellinen energiankulutus voi poiketa laskennallisesti energiakulutuksesta merkittävästi.

Laskennassa käytetty päästötieto on standardien EN15804 tai ISO14040 mukaista. Päästötietona on käytetty ensisijaisesti oikean tuotteen päästötietoa ja tämän jälkeen mahdollisimman samankaltaisen tuotteen tai tuoteryhmän päästötietoja Suomesta, Pohjoismaista tai Euroopasta. Saman tuoteryhmänkin sisällä päästöt voivat kuitenkin todellisuudessa poiketa toisistaan merkittävästi valmistusmenetelmien ja valmistuksessa käytetyn energiamuodon vuoksi.

3.6 Asukkaan hiilijalanjälki

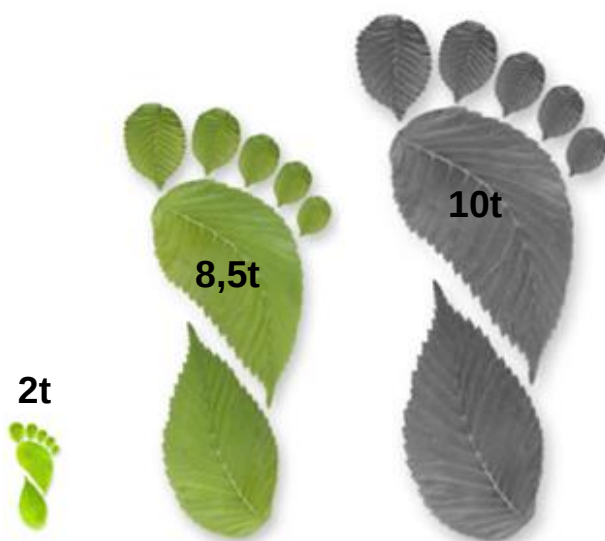
Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki ei huomioi käyttäjän kuluttajalaitteiden kuluttamaa sähköenergiaa. Tässä luvussa on kuitenkin kuvattu energiatehokkaamman uudisrakennuksen vaikutusta keskivertosuomalaisen hiilijalanjälkeen. Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki on Ympäristöministeriön rahoittaman Kulutuksen hiilijalanjäljen indikaattori -hankkeen (Salo ym. 2016) mukaan noin 10 t CO₂e vuodessa. Suomalaisen hiilijalanjäljen jakautumista eri kulutusmenojen kesken on kuvattu kaaviossa 13. Keskivertosuomalaisen hiilijalanjäljen viereen on laskettu tähän pohjautuen Kaskelantie 1:ssä asuvan asukkaan hiilijalanjälki. Laskelmissa on tarkasteltu ainoastaan asumisen energiankulutuksen vaikutusta hiilijalanjälkeen. Muiden kulutusmenojen on tässä oletettu olevan keskivertosuomalaisen tasolla eli muita asukkaiden vaihtelevia kulutustottumuksia ja valintoja ei ole huomioitu laskelmassa.

Asukkaan hiilijalanjäljen muodostuminen



Kaavio 13: Asukkaan hiilijalanjälki

Kaskelantie 1:n asukkaan hiilijalanjäljeksi saadaan 8,5 t CO₂e vuodessa. Maailmanlaajuinen tavoite on pienentää yhden henkilön hiilijalanjälki kahteen hiilekvivalenttitonniin. Kuvassa 6 on esitetty maailmanlaajuinen tavoite ja Kaskelantie 1:n asukkaan hiilijalanjälki.



Kuva 6: Vuosittainen hiilijalanjälki per henkilö: Maailmanlaajuinen tavoite, Kaskelantie 1:n asukas ja keskivertosuomalainen

4 KEINOT JA KUSTANNUKSET

HIILIJALANJÄLJEN PIENENTÄMISESSÄ

Luvun 3.1 tulosten mukaan noin 65 % rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä riippuu rakennuksen energiankulutuksesta ja noin 20 % rakennusmateriaalien määrästä ja tuotevalinnoista. Energiankulutuksen hiilijalanjäljestä sähkönkulutuksen osuus kohteissa oli noin 25 % ja kaukolämmön osuus noin 75 %. Suurin potentiaali hiilijalanjäljen pienentämiselle on edelleen rakennuksen energiatehokkuuden parantamisessa, vaikka uudisrakennusten energiatehokkuus onkin parantunut sekä määräysten kehittymisen että kiinteistönomistajien toimenpiteiden ansiosta viimeisen 15 vuoden aikana paljon. Vuonna 2018 voimaan tullut lähes nollaenergiarakentamisen lainsäädäntö kiristi energiatehokkuuden vaatimustasoa edelleen 10–15 %.

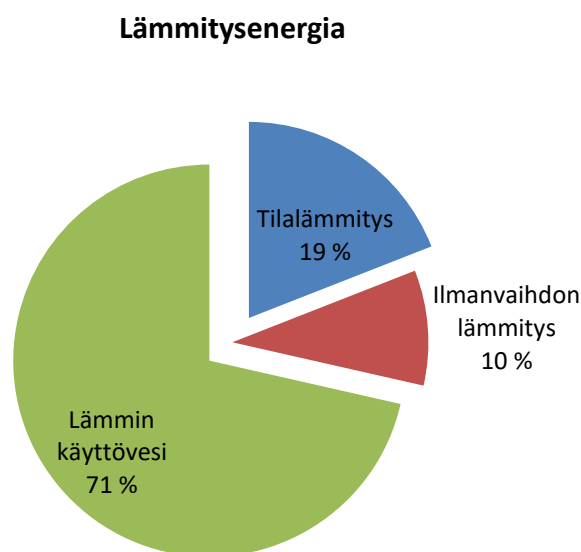
Rakennuksen vaipan ratkaisut vaikuttavat kasvihuonekaasupäästöihin niin materiaalivalintojen ja materiaalimäärien kuin rakennuksen energiatehokkuudenkin kautta. Energiatehokkuuden lisäksi rakennuksen vaipalla on monia muita tehtäviä ja asioita, joihin se vaikuttaa. Tällaisia ovat esimerkiksi säänsuojaus, palontorjunta, ääneneristävyys, turvallisuusasiat ja ilmanpitävyys, jotta ilmanvaihto voi toimia suunnitellusti. Rakennetyyppien valintaan vaikuttaa myös rakennettavan rakennuksen koko ja vaadittava kantavuus. Tässä luvussa tarkastellaan kuitenkin vain vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin ja kustannuksiin.

4.1 Ratkaisujen optimointi

Rakennuksen energiatehokkuus on monen asian summa ja eri ratkaisuilla on erilaisia yhteisvaikutuksia energiankulutukseen. Lisäksi materiaaleja ja tekniikkaa lisäämällä rakennusmateriaalien kasvihuonekaasupäästöt monesti kasvavat, vaikka energiankulutus ja sitä kautta käytönajan päästöt pienenisivät. Seuraavissa luvuissa on esitetty eri ratkaisujen vaikutuksia energiatehokkuuteen ja materiaalien hiilijalanjälkeen kustannukset huomioiden.

4.1.1 Energiatehokkuus

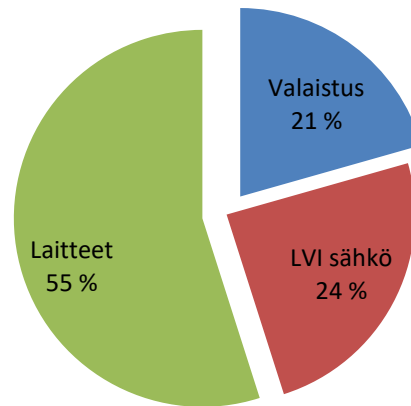
Tyypillisesti suurin osa asuinkerrostalon lämmitysenergiasta kuluu lämpimään käyttöveteen. Kaskelantie 1 asuinkerrostalon energiankulutuksen laskennalliset jakaumat lämmitysenergian osalta on esitetty kaaviossa 14. Koska hiilijalanjälkilaskennassa käytettiin rakennuksen energiankulutuksen lähtötietona kohteiden laskennallisia ostoenergiamääriä energiatodistuksista, on rakennuksen energiankulutusta tässä tarkasteltu E-lukulaskelmien pohjalta.



Kaavio 14: Lämmitysenergian laskennallinen jakaantuminen Kaskelantie 1:ssä loppukäyttökohteiden kesken (Milla Vähä-Ruohola/Optilan Oy)

On ennustettu, että ilmastonmuutoksen johdosta lämmityksen tarve pienenee 10–13 % prosenttia ja jäähdytyksen tarve kasvaa 13–19 % vuoteen 2030 mennessä (Jylhä ym. 2011), vaikka jäähdytystä asuinkerrostaloissa käytetäänkin vielä vähän.

Sähkönkulutuksesta taas puolet syntyy laitteiden sähkönkulutuksesta. Kaskelantie 1 asuinkerrostalon energiankulutuksen jakaumat sähkönkulutuksen osalta on esitetty kaaviossa 15.

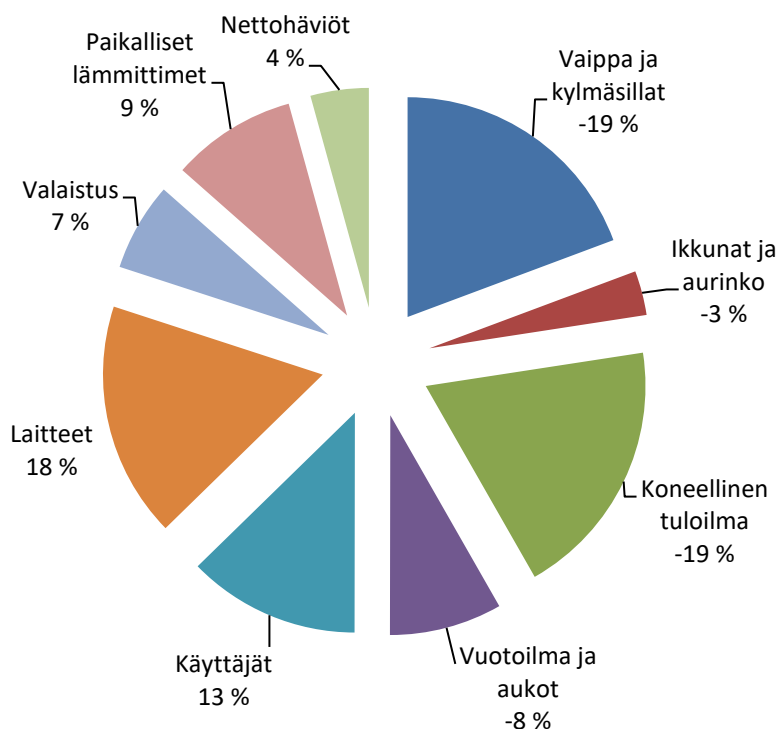
Sähkönkulutus

Kaavio 15: Sähkönkulutuksen laskennallinen jakaantuminen Kaskelantie 1:ssä loppukäyttökohteiden kesken (Milla Vähä-Ruohola/Optiplan Oy)

Vaikka rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkilaskenta ei huomioi asukkaan käyttämää laitesähköä, muodostaa tämä ison osan rakennuksessa käytetystä sähköstä. Tutkimusten mukaan kotitalouksien sähkönkulutus ei ole viime vuosina pienentynyt, vaikka sähkölaitteiden energiatehokkuutta on säädelty EU-direktiivien mukaisesti, sillä laitteiden kokonaismäärä kotitalouksissa on kasvanut.

Rakennuksen lämpötaseella tarkoitetaan lämmön tuottojen ja lämpövuotojen erotusta. Kaskelantie 1:n lämpötase on esitetty kaaviossa 16.

Lämpötase



Kaavio 16: Lämpötaseen muodostuminen Kaskelantie 1:ssä (Milla Vähä-Ruohola/Optiplan Oy)

Energiatavokkaan rakennuksen edellytyksenä on korkeatasoinen rakennuksen vaippa ja ikkunat, optimaalinen määrä eristystä ja ilmatiiveys. Energiankulutuksen päästöihin vaikuttaa myös rakennuksen sijainti ja saatavilla olevat energiamuodot. International Energy Agency:n tutkimusraportissa (OACD/IEA 2013a) tutkittiin energiatavokkuuden parantamisen toimenpiteitä teknologian kehittymisen kautta seuraavina vuosikymmeninä ja tärkeimmiksi toimenpiteiksi Suomen olosuhteissa nousivat hyvin eristetyt ikkunat, passiivisuunnitteluratkaisut ja elinkaarikustannusvertailuin optimoidut rakennuksen vaipan eristeratkaisut. Raportissa todettiin suurimman osan rakennuksista olevan tehottomampia kuin voisi olla, koska ratkaisuja ei optimoida elinkaarikustannuslaskelmien kautta.

Seuraavien alaotsikoiden alle on koottu energiankulutusten jakaumien, lämpötaseen muodostumisen ja IEA:n tutkimuksessa esitettyjen tärkeimpien toimenpiteiden perusteella energiatavokkuuteen vaikuttavia ratkaisuja ja keinoja hiilijalanjäljen pienentämiseksi energiatavokkuuden kautta.

Passiiviset suunnitteluratkaisut

Energiatehokkuuden parantamisessa passiiviset rakennuksen arkkitehtuuriin liittyvät ratkaisut ovat tärkeässä roolissa ja ensimmäinen keino energiankulutuksen minimointiin. Passiivisia suunnitteluratkaisuja ovat esimerkiksi rakennuksen edullinen suuntaus, rakennuksen muoto, ikkunoiden ja seinäpinnan välisen suhteen optimointi, ikkunoiden ja varjostusten optimaaliset sijoittelut, huonesyvyyyden optimointi, painovoimaisen ilmanvaihdon hyödyntäminen, terminen massa, heijastavat katto- ja seinäpinnat, ikkunakalvot, ulkopuoliset varjostukset, dynaaminen aurinkosuojaus ja vapaajäähdytyksen hyödyntäminen. Vapaajäähdytyksellä tarkoitetaan ulkoilman, maaperän, vesistön viileyden tai veden hyödyntämistä jäähdytyksessä niin, että kohteessa voidaan vähentää koneellisen jäähdytyksen käyttöä.

Ilmanvaihdon suunnittelu ja toteutus

Ilmanvaihdon suunnittelulla ja toteutuksella on suuri vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen. Tutkimuskohteissa oli kaikissa keskitetty ilmanvaihto. Optiplanin laatiman selvityksen mukaan energiatehokkaampi ja energiakustannuksiltaan keskitettyä ilmanvaihtoa edullisempi ilmanvaihtoratkaisu asuinkohteessa olisi hajautettu huoneistokohtainen ilmanvaihto pyörivällä lämmön talteenottokennolla ja tasavirtapuhaltimella (Liljeström & Törnblom 2009). Selvityksessä energiatehokkaimmalla huoneistokohtaisella ratkaisulla saatiin noin 30 % säästö energiankulutuksessa vuodessa energiatehokkaimpaan keskitetyn ilmanvaihdon ratkaisuun verrattuna.

Keskitetyn ilmanvaihtokoneen koko pyritään monesti minimoimaan koneen tilantarpeen vuoksi. Tällöin koneen sähkötehokkuuden tarve kuitenkin kasvaa ja energiatehokkuus heikkenee. Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon eli SFP-luvun alentaminen pienentää energiankulutusta ja alentaa elinkaarikustannuksia, mutta toisaalta voi kasvattaa rakentamiskustannuksia suuremman konehuoneen ja kanavistojen tilantarpeen kautta.

Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla voidaan pienentää ilmanvaihdon puhallinsähkön sekä lämmitys- ja jäähdytysenergian tarvetta. Keskitetyn ilmanvaihdon osalta tarpeenmukainen ilmanvaihto katsotaan monesti monimutkaiseksi ja kalliiksi ratkaisuksi,

mutta hajautetussa ilmanvaihdossa koneen ollessa huoneistokohtainen ilmanvaihto toimii siinä asunnossa missä sitä ohjataan ja on helpommin hallittavissa.

Yksi merkittävimmistä yksittäisistä keinoista pienentää lämmitysenergian kulutusta on ilmanvaihdon lämmöntalteenotto, jossa poistettavan ilman lämpöenergiaa siirretään takaisin tuloilmaan. Uudisrakennuksissa määräysten mukainen lämmöntalteenotto on vähintään 55 prosenttia ilmanvaihdon tarvitsemasta lämmitysenergiasta. Tätä voidaan parantaa pyrkimällä siihen, että lämmön talteenotto on mahdollisimman kattava. Asuntokohtaisilla koneilla LTO-vuosihiyötysuhteen saavutettava maksimitaso on korkeampi kuin keskitetyllä koneella.

Lämmin käyttövesi

Lämpimän käyttöveden osuus Kaskelantie 1:n lämmitysenergian kulutuksesta oli kaavion 14 mukaisesti laskennallisesti 71 %. Lämpimän käyttöveden energiankulutus muodostuu käyttöveden lämmityksen tarvitsemasta lämpöenergiasta ja käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta. Lämpöhäviöitä voidaan pienentää eristämällä putket ja putkivarusteet hyvin. Kuluttajan käyttämän lämpimän veden energiankulutus sisältyy rakennuksen energiankulutuksen päästölaskelmaan, vaikka lämpimän käyttöveden kulutus riippuu osittain käyttäjien vedenkulutustottumuksista ja muuten rakennuksen hiilijalanjälkilaskelmasta jätetään sähkön- ja vedenkulutusten päästöjen osalta kuluttajalaitteet huomioimatta. Lämpimän käyttöveden energiankulutusta voidaan pienentää esimerkiksi kiinteistökohtaisella jäteveden lämmöntalteenotolla, vakiopaineventtiileillä, jotka pitävät hanoista tulevan veden virtaaman halutulla tasolla ja leikkaavat ylipaineen pois tai vettä säästävillä vesikalustevalinnoilla. Myös huoneistokohtainen vedenkäytöstä laskuttaminen ohjaa tehokkaasti 10–30 % säästeliäämpään vedenkäyttöön (Ympäristöministeriö 2009).

Valaistus

Valaistuksen määrä voidaan optimoida tarpeenmukaiseksi liike- ja aikaohjauksin, jotta välttyään turhalta valaistukselta. Rakennuksen muodolla ja suuntauksella, ikkunoiden koolla sekä sisäpintojen materiaaleilla ja värityksillä voidaan myös vaikuttaa tarvittavan valaistuksen määrään. Asuntojen kylpyhuoneiden, eteisen ja keittiöiden kiinteä valaistus

kannattaa hoitaa energiatehokkailta ja pitkäikäisillä LED-valaisimilla perinteisesti käytettyjen loisteputkien sijaan.

Ikkunat

Useimmiten ikkunan pitäisi päästää sisään mahdollisimman paljon valoa, mutta estää kesällä auringonvalosta aiheutuva tilan lämpeneminen ja talvella maksimoida auringonvalon lämmityksen hyöty eikä päästää lämpöä karkaamaan ulos.

Yleisesti käytössä olevat ikkunatyypit Suomessa ja muissa Pohjoismaissa ovat jo muuta maailmaa energiatehokkaammat ja Suomessa käytetään paljon energiatehokkaita ikkunoita, joissa on useampi lasikerros, selektiivilasit, puiset karmit ja eristyslaseissa täytekaasuja.

IEA:n tutkimuksessa kuvattiin ikkunateknologian parantumista tulevaisuudessa (OACD/IEA 2013b). Taulukon 11 mukaisesti tulevaisuuden ikkunoissa voidaan käyttää energiatehokkuuden parantamiseksi tyhjölaseja, joissa lasien väliin imetään eristävä tyhjiö ja dynaamista auringonsuojausta, jossa lasien tummuus säätyy tarpeen mukaan, jolloin ikkunalasin aurinkoenergian läpäisykerroin (g_g -arvo) vaihtelee ja mahdollistaa sen, että lämmitystarve ei kasva talvella. Edistyneisemmät ratkaisut ovat kuitenkin vielä melko kalliita.

Taulukko 11: Ikkunateknologia nyt ja tulevaisuudessa (OACD/IEA 2013b)

Keskeinen tekninen ominaisuus	Paras teknologia markkinoilla yleisesti käytössä	Paras teknologia markkinoilla, käytössä edelläkävijöillä	Tulevaisuuden teknologia
Matalat U-arvot	Triplalaset, kaksinkertaiset selektiivipinnoitteet, kehittyneet karmit	Nelinkertaiset lasit, eksoottiset inertit kaasut, aerogeelitäytteiset karmit	Tyhjölaset, joissa kahden lasin väliin imetään tyhjiö. Moninkertaiset kennolasit
Muuttuvat g-arvot	Automatisoitu auringonsuojaus, ulkopuolinen varjostus, arkkitehtuuriset ominaisuudet	Dynaamiset lasi, joiden tummuutta voidaan säädellä tarpeen mukaan	Dynaaminen auringonsuojaus yhdessä tyhjölasisituksen kanssa

Materiaalina ikkunan kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttaa lasikerrosten lukumäärä ja paksuus sekä karmien materiaali. Täysalumiini-ikkunoita käytetään yleensä isoilla

lasipinnoilla, sillä alumiini kestää paremmin lasin tuoman painon. Puualumiini-ikkuna on yleisesti uudisrakennustuotannossa kerrostaloissa käytettävä ikkunatyyppe. Tuotevaiheen A1–A3 osalta alumiini-ikkunan päästöt ovat lähes kaksinkertaiset puualumiini-ikkunaan verrattuna. Kuitenkin 60 vuoden tarkastelujaksolla alumiini-ikkunaa ei oleteta uusittavan, kun taas puualumiini-ikkunat voidaan olettaa uusittavan kerran. Taulukossa 12 on esitetty vertailu alumiini- ja puualumiini -ikkunan kasvihuonekaasupäästöistä yhtä ikkunaneliötä kohden elinkaaren eri vaiheisiin jaettuna.

Taulukko 12: Alumiini- ja puualumiini-ikkunan kasvihuonekaasupäästöt ikkunaneliötä kohden

	A1–A3	A4	B1–B5	C1–C4	Yht. [kgCO ₂ e/m ²]
Alumiini-ikkuna	138,0	0,1	0,0	0,1	138,2
Puualumiini-ikkuna	76,0	0,2	76,0	3,0	155,1

Alumiini-ikkunoiden karmi- ja puitterakenne on kuitenkin energiatehokkuuden suhteen puualumiini-ikkunaa haastavampi alumiinin lämmönjohtavuuden ollessa huomattavasti puuta suurempi. Markkinoilla on kuitenkin saatavilla energiatehokkaita täysalumiini-ikkunoita (Domlux 2018).

Ilmatiiveys

Ilmatiiveys on oleellinen osa energiatehokkuutta ja tärkeä asia ilmanvaihdon ja rakennuksen toimivuuden kannalta. Kunnolla tiivistetyt rakenteet eivät päästä lämmitettyä ilmaa karkaamaan ulos tai päästä kesällä kuumaa ilmaa sisälle. Rakennuksen toteutusvaiheessa on hyvä kiinnittää huomiota saumojen ja läpivientien tiivistämiseen sekä varmistaa ilmatiiveys mittauksin.

Kustannusvaikutukset

Energiatehokkuuden parantamisen vaihtoehtoja ja niiden vaikutusta rakennuksen energiankulutukseen, kasvihuonekaasupäästöihin ja kustannuksiin on tutkittu käyttäen esimerkkitapauksena Kaskelantie 1 -kohdetta. Taulukossa 13 on esitetty energiatehokkuutta parantavia vaihtoehtoisia suunnitteluratkaisuja ja näiden vaikutus kohteelle laskettuun E₂₀₁₈-lukuun ja lasketun ostoenergian määrään sekä kasvihuonekaasupäästöihin 60 vuoden tarkastelujakson aikana.

Ratkaisuina on tarkasteltu lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen parantaminen 66,7 %:sta 78 %:iin, ikkunan U-arvon parantaminen 0,8:sta 0,6:een, ilmanvaihdon tarpeenmukainen huoneistokohtainen ohjaus, yläpohjan U-arvon parantaminen 0,13:sta 0,07:ään, ulkoseinän U-arvon parantaminen 0,17 -> 0,14:ään, alapohjan U-arvon parantaminen 0,16:sta 0,1:een, ilmatiiveyden parantaminen 2:sta 1:een m³/h,m₂ sekä näiden yhteisvaikutus. Lisäksi on tarkasteltu erikseen ikkunan g-arvon vaikutusta ja ilmanvaihdon toteuttamista keskitetyn sijaan hajautettuna.

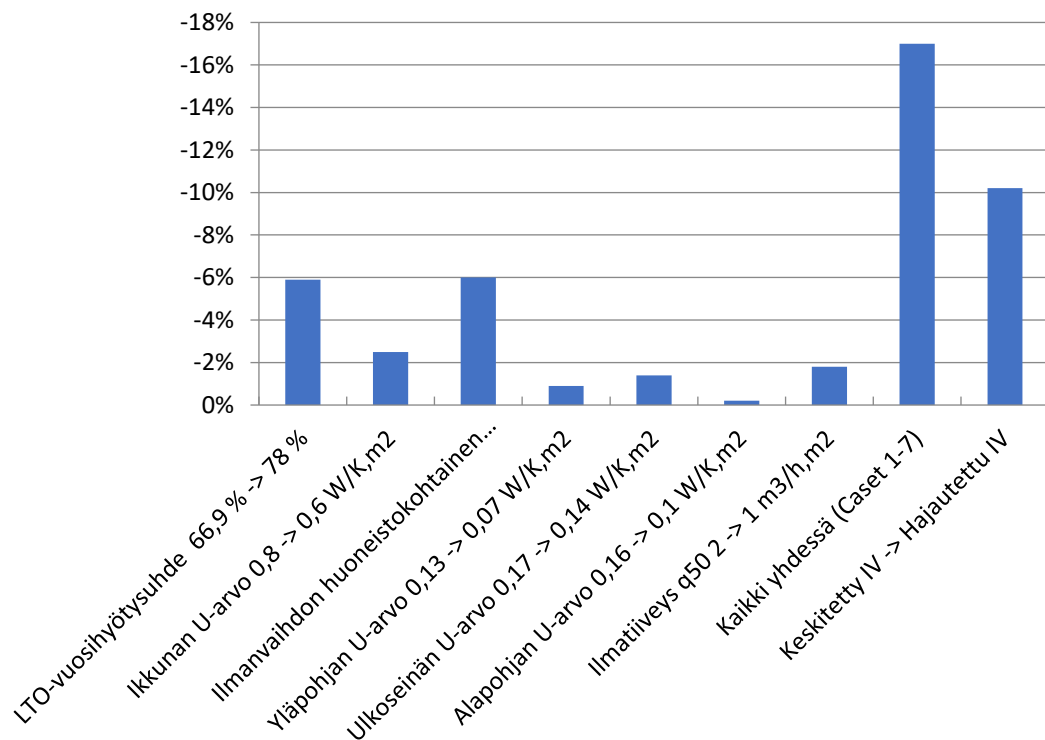
Taulukko 13: Energiatehokkuutta parantavien suunnitteluratkaisujen vaikutus E₂₀₁₈-lukuun ja lasketun ostoenergian määrään esimerkikohteessa sekä vaikutus energian käyttövaiheen kasvihuonekaasupäästöihin bruttoalaa kohden. (Energialaskenta Milla Vähä-Ruohola/Optiplan Oy)

Case		Vaikutus E-lukuun (kWh/m ² ,a)	Vaikutus lasketun ostoenergian määrään, sähkö (kWh/m ² /a)	Vaikutus lasketun ostoenergian määrään, kaukolämpö (kWh/m ² /a)	Vaikutus energian käyttövaiheen kasvihuonekaasupäästöihin vs. perustapaus (60a)
0	Perustapaus				
1	LTO-vuosihyötysuhde 66,9 % -> 78 %	-2,4	+0,3	-5,4	-5,9 %
2	Ikkunan U-arvo 0,8 -> 0,6 W/K,m ²	-1,1	0,0	-2,2	-2,5 %
3	Ilmanvaihdon huoneistokohtainen ohjausmahdollisuus +30 % ja -40 %	-3,6	-1,4	-3,6	-6,0 %
4	Yläpohjan U-arvo 0,13 -> 0,07 W/K,m ²	-0,4	0,0	-0,8	-0,9 %
5	Ulkoseinän U-arvo 0,17 -> 0,14 W/K,m ²	-0,7	0,0	-1,2	-1,4 %
6	Alapohjan U-arvo 0,16 -> 0,1 W/K,m ²	-0,2	0,0	-0,2	-0,2 %
7	Ilmatiiveys q ₅₀ 2 -> 1 m ³ /h,m ²	-0,9	0,0	-1,6	-1,8 %
Kaikki yhdessä (Caset 1-7)		-10,8	-1,2	-18,6	-17,0 %
+	Ikkunan g-arvo: itä, etelä, länsi 0,38 -> 0,25; pohjoinen 0,55 -> 0,25	+0,5	0,0	+1,0	+1,2%
+	Keskitetty IV -> Hajautettu IV	-3,9	+1,0	-10,0	-10,2 %

Ikkunan g_g-arvon pienentäminen on tarkasteltu erikseen, sillä se nostaa rakennuksen lämmöntarvetta. Jäähdytyksen tarpeen kasvaessa ja rakennuksen lämpöolojen hallinnassa g-arvon pienentäminen on kuitenkin tärkeä ratkaisu, ja kuten ikkunoita käsittelevässä osiossa sivulla 48 todettiin, on markkinoilla jo laseja, joiden tummuus

säätyy tarpeen mukaan, jolloin lämmitystarve ei ikkunan pienen g-arvon vuoksi kasvakaan talvella. Kaaviossa 17 on havainnollistettu tutkittujen energiaratkaisujen vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin 60 vuoden tarkastelujaksolla.

**Vaikutus energian käyttövaiheen kasvihuone-kaasupäästöihin
vs. perustapaus (60a)**



Kaavio 17: Eri energiaratkaisujen vaikutus käyttövaiheen kasvihuonekaasupäästöihin perustapaukseen verrattuna 60 vuoden tarkastelujaksolla

Seuraavassa taulukossa 14 on esitetty kustannuksia taulukossa 13 esitetyille ratkaisuille. Elinkaarikustannuslaskennassa laskentakorkona on käytetty 4 %, energian hinnan nousuna 2 % ja inflaationa 0 %.

Taulukko 14: Kustannukset 60 vuoden tarkastelujaksolla. (Kustannuslaskenta Joonas Ryyänen/Optiplan Oy)

Case	Investointikustannus €/m ²	Elinkaarikustannukset (60v) (€/m ²)	Takaisinmaksuaika (v)
0 Perustapaus			
1 LTO-vuosihyötysuhde 66,9 % -> 78 %	6,2	-1,5	40 vuotta
2 Ikkunan U-arvo 0,8 -> 0,6 W/K,m ²	7,1	2,8	yli 60 vuotta
3 Ilmanvaihdon huoneistokohtainen ohjausmahdollisuus +30 % ja -40 %	5,4	-2,9	29 vuotta
4 Yläpohjan U-arvo 0,13 -> 0,07 W/K,m ²	9,0	7,3	yli 60 vuotta
5 Ulkoseinän U-arvo 0,17 -> 0,14 W/K,m ²	4,3	1,7	yli 60 vuotta
6 Alapohjan U-arvo 0,16 -> 0,1 W/K,m ²	2,7	2,3	yli 60 vuotta
7 Ilmatiiveys q ₅₀ 2 -> 1 m ³ /h,m ²	3,3	0,1	yli 60 vuotta
Kaikki yhdessä (Caset 1-7)	39,0	6,9	yli 60 vuotta
+ Keskitetty IV -> Hajautettu IV	6,4	-3,4	35 vuotta

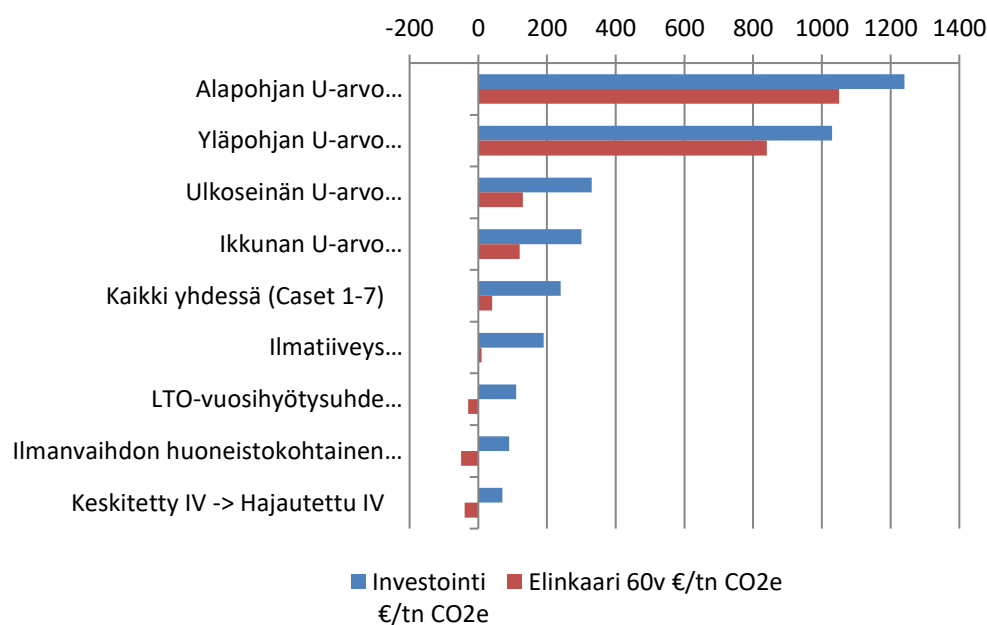
Elinkaarikustannuksiltaan kannattaviksi ratkaisuiksi 60 vuoden tarkastelujaksolla nousevat hajautettu ilmanvaihto, ilmanvaihdon huoneistokohtainen ohjausmahdollisuus ja LTO-vuosihyötysuhteen parantaminen.

Samuille energiaratkaisujen toimenpiteille on laskettu taulukon 14 perusteella hinta yhden kilon kasvihuonekaasupäästövähennykselle. Tulokset on esitetty taulukossa 15 ja havainnollistettu kaaviossa 18.

Taulukko 15: Energiatohokkuutta parantavien ratkaisujen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin ja hinta kasvihuonekaasupäästötonnin vähennykselle eri ratkaisuilla

Case	Vaikutus kg CO ₂ e/brm ²	Investointi €/tn CO ₂ e	Elinkaari 60v €/tn CO ₂ e
0 Perustapaus			
1 LTO-vuosihiyötysuhde 66,9 % -> 78 %	-56	110	-30
2 Ikkunan U-arvo 0,8 -> 0,6 W/K,m ²	-24	300	120
3 Ilmanvaihdon huoneistokohtainen ohjausmahdollisuus +30 % ja -40 %	-57	90	-50
4 Yläpohjan U-arvo 0,13 -> 0,07 W/K,m ²	-9	1030	840
5 Ulkoseinän U-arvo 0,17 -> 0,14 W/K,m ²	-13	330	130
6 Alapohjan U-arvo 0,16 -> 0,1 W/K,m ²	-2	1240	1050
7 Ilmatiiveys q ₅₀ 2 -> 1 m ³ /h,m ²	-17	190	10
Kaikki yhdessä (Caset 1-7)	-161	240	40
+ Keskitetty IV -> Hajautettu IV	-97	70	-40

Investointi ja elinkaarikustannus €/tn CO₂e eri energiaratkaisuilla



Kaavio 18: Investointi- ja elinkaarikustannus kasvihuonekaasupäästötonnin pienentämiselle eri energiaratkaisuilla

Elinkaarikustannuksiltaan ilmanvaihdon huoneistokohtaisella ohjausmahdollisuudella on lyhin takaisinmaksuaika. Tällä ratkaisulla myös hinta kasvihuonekaasutonnin vähentämiseksi sekä investointi- että elinkaarikustannuksen osalta on pienimpien joukossa. Käytännössä tämä tarkoittaisi esimerkiksi 5 000 m² asuinrakennuksessa 27 000 euron investointikustannusta ja 285 tonnin päästövähennystä. Hajautetulla ilmanvaihdolla hinta kasvihuonekaasutonnin vähentämiseksi tulee kannattavimmaksi sekä investointi- että elinkaarikustannusmielessä.

4.1.2 Energialähde

Sähköenergia

Kansallisen sähköntuotannon päästöt ovat laskeneet ja laskevat edelleen uusiutuvien energiamuotojen korvatta uusiutumattomia energialähteitä energiantuotannossa. Vaihtoehtona kansallisen sähköverkon ostosähkölle on oma paikallinen uusiutuvaan energiaan perustuva sähköntuotanto, joka voi olla esimerkiksi aurinkosähköä, tuulisähköä tai yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon järjestelmä eli CHP-laitos. Tuulivoiman hyödyntämispotentiaali kaupunkialueella on kuitenkin heikko ympäröivien rakennusten aiheuttaman tuulen turbulentsisuuden vuoksi. Lisäksi oma CHP-laitos vaatii paljon huoltoa ja ylläpitoa, joten suositeltavin vaihtoehto kansallisesta sähköverkosta hankittavalle ostosähkölle on aurinkosähkö omista aurinkopaneeleista.

Tutkimuskohteista Kaskelantie 1:ssä on hyödynnetty aurinkoenergiaa. Kaskelantie 1:ssä sähköenergian tarve on noin 346 000 kWh/vuosi (43 kWh/m²). Kiinteistön sähkönkulutuksen lisäksi luku sisältää käyttäjälaitteisiin ja käyttäjän valaistukseen kuluvan sähkön. Kiinteistösähkön osuus on noin 131 000 kWh/vuosi (16 kWh/m²). Useimmiten kustannustehokkain tapa vähentää ostosähköenergian kulutusta on aurinkosähköjärjestelmän asentaminen, jolla aurinkosähkön tuotanto pystytään hyödyntämään kiinteistön omaan kulutukseen lähes kokonaan. Tämän vuoksi kohteeseen soveltuva aurinkosähköjärjestelmä on mitoitettu ilmanvaihdon pohjakuorman perusteella. Tällöin kohteen aurinkosähköjärjestelmä on nimellisteholtaan 12 kWp ja paneelien pinta-ala yhteensä noin 70 m². Aurinkopaneelit sijoitetaan kohteen katolle noin 15 asteen kaltevuuskulmaan ja suunnataan kohti etelää rakennuksen katon suuntaisesti. Nimellisteholtaan 12 kWp aurinkosähköjärjestelmän vuotuinen sähköntuotanto on noin 10 000 kWh/v. Aurinkosähköjärjestelmällä saavutettavat päästövähennykset ovat aurinkopaneelien hiilijalanjälki huomioiden 60 vuoden tarkastelujaksolla yhteensä 118 t CO₂e. Aurinkosähköjärjestelmän investointikustannus

on kokonaisuudessaan noin 16 000 € (alv 0 %). Elinkaarikustannukset 60 vuoden laskentajaksolle nykyarvoilla laskettuna ovat noin 24 000 € (alv 0 %) ja aurinkosähköllä korvattavan verkkosähkön osalta noin 27 000 € (alv 0 %). Aurinkosähköjärjestelmän avulla säästetään siis 60 vuoden elinkaaren aikana noin 3 000 €. Taulukossa 16 on esitetty hinnat kasvihuonekaasupäästötonnin vähentämiseksi aurinkosähköjärjestelmän avulla.

Taulukko 16: Hinnat kasvihuonekaasupäästötonnin vähentämiseksi aurinkosähköjärjestelmän avulla

	Investointi €/tn CO ₂ e	Elinkaari 60v €/tn CO ₂ e
Aurinkopaneelit 0 m ² -> 70 m ²	135	-25

Elinkaarikustannuslaskennassa laskentakorkona on käytetty 4 %, sähkön hinnan nousuna 2 % ja inflaationa 0 %.

Lämpöenergia

Lämmönlähteenä kaukolämmön vaihtoehtona voi oman CHP-laitoksen lisäksi olla esimerkiksi maalämpö tai oma lämpökattila. Omalla lämpökattilalla rakennus voitaisiin lämmitellä biopolttoaineilla kuten pelleteillä. Lämpökattila ja pellettien säilytys vaatii kuitenkin paljon tilaa eikä biopolttoaineita hyödyntävää kattilaa suositella tiiviille kaupunkialueelle, joten potentiaalisin vaihtoehto kaukolämmölle on maalämpö.

Kaskelantie 1:ssä lämpöenergian tarve on noin 550 000 kWh/vuosi (68 kWh/m²). Lämpöenergia voidaan kattaa kokonaisuudessaan kaukolämmöllä, jolloin Vantaan Energian kaukolämmön päästökertoimella 0,20 kg CO₂e/kWh vuotuiset päästöt ovat noin 110 t CO₂e. Kohteen tontin pinta-alan ollessa riittävä, on maalämpö potentiaalinen vaihtoehto kaukolämmölle. Kun maalämpöjärjestelmä mitoitetään siten, että noin 95 % kohteen lämpöenergian tarpeesta katetaan maalämmöllä ja loput 5 % sähköisellä lisälämmityksellä, tarvitaan tällöin 18 kpl noin 300 m syvyisiä maalämpökaivoja. Maalämpöjärjestelmän teho on noin 130 kW. Tällöin maalämpöratkaisussa kohteen sähköenergian tarve lämmityksessä on noin 177 000 kWh/vuosi ja kansallisen verkkosähkön päästökertoimella 0,23 kg CO₂e/kWh vuotuiset päästöt maalämpöratkaisulla ovat noin 41 t CO₂e. Maalämmön avulla säästetään siis 69 t CO₂e vuodessa kaukolämpöön verrattuna. Myös kaukolämpöyhtiöt ovat asettaneet tavoitteekseen kaukolämmön päästöjen pienentämisen, joten tulevaisuudessa kaukolämmön päästöjen edelleen pienentyessä vertailun tulos muuttuu.

Maalämpöjärjestelmän investointikustannukset ovat noin 270 000 € (alv 0 %) sisältäen maalämpöjärjestelmän lisäksi myös suunnittelun ja valvonnan kustannukset. Kaukolämmön investointikustannukset ovat noin 50 000 € (alv 0 %) sisältäen liittymismaksun sekä lämmönjakokeskuksen asennuksineen. Maalämpöjärjestelmän elinkaarikustannukset 60 vuoden tarkastelujaksolla nykyarvoilla laskettuna ovat noin 1 240 000 € (alv 0 %) ja kaukolämmön noin 970 000 € (alv 0 %). Maalämpöjärjestelmä on siis 60 vuoden elinkaaren aikana noin 270 000 € edullisempi kaukolämpöön verrattuna. Takaisinmaksuaika on 16 vuotta. Elinkaarikustannuslaskennassa laskentakorkona on käytetty 4 %, sähkön sekä lämmön hinnan nousuna 2 % ja inflaationa 0 %. Viimeisen 10 vuoden aikana kaukolämmön hinta on kuitenkin noussut hieman sähkön hintaa nopeammin.

Aurinkosähkön ja maalämmön tarkastelut tutkimusta varten teki Oskari Loikkanen Optiplan Oy:stä. Maalämpöjärjestelmän materiaalien hiilijalanjälki mukaan huomioiden maalämmöllä kasvihuonekaasupäästöt ovat 60 vuoden tarkastelujaksolla lähes 50 % pienemmät kuin kaukolämmöllä. Taulukossa 17 on esitetty hinnat kasvihuonekaasupäästötonnin vähentämiselle käyttämällä kaukolämmön sijaan maalämpöä.

Taulukko 17: Hinnat kasvihuonekaasupäästötonnin vähentämiselle maalämpöjärjestelmän avulla

	Investointi €/tn CO ₂ e	Elinkaari 60v €/tn CO ₂ e
Kaukolämpö -> Maalämpö	64	-78

Laskelma on tehty vuoden 2016 Vantaan Energian kaukolämmön ja kansallisen verkkosähkön päästökertoimilla. Päästöjen on oletettu pysyvän 60 vuoden tarkastelujakson samana, vaikka ennustettavasti kaukolämmön energiatuotannon päästöt tulevat vielä pienentymään tulevaisuudessa.

4.1.3 Ulkoseinätyyppi

Luvun 3.3.2 tarkastelujen perusteella merkittävin ero ulkoseinärakenteen kasvihuonekaasupäästöihin syntyy kohteiden ei-kantavissa ulkoseinissä betonirakenteisen ja termorankarakenteisen puuverhoillun ulkoseinän välille. Korvaamalla ei-kantavat betonirakenteiset ulkoseinät termorankarakenteisella puuverhotulla ulkoseinällä voidaan tulosten perusteella puolittaa ulkoseinien osuus rakennusmateriaalien hiilijalanjäljestä. Taulukossa 18 on esitetty ei-kantavien

julkisivujen osalta ulkoseinäratkaisujen investointikustannuserot ja päästöerot per seinäneliö. Vertailujen rakennetyyppien tarkempi sisältö on esitetty luvussa 3.3.2.

Taulukko 18: Ei-kantavan ulkoseinäratkaisun vaikutus investointikustannukseen ja rakennusmateriaalien kasvihuonekaasupäästöihin (Kustannusarviot Joonas Ryyänen/Optiplan Oy)

	€/seinä m ²	kg CO ₂ e/seinä m ²	€/tn CO ₂ e
Betonisandwich -> termorankarakenne ja puuverhoilu	-9	-73	-100
Julkisivumuuraus -> Betonisandwich	-88	-11	-8 000

Pienempipäästöinen termorankarakenteinen puuverhottu ulkoseinä on betonisandwich-ulkoseinää ja betonisandwich-seinä taas julkisivumuuratua ulkoseinää edullisempi toteuttaa. Tällöin muutokset rakennetyypeissä johtavat sekä investointikustannusten että elinkaaren kasvihuonekaasupäästöjen pienentymiseen. Esimerkiksi 2 000 neliön julkisivulla betonisandwich-seinän vaihtaminen termorankarakenteiseksi puulla verhotuksi seinäksi tämä tarkoittaisi noin 2000 euron säästöä investointikustannuksissa ja 146 tonnin vähennystä kasvihuonekaasupäästöihin. Julkisivumuuratun ulkoseinän vaihtaminen betonisandwich-seinäksi taas tarkoittaisi 2000 neliön julkisivulla 176 000 euron säästöä ja 22 tonnin vähennystä kasvihuonekaasupäästöihin. Tässä ei kuitenkaan oteta kantaa muihin rakennetyypin vaihtamisen vaikutuksiin rakennuksen elinkaaren aikana, esimerkiksi huolto- ja uusimistarpeisiin, jotka vaikuttavat elinkaarikustannuksiin. Myös esimerkiksi julkisivun ääneneristävyyden suhteen kevyempi puuverhottu termorankajulkisivu saattaa vaatia ääneneristävyydeltään paremmat ikkunat ja ovet ja rakenteisiin tulevien liitosten merkitys on suurempi. Lisäksi julkisivumuuratulla ulkoseinätyypillä on muita vertailussa mukana olleita ulkoseinätyyppejä parempi U-arvo (0,17 vs 0,15), mikä pienentää rakennuksen energiankäytön osalta kasvihuonekaasupäästöjä ja kustannuksia.

Kantavissa ulkoseinissä suurin ero kasvihuonekaasupäästöissä oli tiiliverhotun julkisivun ja rapatun julkisivun välillä. Taulukossa 19 on esitetty kantavien julkisivujen osalta ulkoseinäratkaisujen investointikustannuserot ja päästöerot per seinäneliö.

Taulukko 19: Kantavan ulkoseinäratkaisun vaikutus investointikustannukseen ja rakennusmateriaalien kasvihuonekaasupäästöihin (Kustannusarviot Joonas Ryyänen/Optiplan Oy)

	€/seinä m ²	kg CO ₂ e/seinä m ²	€/tn CO ₂ e
Tiiliverhottu -> Rapattu	-57	-20	-2 900

Myös rapatun kantavan seinätyypin investointikustannus ja kasvihuonekaasupäästöt ovat pienemmät kuin tiiliverhotulla teräsbetoniseinällä. 2000 neliön ulkoseinällä tämä tarkoittaisi 114 000 euron säästöä investointikustannuksissa ja 40 tonnin vähennystä kasvihuonekaasupäästöihin.

4.1.4 Yläpohja- ja kattorakenteet

Luvussa 3.3.1 todettiin kevytsoralla olevan puhallusvillaan verrattuna suuret kasvihuonekaasupäästöt. Ontelolaattayläpohja puurakenteisella harjakatolla osoittautui kevytsoralla eristettyä tasakattoa paremmaksi ratkaisuksi kasvihuonekaasupäästöjen näkökulmasta.

Taulukossa 20 on esitetty laskelma Lipputien ja Kaskelantien yläpohja- ja kattoratkaisujen investointikustannuserosta ja kasvihuonekaasupäästöistä.

Taulukko 20: Yläpohja- ja kattoratkaisun vaikutus investointikustannukseen ja rakennusmateriaalien kasvihuonekaasupäästöihin (Kustannusarviot Joonas Ryynänen/Optiplan Oy)

	€/katto m ²	kg CO ₂ e/katto m ²	€/tn CO ₂ e
Tasakatto kevytsoralla -> harjakatto puhallusvillalla	41	-17	2 400

Tuloksena on saatu 2 400 euron lisäys investointikustannuksiin yhden kasvihuonekaasutonnin vähentämiseksi. Käytännössä tämä tarkoittaisi esimerkiksi 900 m² yläpohjarakenteen muutoksena 37 000 euron lisäkustannusta 15 tonnin kasvihuonekaasupäästövähennykselle. Tässä ei oteta kantaa muihin rakennetyypin vaihtamisen vaikutuksiin rakennuksen elinkaaren aikana.

4.1.5 Vaipan eristys

Eristeiden tarkoituksena on estää lämmön karkaaminen kylmempään ulkoilmaan ja estää lämpimän ulkoilman pääsy viileämpään sisätilaan. Erilaisia eristemateriaaleja on paljon ja niillä on erilaisia käyttötarkoituksia. Uusia eristetyyppejä perinteisesti käytössä olevien kivi- ja lasivilla-, EPS- ja solukumieristeiden rinnalle on kehitetty ja kehitetään jatkuvasti. Tällaisia ovat esimerkiksi aerogeelit, piipohjaiset nanoeristeet ja vakuumeristeet. Ne ovat kuitenkin vielä suhteellisen kalliita ottaa käyttöön. (OECD/IEA 2013b)

Perinteisesti eristeiden osuus rakenteissa on merkittävä ja materiaalien osalta päästöjä voidaan pienentää kiinnittämällä huomiota eristetyypin valintaan. Eristemateriaalien vertailussa on huomioitava niiden erilaiset lämmönjohtavuudet. Energiategokkuus voidaan maksimoida kasvattamalla eristepaksuutta niin paljon, kuin on elinkaarikustannusmielessä järkevää. (OECD/IEA 2013b) Eristeiden määrä rakenteissa voidaan optimoida elinkaarikustannusvertailujen kautta tapauskohtaisesti. Suunnittelussa ja rakentamisessa tulee lisäksi varmistua eristeiden jatkuvuudesta ja välttää rakenteisiin jääviä kylmäsiltoja.

Eristeiden ympäristövaikutuksia on arvioitu britannialaisessa Green Guide -järjestelmässä (BRE 2008), jossa erilaisille eristeille on taulukon 21 mukaisesti annettu arvosanat E-A+ niiden ympäristövaikutusten mukaan huomioiden erilaisista lämmönjohtavuuksista johtuen tarvittavat rakennepaksuudet A+:n kuvattaessa matalimpia ympäristövaikutuksia ja E:n suurimpia ympäristövaikutuksia.

Taulukko 21: Eristemateriaalien Green Guide -arvoja (BRE 2008)

Lasivillaeristeet 10kg/m ³ -49 kg/m ³	A+
Lasivillaeristeet 80 kg/m ³	A
Kivivillaeristeet 33-60 kg/m ³	A+
Kivivillaeristeet 80-100 kg/m ³	A
Kivivillaeristeet 128-140 kg/m ³	B
Kivivillaeristeet 160 kg/m ³	C
EPS-eristeet 15-30 kg/m ³	A+
EPS-eristeet 40kg/m ³	A
XPS-eristeet 35 kg/m ³	E
Solukumieristeet	A

Green Guiden mukaan samantienheyksisellä kivivillaeristeellä on lasivillaeristettä hieman pienemmät päästöt. XPS-eristeen päästöt taas ovat EPS-eristeeseen verrattuna suuremmat EPS-eristeen ollessa solupolystyreeniä, joka valmistetaan polystyreenistä vesihöyryn avulla ja XPS-eriste taas on suulakepuristettua polystyreeniä, joka syntyy polystyreenistä hiilidioksidin ja etanolin avulla. Päästöt kuitenkin voivat vaihdella merkittävästi saman tuoteryhmänkin sisällä riippuen esimerkiksi tuotantolaitoksen käyttämästä energiamuodosta ja tarvittavista kuljetusetäisyyksistä.

4.2 Materiaalitehokkuus

Materiaalitehokkuuden huomiointi suunnittelussa ja rakentamisessa on tärkeää niin luonnonvarojen säästämisen kuin kasvihuonekaasupäästöjen minimoimisenkin näkökulmasta.

Rakentamisen materiaalitehokkuutta on käsitelty pääasiassa materiaalihävikin ja syntyvän jätemäärän minimoimisen näkökulmasta Ympäristöministeriön Rakentamisen materiaalitehokkuuden edistämishjelman loppuraportissa (Ympäristöministeriö 2014). Siinä uudisrakentamisen materiaalitehokkuuden edistämiskeinoina on nostettu esiin seuraavia asioita:

- rakennuksen suunnittelu pitkäikäiseksi, helposti ylläpidettäväksi ja korjattavaksi
- kierrätettyjen materiaalien suosiminen neitseellisten luonnonvarojen sijaan
- rakennuksen suunnittelu toiminnoiltaan, tiloiltaan, järjestelmiltään ja rakennusosiltaan muunneltavaksi
- rakennuksen suunnittelu ja toteutus niin, että elinkaaren lopussa rakennusosat ja materiaalit ovat helposti kierrätettävissä
- materiaalihukan ja rakennusjätteen syntymisen välttäminen työmaa-aikana
- laadunvarmistus rakennusvirheiden syntymisen ehkäisyksi

Osa materiaalitehokkuutta on työmaalla syntyvien jätemäärien minimointi materiaalihukan minimoimisen kautta ja työmaan jätehuollon organisointi mahdollistaen mahdollisimman tarkan lajittelun. Jo suunnitteluvaiheessa voidaan ehkäistä materiaalihukan syntymistä suosimalla valmiita rakennusosia, jolloin työmaalla ei tarvitse käsitellä materiaaleja ja hukkaa syntyy vähemmän. Materiaalihukka työmaalla aiheuttaa materiaalikustannusten lisäksi myös lisäkustannuksia jätehuoltoon. Jätteiden lajittelu edesauttaa jätteiden kierrätystä ja hyödyntämistä muilla tavoin energiapolton sijaan ja kaatopaikalle päätyvän jätteen määrä voidaan minimoida.

Suunnittelussa on syytä kiinnittää huomiota myös materiaalien kokonaismääriin ja pyrkiä suunnittelemaan rakenteista mahdollisuuksien mukaan entistä kevyempiä, kestävämpiä ja kierrätettävämpiä. Tarkalla mitoittamisella ja tutkimalla, voitaisiinko rakenteita keventää käyttämällä esimerkiksi lujempia materiaaleja, voitaisiin tarvittavaa materiaalimassaa saada pienennettyä menettämättä muita tärkeitä ominaisuuksia.

Myös kierrätysmateriaalien hyödyntämismahdollisuudet rakentamisessa olisi hyvä tutkia. Kierrätetyn materiaalin hyödyntäminen pienentää rakennuksen materiaalien hiilijalanjälkeä. Käyttömahdollisuuksia rajaavat kuitenkin rakentamisen määräykset.

4.3 Toimenpiteet rakennushankkeen eri vaiheissa

Rakennuksen hiilijalanjälki kannattaa huomioida rakennushankkeen alkuvaiheista lähtien. Vaikuttavuus ja kustannustehokkuus ovat suurimmillaan, kun asiat huomioidaan oikea-aikaisesti rakennushankkeen edetessä.

Tarveselvitysvaihe

Tarveselvitysvaiheessa hiilijalanjälkeen vaikuttaa erityisesti päätös uuden rakennuksen sijainnista. Kuten luvussa 3.3.4 todettiin, tontin maaperän ollessa kantava eikä paalutusta tarvita saadaan merkittävää etua rakennusmateriaalien kasvihuonekaasupäästöissä, sillä teräsbetonipaalutuksen päästöt ovat suuret. Täytyy kuitenkin huomioida, että tontin valinnan ympäristöystävällisyys ei ole yksiselitteinen asia ja siihen liittyy perustamisolosuhteiden kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi esimerkiksi tontin ekologisen arvon, pilaantuneen maan puhdistamisen ja yhdyskuntarakenteen tiivistämisen vaikutukset, joita ei tarkastella tässä tutkimuksessa tarkemmin. Tontin sijainti vaikuttaa myös käytettävissä oleviin energiamuotoihin. Uusiutuvia energiamuotoja suosimalla päästöjä saadaan pienemmäksi. Lisäksi sijainnilla on vaikutusta esimerkiksi rakennusmateriaalien kuljetusetäisyyksiin.

Hankesuunnitteluvaihe

Rakennuksen suuntaus, muoto ja massoittelu muodostavat lähtökohdat rakennuksen energiantarpeelle. Hankesuunnitteluvaiheessa voidaan laatia selvitys passiivisuunnitteluratkaisujen hyödyntämisen mahdollisuuksista ja materiaalitehokkuuden optimoimisesta. Näihin ohjeistusta löytyy esimerkiksi BREEAM-ympäristöluokitusjärjestelmän kysymyksistä Ene 04 passiivisuunnitteluratkaisuihin ja Mat 05 materiaalitehokkuuteen liittyen (BRE Global 2017). Materiaalitehokkuus on yhdessä luonnonvarojen säästämisen kanssa osa kiertotaloutta, jota tavoitellaan materiaalien uusiokäytöllä, kierrätyksellä ja hukan minimoimisella. Materiaalitehokkuutta voidaan kasvattaa asettamalla käyttöikä tavoite korkeaksi ohjaamaan tekemään kestäviä materiaalivalintoja. Kiertotalouteen liittyy myös muuntojousto, jolla tarkoitetaan asunnon tai huonetilan mukautuskykyä erilaisiin käyttötilanteisiin ja olosuhteisiin. Muuntojousto on

perinteisesti huomioitu paremmin toimisto- ja liikerakennuksissa, mutta olisi syytä huomioida myös asuntosuunnittelussa. Asuntojen muuntojoustoa on käsitelty tarkemmalla tasolla esimerkiksi RT-korteissa "RT 93-11231 Muuntojousto asuntosuunnittelussa. Yleiset Perusteet" ja "RT 93-11232 Muuntojousto asuntosuunnittelussa. Tila- ja pääsuunnittelu". Muuntojoustavuuden huomioimisella voidaan vähentää rakennuksen elinkaaren aikaisia muutostarpeita. Hankesuunnitteluvaiheessa valitaan yleensä rakennuksen päämateriaalit. Käyttämällä mahdollisuuksien mukaan esimerkiksi puuta betonin tilalla voidaan saada päämateriaalien päästöjä pienennettyä merkittävästi.

Ehdotus-, yleis- ja toteutussuunnitteluvaiheet

Ehdotus-, yleis- ja toteutussuunnitteluvaiheissa voidaan selvittää mahdollisuudet hyödyntää uusiutuvia energiamuotoja kohteessa. Rakennusmateriaalivalinnoissa ja suunnittelussa voidaan ottaa huomioon rakennusosien materiaalien kierrätettävyys rakennuksen elinkaaren lopussa sekä käyttöikä. Tilatehokkuuden huomiointi vähentää tarvittavia materiaalmääriä. Vaihtoehtoisia suunnitteluratkaisuja kannattaa tutkia elinkaarikustannusten näkökulmasta ja kasvihuonekaasupäästöt huomioiden. Esimerkiksi talotekniikan osalta kannattaa huomioida, että yksittäisen ratkaisun vaikutus materiaalien hiilijalanjäljen osalta voi olla pieni, mutta vaikutus energiatehokkuuden kautta suurempi. Eristeiden määrä rakennuksen vaipassa on syytä optimoida elinkaarikustannuksiltaan.

Rakentamisvaihe

Rakentamisvaiheessa voidaan huomioida hankinnassa tuotteiden kasvihuonekaasupäästöt. Suomessa yleisesti käytössä olevilta tuotteilta on alkanut löytyä yhä enenevässä määrin EPD-ympäristötuoteselosteita, joissa tuotteen ympäristövaikutukset on kuvattu ja joita vertailemalla voidaan valita vähäpäästöisempi vaihtoehto. Suosimalla läheltä tulevia tuotteita voidaan minimoida kuljetusetaisyydet ja kuljetuksista aiheutuvat päästöt. Materiaalitehokkuus voidaan huomioida rakentamisessa tilaamalla materiaaleja oikea määrä, huolehtimalla materiaalien sääsuojauksesta ja asianmukaisesta säilytyksestä ja välttämällä rakennusvirheitä. Jätteet lajitellaan syntyneiden jätelajien mukaisesti minimoiden sekajätteen määrä. Myös rakentamisen vuodenaika vaikuttaa päästöihin.

Käyttövaihe

Rakennuksen käyttöajan päästöjä voidaan minimoida opastamalla rakennuksen oikeaan käyttöön ja huolehtimalla siitä, että rakennus toimii ja sitä käytetään niin kuin on tarkoitettu.

4.4 Hiilineutraali rakentaminen

Hiilineutraaliudelle käsitteenä on monia toisistaan hieman poikkeavia määritelmiä, mutta useimmiten sillä tarkoitetaan kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä nollaan tai niiden tasapainottamista.

Hiilineutraalin rakentamisen lähtökohtina voivat toimia passiiviset suunnitteluratkaisut kuten päivänvalon hyödyntäminen, painovoimainen ilmanvaihto, aurinkoenergian hyödyntäminen ja siltä suojautuminen, rakenteellinen energiatehokkuus eli rakennuksen lämmöneristävyys ja tiiveys, tekninen energiatehokkuus eli LVI-järjestelmät, valaistus ja sähkölaitteet sekä uusiutuvien energialähteiden käyttö. Ensisijaisena keinona pyritään minimoimaan rakennusmateriaalien ja energiankäytön hiilijalanjälki. Koska päästöjä on käytännössä usein vaikea tai mahdotonta vähentää kokonaan nollaan, voidaan aiheutettuja päästöjä hyvittää hiilikompensaatiolla esimerkiksi tuottamalla ja myymällä uusiutuvaa energiaa tai rahoittamalla vastaava määrä päästövähennyksiä toisaalla.

Esimerkiksi Kaskelantie 1:ssä materiaalien (A1–A3, A4, B1–B5 ja C1–C4) päästöt vastaavat noin 15 700 MWh:n sähkömäärän päästöjä. Mikäli rakennusmateriaalien päästöjä haluttaisiin kompensoida esimerkiksi tuottamalla vastaava määrä uusiutuvaa energiaa, se tarkoittaisi 60 vuoden tarkastelujaksolla vuositasona noin 260 000 kWh:a. Tämän voisi kattaa noin 325 kWp:n aurinkosähköjärjestelmällä, jonka investointikustannus olisi noin 390 000 €. Päästökompensaation hinta olisi investointikustannuksena tällöin noin 116 €/tn CO₂e. Aurinkojärjestelmän kasvihuonekaasupäästöt on huomioitu laskelmassa. Laskelma ei kuitenkaan huomioi aurinkojärjestelmän uusimisen kasvihuonekaasupäästöjä eikä huolto- ja ylläpitokustannuksia, kuten invertterien ja aurinkopaneelien uusimiskustannuksia, joiden voidaan arvioida tuplaavan päästökompensaation kustannukset. Laskennassa on käytetty sähkön päästökertoimena vuoden 2016 Suomen sähköprofiilia. Sähköntuotannon kasvihuonekaasupäästöt ovat kuitenkin pienentyneet uusiutuvien

energialähteiden käytön lisääntymisen ja teknologian kehittymisen myötä ja todennäköisesti pienentyvät edelleen.

Uusiutuvan energian tuottamisen sijaan päästöjä voidaan kompensoida rahoittamalla toimia, joilla pyritään kumoamaan aiheutettujen kasvihuonekaasupäästöjen vaikutuksia jossain toisaalla. Tässä tutkimuksessa ei oteta kantaa toimijoiden tai kompensatiomaksujen luotettavuuteen, mutta tutkittujen toimijoiden kautta Kaskelantie 1:n rakennusmateriaalien elinkaarta (A1–A3, A4, B1–B5 ja C1–C4) vastaavan määrän kasvihuonekaasupäästöjä voisi kompensoida maksamalla päästökompensaatiomaksuja 1300 - 55 000 €, jolloin yhden kasvihuonekaasutonnin kompensoinnille tulee hintaa 0,40 € - 15 € ja päästöjä kompensoidaan sijoittamalla rahat esimerkiksi uusiutuviin energiamuotoihin, puiden istuttamiseen tai kehitysmaiden puhtaan veden projekteihin. (UNFCCC 2018, Carbon Footprint Ltd 2018)

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuskohteissa tarkastelujakson kasvihuonekaasupäästöistä suurin osa, 62–68 %, syntyy rakennuksen energian käytöstä elinkaaren vaiheessa B6. Tuotevaiheen A1–A3 päästöt kattavat 20–23 % tarkastelujakson päästöistä. Rakennusmateriaalien elinkaaren kasvihuonekaasupäästöjen eli vaiheiden tuotevaihe A1–A3, kuljetukset rakennuspaikalle A4, kunnossapito ja osienvaihto B1–B5 sekä purkaminen C1–C4 osuus on 27–31 % koko 60 vuoden tarkastelujakson päästöistä. Suurin potentiaali rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentämiselle on edelleen rakennuksen energiatehokkuuden parantamisessa, vaikka uudisrakennusten energiatehokkuus onkin parantunut viime vuosina paljon.

5.1 Tutkimuskohteiden elinkaaren hiilijalanjäljet

Kaskelantie 1:n elinkaaren hiilijalanjäljeksi 60 vuoden tarkastelujaksolla saatiin 11 700, Lipputie 14:n 9 010, Marsinkuja 1:n 16 900 ja Loiskekuja 1:n 14 100 t CO₂e. Bruttoalaan suhteutettuna hiilijalanjäljet ovat Kaskelantiella 1 325 kg, Lipputiellä 1 448, Marsinkujalla 1 448 ja Loiskekujalla 1 595 kg CO₂e/brm².

Kaikista pienin elinkaaren hiilijalanjälki on Kaskelantiella, jossa energiatehokkuus on muita kohteita parempi. Energiankulutuksen osalta kohteiden päästöt ovat Kaskelantiella 823 kg, Lipputiellä 938 kg, Marsinkujalla 959 kg ja Loiskekujalla 1082 kg CO₂e/brm².

Rakennusmateriaalien osalta kohteiden elinkaaren kasvihuonekaasupäästöt olivat bruttoalaan suhteutettuna hyvin samaa luokkaa: Kaskelantiella 408, Lipputiellä 394, Marsinkujalla 384 ja Loiskekujalla 421 kg CO₂e/brm². Pienin materiaalien hiilijalanjälki on Marsinkujalla, jossa suurin ero muihin kohteisiin on se, ettei kohteessa ole paaluperustusta. Erot kohteiden materiaalien hiilijalanjäljissä ovat kuitenkin niin pieniä, että perustusten jättäminen laskelman ulkopuolelle vaihtaisi kohteiden paremmuusjärjestyksen rakennusmateriaalien osalta.

Käytetyssä laskentatyökalussa on määritetty työkalun omat, suoritusta kuvaavat vertailutasot A-E eurooppalaiselle asuinrakennukselle materiaalien hiilijalanjäljen osalta ja kaikkien laskettujen kohteiden tulokset olivat luokkien C ja D rajamaastossa.

Joutsenmerkin kriteereissä ei ole esitetty vaatimusta rakennusten hiilijalanjäljelle, mutta Joutsenmerkinnän tavoittelu on ohjannut Kaskelantie 1:n suunnittelua ja rakentamista vähähiilisyyteen energiatehokkuusvaatimusten kautta. Lisäksi työmaan jätteet on Joutsenmerkin tavoittelun ansiosta lajiteltu tarkemmin, mikä näkyi rakennusjätteiden pienempänä kasvihuonekaasupäästönä. Joutsenmerkin tavoittelun vaikutuksia rakennusmateriaalien kasvihuonekaasupäästöihin ei tuotekohtaisten ympäristötietojen vähyydestä johtuen voitu tutkia.

5.2 Tutkimuskohteiden hiilijalanjälkiin vaikuttaneet ratkaisut

Suurimmat kokonaisuudet tutkittujen kohteiden rakennusmateriaalien päästöistä syntyivät talotekniikasta, vaakarakenteista, ulkoseinistä ja perustuksista. Näitä kokonaisuuksia tarkasteltiin talotekniikkaa lukuun ottamatta tarkemmalla tasolla.

Perustuksissa teräsbetonipaalutuksen osuus oli merkittävä, joten suosimalla tontteja, joiden maaperä on kantava, eikä paalutusta tarvita, saadaan etua päästölaskelmassa.

Kantavista tutkimuskohteissa esiintyvistä ulkoseinätyypeistä pienimmät kasvihuonekaasupäästöt olivat rapatuilla julkisivuilla. Rapatun julkisivun päästöt olivat noin 18 % pienemmät kuin betonisandwich-elementillä tai julkisivumuuratulla teräsbetoniseinällä. Betonisandwich-elementin päästöjä eristeen päälle rapattuun ulkoseinärakenteeseen verrattuna nostaa erityisesti sandwich-elementin ulkokuoren betoniraudoitukset, joiden täytyy ohuessa betonirakenteessa olla ruostumatonta terästä.

Ei-kantavissa ulkoseinärakenteissa puulla verhotulla rankarakenteisella seinällä oli betonisia ulkoseinärakenteita huomattavasti, noin 80 %, pienemmät kasvihuonekaasupäästöt. Betonisandwich-seinän kasvihuonekaasupäästöt taas olivat noin 10 % pienemmät kuin julkisivumuuratun teräsbetoniseinän päästöt. Julkisivumuuratun seinän päästöjä saataisiin pienemmäksi käyttämällä kierrätettyä tiiltä, jolloin tiilikerroksen päästöt riippuisivat lähinnä käytetystä laastista. Tällöin voitaisiin päästä noin 20 % pienempiin päästöihin kuin betonisandwich-rakenteella.

Vinolla peltiverhotulla ja puhallusvillalla eristetyllä yläpohja- ja kattorakenteella on kevytsoraeristettyä ja kermi- tai kivipintaista tasakattoja noin 15 % pienemmät kasvihuonekaasupäästöt. Yläpohjarakenteissa kevytsoran päästöt ovat merkittävässä

roolissa, sillä niistä aiheutuu tutkimuskohteiden yläpohjissa kasvihuonekaasupäästöjä enemmän kuin yläpohjassa olevasta ontelolaatasta.

Talotekniikkaa ei tutkimuksessa voitu sisällyttää laskelmiin tasolla, jolla kohteiden ratkaisuja voitaisiin hiilijalanjäljen osalta vertailla. Talotekniikka muodostaa kuitenkin merkittävän osan rakennuksen materiaaleista ja kokonaisuutena sisältää paljon potentiaalia hiilijalanjäljen pienentämiseen (Saari & Kokkonen 1999). Talotekniikan suhteen on useampia vaihtoehtoisia toteutustapoja, joiden hiilijalanjälki saattaa poiketa toisistaan ja joita kannattaisi tutkia tarkemmalla tasolla. Tällaisia voisivat olla esimerkiksi muovi vs. valurauta viemärimateriaalina, kupari vs. muovi putkimateriaalina, keskitetty vs. hajautettu ilmanvaihto ja lattialämmitys vs. radiaattorilämmitys lämmönluovutustapana.

Rakentamisvaiheessa eroja päästöihin syntyi työmaiden sähkönkulutuksessa, johon vaikuttaa muun muassa rakentamisen ajankohta ja sääolosuhteet. Eroja syntyi myös jätteiden lajittelussa. Kaskelantie 1:n työmaalla jätteet on lajiteltu Joutsenmerkinnän kautta tulevan vaatimuksen kannustamana tarkemmalla tasolla, mikä näkyy rakennusjätteiden pienempänä kasvihuonekaasupäästönä. Erityisesti sekajätteen ja energijätteen kasvihuonekaasupäästöt jätekiloa kohden ovat huomattavat muuhun lajiteltuun jätteeseen verrattuna.

5.3 Kustannustehokkaimmat keinot hiilijalanjäljen pienentämiseksi

Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki on syytä huomioida rakennushankkeen alkuvaiheista lähtien. Vaikuttavuus ja kustannustehokkuus ovat suurimmillaan, kun asiat huomioidaan oikea-aikaisesti rakennushankkeen edetessä.

Käytännössä hiilijalanjälkeä voidaan pienentää minimoimalla rakennuksen energiankulutus, pyrkimällä suunnittelussa ja rakentamisessa resurssitehokkaaseen materiaalien käyttöön, suosimalla matalapäästöisiä materiaaleja, tuottamalla omaa uusiutuvaa energiaa tai ostamalla uusiutuvaa energiaa verkosta.

Energiatehokkuuden parantamisessa passiiviset rakennuksen arkkitehtuuriin liittyvät ratkaisut ovat tärkeässä roolissa ja ensimmäinen keino energiankulutuksen minimointiin. Ilmanvaihdon toimivalla suunnittelulla ja toteutuksella on suuri vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdon avulla voidaan pienentää

ilmanvaihdon puhallinsähkön sekä lämmitys- ja jäähdytysenergian tarvetta ja lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen maksimoimisella pienentää lämmitysenergian kulutusta. Asuntokohtaisilla ilmanvaihtokoneilla LTO-vuosihyötysuhteen saavutettava maksimitaso on korkeampi kuin keskitetyllä koneella. Optiplanin laatiman selvityksen mukaan hajautettu huoneistokohtainen ilmanvaihto on usein energiatehokkaampi ja energiakustannuksiltaan keskitettyä ilmanvaihtoa edullisempi ilmanvaihtoratkaisu asuinkohteessa (Liljeström & Törnblom 2009). Valaistuksen määrä voidaan optimoida tarpeenmukaiseksi liike- ja aikaohjauksin, jotta vältytään turhalta valaistukselta. Rakennuksen toteutusvaiheessa on hyvä kiinnittää huomiota saumojen ja läpivientien tiivistämiseen sekä varmistaa ilmatiiveys mittauksin. Eristeiden määrä rakenteissa kannattaa optimoida elinkaarikustannusvertailujen kautta tapauskohtaisesti. Suunnittelussa ja rakentamisessa tulee lisäksi varmistua eristeiden jatkuvuudesta ja välttää rakenteisiin jääviä kylmäsiltoja.

Muutamien energiatehokkuutta parantavien vaihtoehtoisten suunnitteluratkaisujen vaikutusta Kaskelantie 1:lle laskettuun E_{2018} -lukuun, lasketun ostoenergian määrään sekä kasvihuonekaasupäästöihin tarkasteltiin tarkemmalla tasolla. Ratkaisuina tarkasteltiin lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen parantamista 66,7 %:sta 78 %:iin, ikkunan U-arvon parantamista 0,8:sta 0,6:een, ilmanvaihdon tarpeenmukaisen huoneistokohtaisen ohjauksen lisäämistä, yläpohjan U-arvon parantamista 0,13:sta 0,07:ään, ulkoseinän U-arvon parantamista 0,17:sta 0,14:ään, alapohjan U-arvon parantamista 0,16:sta 0,1:een, ilmatiiveyden parantamista 2:sta 1:een $1 \text{ m}^3/\text{h}, \text{m}_2$ sekä hajautettua huoneistokohtaista ilmanvaihtoa keskitetyn ilmanvaihdon sijaan. 60 vuoden tarkastelujaksolla elinkaarikustannuksiltaan kannattavimpia ratkaisuja olivat hajautettu ilmanvaihto, ilmanvaihdon huoneistokohtainen ohjausmahdollisuus ja LTO-vuosihyötysuhteen kasvattaminen.

Energialähteistä tarkasteltiin tarkemmalla tasolla kaukolämmön ja maalämmön elinkaarikustannuksia ja päästövaikutuksia. Laskelmien mukaan käyttämällä maalämpöä kaukolämmön sijaan voitaisiin saavuttaa merkittävä säästö elinkaaren kasvihuonekaasupäästöissä, sillä maalämpöä käyttäen lämmitysenergian päästöt puolittuisivat. Laskennassa kuitenkin oletettiin kaukolämmön päästöjen pysyvän 60 vuoden tarkastelujakson ajan samana, jolloin teknologioiden kehittyessä erot todellisuudessa pienentyvät.

Ulkoseinärakenteiden osalta tutkimuksen perusteella kantavana seinärakenteena kannattaa suosia rapattua julkisivua betonisandwich-seinän ja julkisivumuuratun teräsbetoniseinän sijaan, sillä kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi myös rapatun seinätyypin investointikustannus on tutkituista kantavista julkisivutyypeistä edullisin. Eikantavana ulkoseinätyypinä taas kannattaa välttää betonin käyttämistä ja suosia puuverhottua kevyttä ulkoseinää. Termorankarakenteinen puuverhottu ulkoseinä on myös betonisandwich- ja julkisivumuuratua teräsbetoniseinää edullisempi toteuttaa. Tarkastelluista seinätyypeistä vähäpäästöisimmät olivat siis myös edullisimmat ratkaisut toteuttaa eli ulkoseinien osalta päästöjen pienentäminen ei aiheuta lisäkustannuksia investointivaiheessa. Elinkaarikustannusvertailua seinätyyppien osalta ei kuitenkaan tehty, eli ei tarkasteltu mahdollisesti vaihtelevia kunnossapidon- ja huollon tarpeita rakennuksen elinkaaren aikana. Vertailluilla seinätyypeillä oli muuten samat U-arvot, mutta julkisivumuuratulla ulkoseinätyypillä oli muita parempi U-arvo (0,17 vs. 0,15), mikä pienentää energiankäytön osalta elinkaaren hiilijalanjälkeä ja kustannuksia. Yläpohjarakenteista ontelolaattayläpohja puurakenteisella harjakatolla osoittautui kevytsoralla eristettyä tasakattoa paremmaksi ratkaisuksi kasvihuonekaasupäästöjen näkökulmasta.

Taulukkoon 22 on koottu yhteenveto päästövähennysten hinnoista ja vähennyspotentiaalista tutkituilla ratkaisuilla.

Taulukko 22: Yhteenveto päästövähennysten hinnoista ja vähennyspotentiaalista tutkituilla ratkaisuilla

	Investointikustannus esimerkkikohteessa (8800 brm ²) €	Vaikutus koko rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen esimerkkikohteessa (8800 brm ²)	Investointikustannus päästövähennykselle €/tnCO _{2e}	Elinkaarikustannus päästövähennykselle €/tnCO _{2e} 60v
Ulkoseinätyyppi: Julkisivumuuraus -> Betonisandwich	Halvempi ratkaisu, ei kustannuksia	Ei tarkasteltu	Halvempi ratkaisu, ei kustannuksia	Ei tarkasteltu
Ulkoseinätyyppi: Tiiliverhottu -> Rapattu	Halvempi ratkaisu, ei kustannuksia	Ei tarkasteltu	Halvempi ratkaisu, ei kustannuksia	Ei tarkasteltu
Ulkoseinätyyppi: Betonisandwich - > termorankarakenne ja puuverhoilu	Halvempi ratkaisu, ei kustannuksia	Ei tarkasteltu	Halvempi ratkaisu, ei kustannuksia	Ei tarkasteltu
Keskitetty IV -> Hajautettu IV	56 000 €	-7,3 %	70	Halvempi ratkaisu, takaisinmaksuaika 35 vuotta
Kaukolämpö -> Maalämpö	220 000 €	-30,0 %	85	Halvempi ratkaisu, takaisinmaksuaika 16 vuotta
Ilmanvaihdon huoneistokohtainen ohjausmahdollisuus +30 % ja -40 %	48 000 €	-4,3 %	90	Halvempi ratkaisu, takaisinmaksuaika 29 vuotta
LTO-vuosihyötysuhde 66,9 % -> 78 %	54 000 €	-4,2 %	110	Halvempi ratkaisu, takaisinmaksuaika 40 vuotta
Aurinkopaneelit 0 m ² -> 70 m ²	16 000 €	-1,0 %	135	Halvempi ratkaisu, takaisinmaksuaika 47 vuotta
Ilmatiiveys q ₅₀ 2 -> 1 m ³ /h,m ²	29 000 €	-1,3 %	190	10, takaisinmaksuaika yli 60 vuotta
Ikkunan U-arvo 0,8 -> 0,6 W/K,m ²	63 000 €	-1,8 %	300	120, takaisinmaksuaika yli 60 vuotta
Ulkoseinän U-arvo 0,17 -> 0,14 W/K,m ²	37 000 €	-1,0 %	330	130, takaisinmaksuaika yli 60 vuotta
Yläpohjan U-arvo 0,13 -> 0,07 W/K,m ²	79 000 €	-0,7 %	1030	840, takaisinmaksuaika yli 60 vuotta
Alapohjan U-arvo 0,16 -> 0,1 W/K,m ²	24 000 €	-0,2 %	1240	1050, takaisinmaksuaika yli 60 vuotta
Tasakatto kevytsoralla -> harjakatto puhallusvillalla	37 000 €	-0,1 %	2 400	Ei tarkasteltu

Tulosten perusteella suurin potentiaali päästövähennykselle löytyi maalämmön suosimisesta kaukolämmön sijaan. Edullisin hinta tonnin kasvihuonekaasupäästövähennykselle oli ilmanvaihdon toteuttamisella keskitetyn sijaan hajautettuna. Myös huoneistokohtaisella ilmanvaihdon ohjausmahdollisuudella ja LTO-

vuosihyötysuhteen parantamisella voidaan saada huomattavat vähennykset rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen ja ratkaisut maksavat itsensä takaisin rakennuksen käytön aikana.

Materiaalivalinnoissa tulosten perusteella kannattaa huomioida etenkin ulkoseinärakenteiden kasvihuonekaasupäästöt päätettäessä kohteeseen soveltuvaa seinäratkaisua. Sekä tutkimuskohteissa esiintyvissä kantavissa- että ei-kantavissa ulkoseinätyypeissä pienempipäästöiset seinärakenteet olivat myös investointikustannuksiltaan edullisimpia, jolloin päästövähennys on investointikustannusten osalta ilmaista. Näiden osalta elinkaarikustannukset olisi kuitenkin hyvä arvioida kunnossapito- ja uusimistarpeet huomioiden.

5.4 Tavoitetaso kohtuuhintaisen vuokratalotuotannon hiilijalanjäljelle

Tutkimuksen kohteiden elinkaaren hiilijalanjäljet 60 vuoden tarkastelujaksolla bruttoalaa kohden olivat 1325–1595 kg CO₂e/brm². Energian käytön osuus oli 823–1082 kg CO₂e/brm² ja rakennusmateriaalien hiilijalanjälki 384–421 kg CO₂e/brm².

Jos tarkastellaan Kaskelantie 1:tä, jonka elinkaaren hiilijalanjälki oli vertailtavista kohteista pienin ja jonka energiatehokkuus oli paras, voitaisiin kohtuullisin energiatehokkuutta parantavin toimenpitein energian käytön päästöistä saada pois edelleen noin 10 % ja kiinnittämällä huomiota materiaalitehokkuuteen ja materiaalivalintoihin suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa arvioidaan rakennusmateriaalien hiilijalanjälkeä voitavan pienentää kohtalaisin toimenpitein noin 10 %. Yhteensä tämä voisi tarkoittaa noin 15 % vähennystä koko rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen, jolloin rakennuksen hiilijalanjälkitavoite 60 vuoden tarkastelujaksolla voisi olla luokkaa 1150 kg CO₂e/brm². Kaukolämmön vaihtaminen maalämpöön osoittautui myös ratkaisuksi, jota kannattaa harkita. Laskelmien perusteella maalämpöä käyttämällä koko rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkitavoite voisi 60 vuoden tarkastelujaksolla olla luokkaa 1 000 kg CO₂e/brm².

Tutkimuksen tulosten perusteella rakennuksen materiaalien elinkaaren hiilijalanjäljen tullessa huomioiduksi rakentamisen ohjauksessa voisi tavoitetaso uudisrakennusten materiaalien hiilijalanjäljille asuinrakennuksessa olla 350 kg CO₂e/brm² luokkaa ilman, että rajataan asetetulla tasolla betonirakenteiden käyttöä. Betonirakentamisella

parempiin tuloksiin yltäminen vaatisi materiaalitehokkuuden erityistä parantamista ja betonirakenteiden korvaamista mahdollisuuksien mukaan esimerkiksi puulla.

Rakentamisen kasvihuonekaasupäästöjen pienentämisessä uusiutuvien energiamuotojen suosimisen, rakennuksen energiatehokkuuden ja materiaalitehokkuuden sekä materiaalivalintojen ohella kiertotalouden huomiointi ja rakennusmateriaalien määrän minimointi nousevat yhä tärkeämpään rooliin uusissa rakennushankkeissa. Rakennusmateriaalien määrää voidaan minimoida muun muassa kasvattamalla rakennusten käyttöikä sekä huomioimalla muuntojousto, materiaalien kierrätettävyys ja uudelleenkäyttömahdollisuudet jo suunnitteluvaiheessa.

Yksittäisten ratkaisujen muutoksilla saatavat vähennykset rakennuksen elinkaaren aikaisiin päästöihin ovat pienehköjä, mutta useampien muutosten yhteisvaikutuksella saadaan aikaan näkyviä muutoksia. Pelkillä tuote- tai materiaalivalinnoilla ei vielä saavuteta kovinkaan suuria säästöjä. Oleellista on pyrkiä minimoimaan materiaalin määrää huomioimalla materiaalitehokkuus suunnittelussa ja rakentamisessa niin luonnonvarojen säästämisen kuin kasvihuonekaasupäästöjen minimoimisenkin näkökulmasta.

LÄHDELUETTELO

- Bionova. 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Viitattu 29.5.2018. Saatavilla:
<http://www.ym.fi/download/noname/%7B4B3172BC-4F20-43AB-AA62-A09DA890AE6D%7D/129197>
- BRE. 2008. Green Guide 2008 Ratings: Domestic Insulation. Viitattu 29.5.2018. Saatavilla:
<https://www.bre.co.uk/greenguide/ggelement.jsp?buildingType=Housing&category=15&parent=0&elementType=10032>
- BRE Global 2017. BREEAM International New Construction 2016 Technical Manual SD233 2.0. Viitattu 3.6.2018. Saatavilla:
<http://www.breeam.com/BREEAMInt2016SchemeDocument/>
- Carbon Footprint Ltd. 2018. Carbon Footprint -sivusto. Viitattu 18.6.2018. Saatavilla:
<https://www.carbonfootprint.com/>
- CIBSE. 2013. Embodied Carbon and Building Services by Roger Hitchin, CIBSE Research Report 9. Viitattu 29.5.2018. Saatavilla: <http://www.cibse.org/getmedia/4f1e4d9c-ddc7-4074-9faa-a944dc465fff/Research-Report-9-Embodied-Carbon-b.pdf.aspx>
- Domlux. 2018. Domlux Ikihyvä –täysalumiini-ikkuna. Viitattu 15.6.2018. Saatavilla:
<https://www.domlux.fi/ikkunat/domlux-ikihyva/>
- European Commission. 2017. Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings. Part 3: How to make performance assessments using Level(s) Draft Beta v.1.0. Viitattu 29.5.2018. Saatavilla:
http://susproc.jrc.ec.europa.eu/Efficient_Buildings/docs/170816_Levels_EU_framework_of_building_indicators.pdf
- FIGBC. Rakennusten elinkaarimittarit. 2013. Viitattu 29.5.2018. Saatavilla: http://figbc.fi/wp-content/uploads/2013/01/Rakennusten_elinkaarimittarit_2013.pdf
- Jylhä, Kirsti; Kalamees, Targo; Tietäväinen, Hanna; Ruosteenoja, Kimmo; Jokisalo, Juha; Hyvönen, Reijo; Ilomets, Simo; Saku, Seppo; Hutila, Asko. 2011. Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastomuutoksen vaikutuksista. Viitattu 11.6.2018. Saatavilla:
<https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/33069/2011nro6.pdf?sequence=1>

Liljeström, Kimmo & Törnblom, Tomas. 2009. Vertailu asuinkohteiden ilmanvaihtokoneiden energiatehokkuudesta.

OECD/IEA. 2013a. Technology Roadmap: Energy efficient building envelopes. Viitattu 29.5.2018. Saatavilla:
<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapEnergyEfficientBuildingEnvelopes.pdf>

OECD/IEA. 2013b. Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050. Viitattu 29.5.2018. Saatavilla:
https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Building2013_free.pdf

Saari, Arto; Kokkonen, Tommi. 1999. Asuinkerrostalon LVI-järjestelmien aiheuttamat ympäristökuormat.

Salo, Marja; Nissinen, Ari; Mäenpää, Ilmo & Heikkinen, Mari. 2016. Kulutuksen hiilijalanjäljen seurantaa tarvitaan. Viitattu 29.5.2018. Saatavilla:
<http://www.syke.fi/download/noname/%7B8D2169BA-028E-404B-BBCD-CD9D8BD732F6%7D/117056>

UNFCCC. 2018. Go Climate Neutral Now -nettisivusto. Viitattu 18.6.2018. Saatavilla:
<https://offset.climateneutralnow.org/>

Ympäristöministeriö. 2009. Työryhmämuistio: Huoneistokohtaisten vesimittareiden käyttö ja vaikutukset rakennuksen energiankulutukseen. Viitattu 21.6.2018. Saatavilla:
https://www.motiva.fi/files/5725/Tyoryhmamuistio_Huoneistokohtaisten_vesimittareiden_kaytto_ja_vaikutukset_rakennusten_energiankulutukseen.pdf

Ympäristöministeriö 2014: Peuranen, Elsa & Hakaste, Harri. Rakentamisen materiaalitehokkuuden edistämishjelma. Ramate-työryhmän loppuraportti. Viitattu 3.6.2018. Saatavilla:
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/135172/YMra_17_%202014.pdf?sequence=2

Ympäristöministeriö. 2017. Vähähiilisen rakentamisen hankintakriteerit. Viitattu 29.5.2018. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4746-3>