

Asumisen hiilijalanjälki

Betonirunkoisen kerrostalon ja puurunkoisen pientalokorttelin vertailu

Samuli Helminen, Tiia Härkin &
Tapio Keiramo

TURKU AMK



288

Raportteja

Samuli Helminen, Tiia Härkin & Tapio Keiramo

Asumisen hiilijalanjälki

– Betonirunkoisen kerrostalon ja puurunkoisen
pientalokorttelin vertailu

Turun ammattikorkeakoulun raportteja 288

Turun ammattikorkeakoulu

Turku 2023

Rakennetun ympäristön tutkimusryhmän (RATE) loppuraportti

ISBN 978-952-216-827-6 (pdf)

ISSN 1459-7764 (elektroninen)

<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-216-827-6>

Turun AMK:n sarjajulkaisut: turkuamk.fi/julkaisut

Sisältö

Tiivistelmä	4
Summary	5
Käytetyt lyhenteet ja sanasto	6
1 Tausta ja tavoitteet	7
2 Menetelmänä tapaustutkimus	10
2.1 Betonirakenteinen kerrostalo.....	10
2.2 Puurakenteinen pientalokortteli.....	12
2.3 Hiilijalanjäljen laskennan menetelmät ja rajaukset.....	13
3 Tulokset	15
3.1 Skanssin Kurtiinin rakentamisen elinkaaren aikainen hiilijalanjälki.....	15
3.2 Skanssin Kurtiinin asumisen hiilijalanjälki.....	16
3.3 Kaarinan Karpalon elinkaaren aikainen hiilijalanjälki.....	17
3.4 Kaarinan Karpalon asumisen hiilijalanjälki.....	17
4 Johtopäätökset ja yhteenveto	20
4.1 Case-kohteiden rakentamisen aikainen hiilijalanjälki.....	21
4.2 Case-kohteiden asumisen hiilijalanjälki.....	23
4.3 Jatkotutkimusaiheita ja pohdintoja.....	24
Lähteet	26
Kuvat	
Kuva 1. LCA-laskentamenetelmien eroja (Heikkinen 2020, 16).....	9
Kuva 2. Skanssinkatu 32.....	11
Kuva 3. Kaarinan Karpalo.....	12
Kuva 4. Kaarinan Karpalon ja Skanssin Kurtiinin laajuudet sekä hiilijalanjäljen muodostuminen.....	18
Kuva 5. Asukkaan hiilijalanjäljen muodostuminen.....	24
Taulukot	
Taulukko 1. Eri rakennuksien hiilijalanjälkien raja-arvot (Bionova 2021, 35).....	21

Tiivistelmä

Samuli Helminen, Tiia Härkin & Tapio Keiramo

Asumisen hiilijalanjälki – betonirunkoisen kerrostalon ja puurunkoisen pientalokorttelin vertailu

Turun ammattikorkeakoulun rakennetun ympäristön tutkimusryhmä vertaili betonirunkoisen kerrostalon ja puurunkoisen pientalokorttelin asumisen ja rakentamisen hiilijalanjälkeä. Hanke toteutettiin Länsi-Suomen Yleishyödyllisen Asuntosäätiön (LSYHAS) avustuksella. Hankkeen vertailukohteet valikoituivat YH Kodit Oy:n vuosina 2020–2022 rakenteilla olevien kohteiden perusteella. Kohteiden valikoinnissa pyrittiin hakemaan senkaltaisia rakennuksia ja kortteleita, joissa olisi edustettuina alueelle tyyppillisiä rakennusteknisiä ratkaisuja, kuten perustamistapana paalutus, asukasmäärät suuruusluokaltaan samat, asuntojen keskipinta-alat kerros- ja pientaloille tyyppillisiä.

Rakentamisen elinkaariarviointi ja hiilijalanjäljen laskenta ovat jo melko yleisiä toimenpiteitä. Mutta tämän laskelman lopputuloksen jakaminen yksittäisen asukkaan asumisen hiilijalanjäljen arvoksi on hieman harvinaisempaa. Tässä tutkimuksessa saatiin lupaavia tuloksia sen suhteen, että nykymääräykset täyttävillä rakennushankkeilla voidaan saavuttaa kohtuullinen asumisen hiilijalanjälki, eikä tulevaisuudessa asetettu tavoite yksittäisen kuluttajan hiilijalanjäljen vähentämiseksi olekaan ehkä niin mahdotonta saavuttaa kuin ennakkoon on kuviteltu.

Asiasanat:

Rakentaminen, asuminen, hiilijalanjälki, elinkaariarviointi, LCA

Summary

Samuli Helminen, Tiia Härkin & Tapio Keiramo

Carbon footprint of housing – case study of the carbon footprint in a concrete-framed apartment building and in a wooden-framed block of small houses

The built environment research group at Turku University of Applied Sciences compared the carbon footprint in a concrete-framed apartment building and in a wooden-framed block of small houses. The project was implemented with the assistance of The Housing Foundation of South-West Finland (Länsi-Suomen Yleishyödyllinen Asuntosäätiö, LSY-HAS). The project's comparison sites were selected based on two projects by YH Homes (YH Kodit) under construction between 2020 and 2022. In the selection of the sites, we tried to find similar buildings and blocks, which would have typical construction solutions for the area, such as piling as a foundation method, the number of residents in the same size category, the average surface area of the apartments typical of apartment buildings and small buildings.

Construction life cycle assessment and carbon footprint calculation are already quite common measurements. However, dividing the result of this calculation into the value of the carbon footprint of a single resident's housing is a little less common method. In this study, promising results were obtained regarding the fact that construction projects that meet current regulations can achieve a reasonable carbon footprint. Furthermore, by dividing the result of the carbon footprint of housing to a single resident's carbon footprint we will be able to achieve the goal set to reduce the carbon footprint of an individual consumer. In the future, this will be even easier to achieve than previously imagined.

Keywords:

construction, residence, carbon footprint, life cycle assessment

Käytetyt lyhenteet ja sanasto

BREEAM	BREEAM-luokitus (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) pohjautuu yhteiseen eurooppalaiseen normistoon ja on siksi Euroopan johtava rakentamisen ympäristöluokitusjärjestelmä. (Green Building Council Finland, https://figbc.fi/tyokalu/breem/)
CO ₂ e	Hiilidioksidiekvivalentti, hiilijalanjäljen yksikkö.
Elinkaariarviointi	Menetelmä, jonka avulla voidaan arvioida ja analysoida tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia, Life Cycle Assessment, LCA. (Ympäristö.fi 2021)
EN 15978	Eurooppalainen standardi täsmentää laskentamenetelmän, joka perustuu elinkaariarviointiin (LCA) ja muihin kvantifioituihin ympäristötietoihin rakennuksen ympäristötehokkuuden arvioimiseksi. (Ympäristöministeriö 2021)
Hiilijalanjälki	Hiilijalanjälki on ihmistoiminnasta aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärä. Hiilijalanjäljen yksikkönä käytetään hiilidioksidiekvivalenttia (CO ₂ e). Hiilijalanjäljen laskenta perustuu tekniseen määritelmään ISO/TS 14067. (Kuittinen & le Roux 2017, 46.)
Hiilikädenjälki	Hiilikädenjälki kuvastaa niitä ilmastohyötyjä, jotka saavutetaan rakennuksen, prosessin tai tuotteen elinkaaren aikana ja joita ei syntyisi ilman sitä. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 180)
Kasvihuonekaasut	Ilmakehässä esiintyviä kaasuja, jotka aiheuttavat ilmakehän lämpenemistä, sillä ne imevät itseensä maapallolta vapautuvaa lämpöenergiaa. Esimerkiksi vesihöyry H ₂ O, metaani CH ₄ ja hiilidioksidi CO ₂ . (OpenCO2net, 2021.)
LCA	Life Cycle Assessment eli elinkaariarviointi.
LEED	LEED-luokitus (Leadership in Energy and Environmental Design) on maailman käytetyin globaali rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmä, jonka vahvuutena on yhtenäinen kriteeristö ja vertailtavuus koko maailmassa. Monien vaatimusten takana on amerikkalaisia käytäntöjä, joista osaan on kuitenkin mahdollista soveltaa myös eurooppalaisia ja suomalaisia käytäntöjä. Luokitusjärjestelmää käytetään yli 130 maassa. (Green Building Council Finland, https://figbc.fi/tyokalu/leed/)
Level(s)	Euroopan komission luoma viitekehys, jonka avulla voidaan määrittää rakennuksen kestävyuden taso. Viitekehys on luotu tarpeesta yhteiselle tavalle arvioida hankkeita ja vähentää niiden ympäristövaikutuksia parantamalla resurssitehokkuutta. Ensimmäinen viitekehys on julkaistu jo vuonna 2017 ja sitä on päivitetty säännöllisesti siitä lähtien. Viitekehyksessä käsitellään kolmea aihealuetta: rakennusten elinkaaren ympäristötehokkuutta, rakennusten vaikutusta terveyteen ja rakennusten elinkaarikustannusten hallintaa. Aihealueet on jaettu kuuteen päätavoitteeseen ja kukin näistä sisältää useita indikaattoreita. (Green Building Council Finland, https://figbc.fi/levels-viitekehys/)
One Click LCA	Bionova Ltd:n tuottama automatisoitu elinkaariarviointiohjelmisto, jolla voidaan laskea kohteen ympäristövaikutukset. (Oneclicklca, Bionova Ltd)
Rakennuksen elinkaari	Jaetaan viiteen eri moduuliin, jotka ovat tuotevaihe, rakennusvaihe, käyttövaihe, elinkaaren loppuvaihe sekä muut rajojen ulkopuolelle jäävät hyödyt ja haitat. (Ympäristöministeriö 2021).

Tausta ja tavoitteet

1

Ympäristöministeriö on teettänyt vähähiilisen rakentamisen tiekartan 2017, jossa on asetettu tavoitteeksi, että rakennuksen elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä ohjataan lainsäädännöllä 2020-luvun puoliväliin mennessä. Rakennuksen koko elinkaaren päästöjä tarkasteltaisiin eurooppalaista standardoitua laskentamenetelmää käyttäen. Sitovaan sääntelyyn ja rakennuskohtaisiin raja-arvoihin siirryttäisiin ehdotuksen mukaan asteittain vapaaehtoisen pilotoinnin, julkisten hankintojen, ilmoitusvelvollisuuden ja tärkeimpien rakennustyyppien kautta. (Bionova 2017.)

Rakennuksen elinkaariarviointi tehdään tietyn pituiselle ajanjaksolle. Siihen vaikuttaa myös valittu LCA-laskentamenetelmä ja sen antamat reunaviitteet laskennalle. Ajanjakson pituudella on vaikutusta saataviin tuloksiin. Arviointijakson pituutena käytetään usein joko 50 tai 60 vuotta tai tavoitekäyttöikä, mikäli se on ollut suunnittelun lähtökohtana. Standardin EN 15978 mukaisessa laskennassa arviointijakson pituus on 60 vuotta (ks. kuva 1). Vastaavasti ympäristöministeriön vähähiilisyiden arviointityökalussa arviointijakson pituus on 50 vuotta. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 65–67, 72; Kuittinen 2019, 38; Häkkinen 2020, 13; 16.)

Kotitalouksilla on merkittävä rooli kasvihuonekaasupäästöjen muodostumisessa ja luonnonvarojen käytössä. Suomessa kotitalouksien osuus kulutusperäisistä kasvihuonekaasupäästöistä on kaksi kolmasosaa ja lisäksi ne vastaavat noin neljänneksestä Suomen luonnonvarojen käytöstä. (Nissinen & Savolainen, 2019, 29.) Tarkasteluvälillä 2000–2016 kotitalouksien kulutuksen hiilijalanjälki kasvoi 6 650 MkgCO₂e. Keskiverto-suomalaisen hiilijalanjälki oli tarkasteluvälillä keskimäärin 10 t CO₂e. Asumisen osuus kotitalouksien kulutusperäisistä päästöistä on 37 %, kun huomioidaan asumisen energiankulutus, kodin laitteet ja -koneet, tavarat ja palvelut. (Nissinen & Savolainen 2019, 34–40.)

Asumisen hiilijalanjälkeä voidaan tarkastella kolmessa osassa: asumisen energiankulutus, pääoman kuluminen (rakentaminen ja peruskorjaukset) ja muu ylläpito. Jälkimmäinen koostuu kiinteistön huollon ja kunnossapidon palveluista, kuten jätehuollosta, kiinteistöhuollosta ja isännöinnistä. (Salo ym. 2016.) Energiaa rakennuksen käyttövaiheessa tarvitaan kiinteistö- ja taloussähköön sekä käyttöveden ja rakennuksen lämmittämiseen. Eri ostoenergian tuotantomuotojen aiheuttamat päästöt, rakennuksen energiatehokkuus ja uusiutuvan energian hyödyntäminen vaikuttavat rakennuksen käyttövaiheen aikana syntyviin hiilidioksidipäästöihin (Häkkinen & Kuittinen 2020, 104; Bionova Oy 2017, 2).

Turun ammattikorkeakoulun rakennetun ympäristön tutkimusryhmä toteutti vuosina 2020–2022 Länsi-Suomen Yleishyödyllisen Asuntosäätiön rahoituksella tutkimusprojektin 'Hiilijalanjäljen vaikutus asumiseen'. Tämä tutkimus toteutettiin pilottihankkeena ja osana laajempaa tutkimusta, jonka tavoitteena on asumisen kustannusten tutkiminen. Pilottihankkeessa oli tavoitteena tutkia ja laskea asumisen hiilijalanjälkeä. Tutkimuksessa keskityttiin asumisen hiilijalanjäljen laskentaan, joka muodostuu LCA-laskettavan rakennuskohteen elinkaaren aikaisista päästöistä, taloussähkön kulutuksesta ja muista kotitalouksien aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä vuodessa. Elinkaarilaskenta suoritettiin standardin EN 15978 mukaisesti. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää casekohteiden elinkaaren aikana syntyvä hiilijalanjälki ja verrata asunto-osakeyhtiön asukkaiden vuosittaista hiilijalanjälkeä suomalaisen keskivertoiseen hiilijalanjälkeen. Saatua tuloksia voidaan käyttää hyödyksi tulevaisuudessa ympäristöystävällisempien rakennusmateriaalien, rakenteiden ja energiamuodon valinnassa. (Härkin, T. 2021)

	YM Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä	Level(s)	BREEAM mat01 Life Cycle Impacts	LEED MR Whole Building Life-Cycle Assessment
Käytetyn arviointijakson pituus	50 vuotta tai tavoitekäyttöikä	60 vuotta	60 vuotta	60 vuotta
Elinkaaren vaiheet (EN 15978)	A1-3 Materiaalien valmistus A4 Kuljetukset työmaalle A5 Työmaatoiminnot B3-5 Korjaukset ja osien vaihdot B6 Energian käyttö C1-4 Purkaminen, purkujätteen käsittely ja loppusijoitus	A1-3 Materiaalien valmistus A4 Kuljetukset työmaalle A5 Työmaatoiminnot B1-B5 Korjaukset ja osien vaihdot B6 Energian käyttö B7 Veden käyttö C1-4 Purkaminen, purkujätteen käsittely ja loppusijoitus D elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset	A1-3 Materiaalien valmistus A4 Kuljetukset työmaalle A5 Työmaatoiminnot B3-5 Korjaukset ja osien vaihdot B6 Energian käyttö B7 Veden käyttö C1-4 Purkaminen, purkujätteen käsittely ja loppusijoitus	A1-3 Materiaalien valmistus A4 Kuljetukset työmaalle B1-B5 Korjaukset ja osien vaihdot C1-C4 Purkaminen, purkujätteen käsittely ja loppusijoitus
Määritettävät ympäristöindikaattorit	Hiilijalanjälki (kgCO ₂ e/m ² /a, m ² =lämmitetty nettoala) Hiilikädenjälki (kg CO ₂ e)	Hiilijalanjälki (kg CO ₂ e)	Hiilijalanjälki (kg CO ₂ e) Happamoituminen (kg SO ₂ e) Rehevytyminen (kg PO ₄ e) Otsonikato (kg CFC ₁₁ e) Alailmakehän otsoni (kg C ₂ H ₄) Syntyneet jätteet (kg)	Hiilijalanjälki (kg CO ₂ e) Happamoituminen (kg SO ₂) Rehevytyminen (kg PO ₄ e) Otsonikato (kg CFC ₁₁ e) Alailmakehän otsoni (kg NOx tai kg C ₂ H ₄) Uusiutumattoman energian kulutus (MJ)
Sisällytettävät materiaalit	Tontti (maosot, tuennat ja vahvistukset, päällysteet, alueen rakenteet) Kantavat rakenteet (perustukset, alapohja, runko, julkisivut, ovet ja ikkunat, ulkotasot, kattorakenteet) Täydentävät rakenteet (väliseinät ja ovet, portaat, pintarakenteet, tyypilliset kiintokalusteet, hormit ja tulisijat, tilaelementit) Talotekniikka (lämmitys-, vesi- ja viemäri-, ilmastointi- ja jäähdytys- ja sähköjärjestelmät, sprinkleri, hissit)	Pääsääntöisesti samat kuin YM arviointimenetelmässä	Kriteerissä voi saavuttaa pisteitä sitä enemmän, enemmän materiaaleja laskentaan sisällyttää.	Ei sisällä talotekniikka tai tontin rakenteita.
Huomiot	- Määritetään myös positiiviset vaikutukset eli hiilikädenjälki - Ennalta määritetyt päästökertoimet käytönaikaiselle energialle		Kriteerissä voi saavuttaa pisteitä sitä enemmän, enemmän materiaaleja laskentaan sisällyttää sekä laadullisesti parempaa ympäristödataa ja laskentatyökalua käyttää. Maksimissaan 5 (+1 exemplary level piste)	Laaditaan Baseline-rakennus. Pisteitä saa, mikäli voi osoittaa vähintään 10% parannuksen Baseline-rakennukseen.

Kuva 1.

LCA-laskentamenetelmien eroja (Heikkinen 2020, 16).

Menetelmänä tapaustutkimus



2

Asumisen hiilijalanjäljen laskenta toteutettiin tutkimalla kahden case-kohteen elinkaaren aikaisen hiilijalanjäljen merkitystä asumisen hiilijalanjälkeen. Case-kohteiksi valikoituivat YH Kotien kohteet As Oy Skanssin Kurtiini sekä As Oy Kaarinan Karpalo. Lisäksi tutkimuksessa tehtiin kirjallisuuskatsaus sekä hiilijalanjäljen muodostumisesta että sen laskennan menetelmistä.

Case-kohteet valikoituivat rakennustyyppin sekä koon perusteella. Laskennan kohteiksi haluttiin vertailuun sekä betonista rakennettu kerrostalo että puurakenteinen pientalo, mutta kuitenkin laajuudeltaan sen kaltaisia kohteita, joissa on useita asuntoja. Rakentamisen hiilijalanjälki tullaan laskemaan kansallisen ohjeistuksen mukaisesti rakennusneliöitä kohden, mutta erilaisissa tilastoissa esitetään kuitenkin hiilijalanjäljen kohdistuminen asukasta kohti.

Tutkimuskysymykseksi case-kohteissa nouseekin, miten näissä erityyppisissä asunto-kohteissa muodostuu rakennuskohtainen hiilijalanjälki. Erityisesti, miten tuo rakennuksen hiilijalanjälki kohdistuu yksittäiselle asukkaalle. Näin asukkaalle kohdistettuna rakentamisen ja asumisen hiilijalanjäljen osuutta on mahdollista seurata suhteessa asetettuihin kansallisiin ja kansainvälisiin tavoitteisiin.

2.1 Betonirakenteinen kerrostalo

Asunto-osakeyhtiö Turun Skanssin Kurtiini sijaitsee osoitteessa Skanssinkatu 32, 20730 Turku. Rakennettu kohde käsittää 2-portaisen, 5-kerroksisen kerrostalon, jossa on yhteensä 60 asuntoa (ks. kuva 2). Rakennus on toteutettu vuonna 2021. Sen kokonaisala on 3 935 brm² ja huoneistoala 2 633 htm². Kohteen tilavuus on 12 501 rm³. Autopaikat on toteutettu erillisurakkana.



Kuva 2.
Skanssinkatu 32.

Tontti rajoittuu pohjoisesta korttelin sisäisen autoliikenteen kulkuväylään, idästä parkkihallirakennukseen, etelästä pysäköintialueeseen sekä lännestä Skanssinkatuun.

Rakennus on perustettu pohjatutkimusten edellyttämällä tavalla kantavaan moreeni-pohjaan teräsbetonipaaluilla. Asuntojen kohdalle alapohjaan on asennettu radonputkitus ja tuuletusputki on johdettu vesikatolle. Rakennuksen kantavat ulkoseinät ovat teräsbetonielementtirakenteisia. Alapohja on tehty kantavana maanvastaisena laattana. Välipohjat sekä yläpohja ovat ontelolaattarakenteisia. Kattomuotona on harjakatto ja vesikatteena toimii bitumikermikate. Julkisivut ovat etelä- ja länsijulkisivulla paikallismuurattua tiiltä, itä- ja pohjoisjulkisivulla eristerappausta ja tiililaattaa.

Huoneistojen väliset seinät ovat teräsbetoniseiniä. Kevyet väliseinät ovat pääosin kipsilevyypintaisia, teräsrunkaisia seiniä. Pesuhuoneiden kevyet väliseinät ovat kylpyhuoneelementin peltikasettiseiniä, huonetilan puolelta kipsilevytetyjä. Parvekelaatat ovat teräsbetonirakenteisia, parvekkeiden mahdolliset pieliementit tai pilarit ovat harmaaksi maalattua betonia.

Asukkaiden yhteisessä käytössä ovat saunaosasto, kuivaushuone sekä ulkoiluvälinevarasto. Taloon ei toteutettu väestönsuojatiloja. Väestönsuojatilat sijoitetaan osin tontille 3, ja loppuosa väestönsuojatiloista sijoitetaan myöhemmin rakennettavalle tontille.

Talosauna, palveluteinen, kuivaushuone sekä varastot ja tekniset tilat sijaitsevat rakennuksen ensimmäisessä kerroksessa. Viidennessä kerroksessa sijaitsee ilmanvaihdon konehuone.

Tuloilman esilämmitykseen hyödynnetään tontilla 2 sijaitsevaa maalämpökaivoa. Rakennukseen on suunniteltu varaus aurinkopaneeleiden käytölle.

Rakennuksen paloluokka on P1. (Helminen, S. 2022).

2.2 Puurakenteinen pientalokortteli



Kuva 3.

Kaarinan Karpalo.

Asunto-osakeyhtiö Kaarinan Karpalo sijaitsee Kaarinan kaupungissa ja se koostuu viidestä erillisestä rivitalosta, joissa on yhteensä 28 asuntoa (ks. kuva 3). Asunto-osakeyhtiöön kuuluu myös 50 autopaikkaa, joista 26 sijaitsee kahdessa erillisessä autokatoksessa, sekä katetut jäte- ja pyöräkatokset. Autojen parkkipaikat, auto-, pyörä- ja jätekatokset sekä tukimuuri jätettiin kohteen elinkaaren hiilijalanjälkitarkastelun ulkopuolelle standardin EN-15978 mukaisessa laskennassa huomioitavan sisällön ja opinnäytetyön rajattavuuden vuoksi.

Kaarinan Karpalo on uudisrakennuskohde, jonka rakentaminen aloitettiin lokakuussa 2019 ja joka valmistui helmikuussa 2021. Rakennukset on perustettu teräsputkipaaluilla pohjamaoreenin tai kallion varaan. LCA-laskennassa on käytetty teräsputkipaalujen pituuksina rakennesuunnittelijan ilmoittamien putkipaalujen pituuksien keskiarvoa tulo-kohtaisesti. Teräsputkipaalut on täytetty betonilla.

Talojen anturat ja sokkelit ovat raudoitevahvistettua betonia. Talojen alapohjalaatat ovat kantavia teräsbetonilaattoja. Rakennusten ulkoseinät ovat puurakenteisia ja ne on eristetty mineraalivillalla. Rakennusten ulkoverhoukset ovat maalattua puupaneelia. Asuntojen väliset kantavat väliseinät ovat teräsbetonia ja kevyet väliseinät ovat kipsilevyillä vuorattuja puurakenteisia väliseiniä. Saunojen väliseinät ovat muurattu Kahi-harkoilalla. Rakennuksissa on puiset kattorakenteet ja katot on pinnoitettu kumibitumikermilla. Yläpohjien lämmöneristeenä on käytetty puhallusvillaa. Asunnot ovat varustettu isoilla, asuntojen levyisillä katetuilla terasseilla, ulkovarastotiloilla ja huoneistokohtaisilla sähkösaunoilla.

Muista asunto-osakeyhtiön taloista poiketen talo E:n yhteydessä on lisäksi tekninen tila ja S1-luokan väestönsuojatila. Jälkimmäisen pinta-ala on 42 m² ja se on mitoitettu 56 henkilölle. Väestönsuojatila palvelee normaaliaikana ulkovalinevarastona.

Asuntojen rakennevalinnat ja LVIS-järjestelmien varustelut ovat yhdenmukaisia kaikissa asunnoissa. Kiinteistöjen pääasiallinen lämmönlähde on maalämpöpumppu, joka lämmittää lattialämmitys- ja lämminkäyttövesiverkostoa. Kaikissa huoneistoissa on koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä lämmön talteenottoa varten. Rakennusten yhteenlaskettu kokonaisala on 2 034 brm², huoneistoala 1 813,5 htm² ja tilavuus 6 300 rm³. (Härkin, T. 2021).

2.3 Hiilijalanjäljen laskennan menetelmät ja rajaukset

Kohteiden laskennan lähtötietoina käytettiin YH Kodit Oy:n luovuttamaa aineistoa. Kohteista oli käytössä ensisijaisesti piirustusdokumentaatioita PDF-muodossa. Skanssin Kurtiinista oli käytössä lisäksi myös tietomalli. Elinkaaren hiilijalanjäljen laskenta One Click LCA -ohjelmalla perustuu näihin 2D-rakennus- ja detailjipiirustuksiin, mutta myös pääurakoitsijan ja/ tai talopakettitoimittajan määrälaskentaluetteloihin ja muuhun suunnittelutietoon, joita kohteista oli saatavilla.

Huomattavaa on, että määräluettelot on laadittu Talo 80 - ja/tai Talo 2000 -määrälaskentaohjeiden mukaan. Tavoitteena näissä on sekä kustannuslaskennan että aikataulu- ja tehtäväsuunnittelun kannalta merkitykselliset määrät ja yksiköt. Määrälaskennan menetelmien yksiköt eivät kaikilta osin palvele hiilijalanjäljen laskennan tavoitteita parhaalla mahdollisella tavalla, vaan yksiköitä tulee joidenkin laskettavien rakennusosien, -tuotteiden ja -materiaalien kohdalla muuttaa.

Kohteen LCA-laskentamenetelmänä käytettiin yksinkertaistettua laskentaa, jossa rakennusmateriaalien ja -tuotteiden kuljetusmatkojen ja kierrätettävyyden uudelleenkäytön osalta käytetään One Click LCA -laskentaohjelmiston valmiita arvoja.

Arvioinnissa huomioitiin koko rakennus, tontin rakenteet sekä keskeinen osa taloteknisistä järjestelmistä. Arviointiin ei sisälly tontilla oleva kasvillisuus, maaperä tai rakentamisen väliaikaiset telineet ja suojaukset, kiinteistöön kuuluvat pysäköintialueet eivätkä auto-, jäte- ja polkupyöräkatokset. Elinkaareen sisältyvät rakennustuotteiden valmistus, kuljetukset ja työmaatoiminnot, käyttö ja korjaukset sekä purku ja kierrätys. (Kuittinen, M. 2019, 22).

Kohteen LCA-laskennassa huomioitiin rakennuksien kaikki rakennusosat. LCA-laskennassa pyritään huomioimaan myös rakentamisen ja asentamisen aikana syntyvä materiaalihukka. (Kuittinen 2019, 17). Tulosten oikeellisuuden kannalta on tärkeää, että rakentamiseen käytettyjen materiaalien määrätiedot ovat arvioitu oikein ja LCA-laskennassa on käytetty tuotteiden ja suoritteiden oikeaa hiilijalanjälkitietoa (Häkkinen & Kuittinen 2020, 77). Niiden rakennusmateriaalien, -tuotteiden ja -tarvikkeiden osalta, joista ei ollut käytettävissä kohdekohtaisia tietoja, LCA-laskennassa käytettiin yleisesti Suomessa käytössä olevia tuotteita. (Härkin, T. 2021; Helminen, S. 2022).

Standardien EN-15804 ja EN-15978 mukaisesti LCA-laskennan ulkopuolelle jätettiin ne rakennustarvikkeet ja -materiaalit, jotka kattavat alle 1 % rakennuksen kokonaismassasta tai energian kulutuksesta. Tarkastelun ulkopuolelle jätetyt materiaalit eivät kuitenkaan saa kokonaisuutena ylittää 5 % rakennuksen kokonaisenergian kulutuksesta tai massasta. Materiaalien rajausta ei saa käyttää tulosten peittämiseen tai salailuun. (Häkkinen & Kuittinen 2020, 79.) Tällaisia LCA-laskennan ulkopuolelle jätettyjä tarvikkeita ovat esimerkiksi ruuvit, kiinnityshelat ja naulat, sillä ne edustavat huomattavan pientä määrää suhteutettuna kohteen kokonaismassaan.

Tulokset

3

Kohteiden LCA-laskentamenetelmänä käytettiin yksinkertaistettua laskentaa, jossa rakennusmateriaalien ja -tuotteiden kuljetusmatkojen, kierrätettävyyden ja uudelleenkäytön osalta käytetään One Click LCA -laskentaohjelmiston valmiita arvoja. Elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä tarkasteltiin ympäristöministeriön laskentaohjeen mukaisesti 50 vuoden ajanjaksolla ja vuotuiset päästöt suhteutettiin kokonaisalalle.

Laskennan tuloksena saatu elinkaaren aikainen hiilijalanjälki pyrittiin myös muuttamaan tilastoissa vertailtavaan ja tavoiteltavaan asumisen hiilijalanjälkeen. Tilastoissa tämän vertailulukua on suhteessa jaettuna asukkaalle.

3.1 Skanssin Kurtiin rakentamisen elinkaaren aikainen hiilijalanjälki

Asunto-osakeyhtiö Turun Skanssin Kurtiin elinkaaren aikainen hiilijalanjälki 50 vuoden tarkastelujakson pituudella on 3 300 tonnia CO₂e. Vuotuiset päästöt suhteutettuna kokonaisalalle ovat 16,77 kgCO₂e/m²/vuosi. Rakentamisvaiheen (A1–A5) aiheuttamat päästöt ovat noin 31 % koko elinkaaren aikaisista päästöistä, kun taas käyttövaiheen (B1–B7) aikaiset päästöt ovat noin 68 %. Ulkoisten vaikutusten ja purkuvaiheen päästöt ovat noin 1 %. Käytön aikaisten päästöjen suurimmat vaikuttavat tekijät ovat sähkö- ja kaukolämpöjärjestelmä.

3.2 Skanssin Kurtiinin asumisen hiilijalanjälki

Yhden asukkaan vuotuinen kulutus saadaan laskemalla käytön (B1–B7 moduulit) aikana syntyneiden päästöjen määrä vuodessa jaettuna asukasmäärällä, jonka määräksi arvioidaan tässä 95 asukasta. Tällöin saadaan asukkaan asumisesta syntyvä vuotuinen asumisen hiilijalanjälki, johon kuuluu kaikki asunnon, käyttöveden, sähkön, lämmityksen ja jätteiden syntyemisestä aiheutuvat päästöt.

Määritettäessä asumisen hiilijalanjälkeä, tulee koko rakennuksen elinkaaren aikaisesta hiilijalanjäljestä vähentää sähkön ja veden kulutuksen osuus, eli noin 2 079 tn CO₂e. Tällöin yhden asukkaan vuotuinen osuus hiilijalanjäljestä on noin 438 kgCO₂e.

As Oy Turun Skanssin Kurtiinissa vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia sähkön osalta on 137 882 kWh/vuosi. Kertomalla tulos vuoden 2020 sähköntuotannon päästökertoimella 121 g CO₂/kWh, saadaan rakennuksen ylläpitoon käytettävän sähkön aiheuttamat päästöt, joka on noin 16 680 kgCO₂e/vuosi. Osuus asukasta kohti on tällöin 175 kgCO₂e/hlö/vuosi.

Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergian määrä kaukolämmön suhteen on kohteessa 270 534 kWh/vuosi. Kertomalla tulos vuoden 2020 kaukolämmön tuotannon päästökertoimella 130 g CO₂/kWh, saadaan rakennuksen käytön aikaisen lämmityksen aiheuttama ilmastokuorma, joka on 35 169 kgCO₂e/vuosi. Asukasta kohden osuus on 370 kgCO₂e/hlö/vuosi.

Veden ja jäteveden käytön sekä käsittelyn osuus elinkaaren aikaisesta hiilijalanjäljestä on 2,5 % eli noin 82 500 kgCO₂e. Yhden asukkaan vuotuinen osuus on tällöin noin 17,4 kgCO₂e.

Lisäksi asumisen hiilijalanjälkeen asukkaan osalta vaikuttavat elämäntavat ja kierrättämisaktiivisuus. Vantaan Energia on tehnyt tutkimuksen yhteistyössä VTT:n työryhmän kanssa koskien ihmisten kierrätys- ja lajitteluaktiivisuutta. Tutkimustulokset osoittivat, että ahkeran jätteidenlajittelijan hiilijalanjälki on 288 kgCO₂e/vuosi, joka on alle puolet peruslajittelijan hiilijalanjäljestä. Jätteiden lajittelu ja kierrättäminen ei vaadi ihmisiltä merkittäviä elämäntapamuutoksia, joten mukavuuksista ei tarvitse tinkiä ollakseen ekologinen lajittelija. (Vantaan Energia 2019a; Vantaan Energia 2019b).

Suomalaisen jätteiden lajittelun numeerista keskiarvoista hiilijalanjälkeä ei ollut saatavilla, joten voidaan ajatella sen olevan asukasta kohden maksimissaan Vantaan Energian ilmoittama ahkeran lajittelijan hiilijalanjälki, joka on alle puolet keskimääräisestä jätteiden lajittelun hiilijalanjäljestä. Skaala olisi siis 288 – noin 600 kgCO₂e/hlö/a. Ihmiset

ovat tottuneet erilaisiin elämäntapoihin, joten rakennuksessa saattaa asua ahkeria kierättäjiä ja vähemmän ahkeria kierrättäjiä. Tästä voidaan marginaaliseksi keskimääräiseksi hiilijalanjälkiarvoksi kierrättämisen osalta arvioida 450 kgCO₂e/hlö/a.

Nämä kaikki tekijät yhteenlaskettuna muodostavat yhden asukkaan aiheuttaman vuotuisen hiilijalanjäljen, joka näiden laskujen perusteella on As Oy Turun Skanssin Kurtiinissa on noin 1 500 kgCO₂e/hlö/a (ks. kuva 4). (Helminen, S. 2022).

3.3 Kaarinan Karpalon elinkaaren aikainen hiilijalanjälki

Asunto-osakeyhtiö Kaarinan Karpalon elinkaaren aikainen hiilijalanjälki 50 vuoden tarkastelujakson pituudella on 1 084 tonnia CO₂e. Vastaavasti hiilijalanjälki suhteutettuna kokonaisalalle on 10,66 kgCO₂e/m²/vuosi. Moduulien A1–A5 elinkaaren aikaisten päästöjen osuus on 53 %. Käyttövaiheen aikaiset päästöt aiheuttavat moduulit B1–B7, joiden prosentuaalinen osuus kohteen elinkaaren aikaisista päästöistä on 44 %. Osuus elinkaaren aikaisista päästöistä on verrattain alhainen, sillä LCA-laskennassa on ennustettu eri energiamuotojen päästökertoimien kehittyvän Suomen ilmastopolitiikan tavoitteiden mukaisesti. As Oy Kaarinan Karpalon primäärilämpöenergian lähde on uusiutuvaksi energialhteeksi luokiteltava maalämpö, jonka avulla kyetään tuottamaan suurin osa kohteen vaatimasta lämmitysenergiasta. Ulkoisten vaikutusten ja purkuvaiheen päästöt ovat noin 4 %.

3.4 Kaarinan Karpalon asumisen hiilijalanjälki

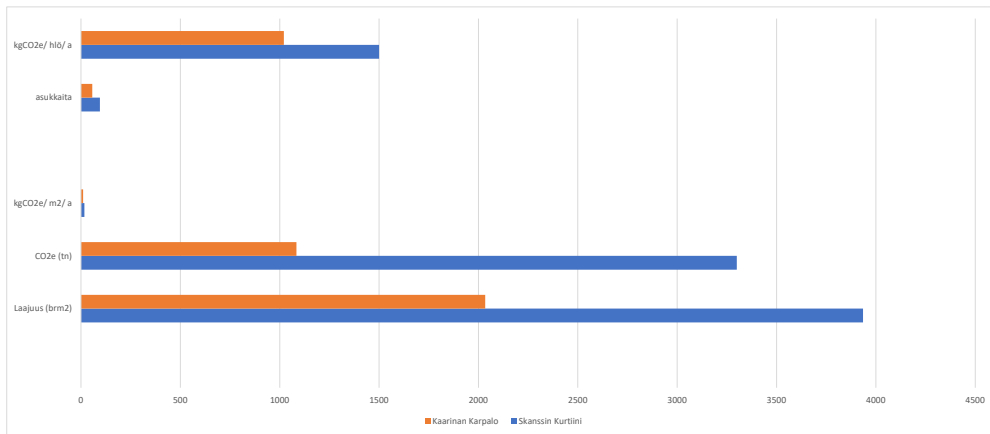
As Oy Kaarinan Karpalo koostuu 28 eri kokoisesta asunnosta ja YH Kodit Oy:n rakennuttajapäälliköltä saatujen asukastietojen mukaan taloyhtiössä asuu 57 henkilöä. Yhden henkilön asumisen hiilijalanjäljen laskennan oletuksena käytetään lukua 57.

Rakennusten elinkaaren aikainen hiilijalanjälki on 1 084 tonnia CO₂e 50 vuoden tarkastelujakson pituudella. Asumisen hiilijalanjälkeä laskettaessa rakennuksen elinkaaren kokonaishiilijalanjäljestä tulee vähentää sähkön ja veden kulutuksista johtuva hiilijalanjäljen osuus, jotta saadaan selville pääoman kulumisesta ja käytöstä johtuva hiilijalanjälki. Pääoman kulumisesta johtuva hiilijalanjälki on 839 107 kgCO₂e koko elinkaaren ajalta, jolloin yhden asukkaan hiilijalanjäljen osuus pääoman kulumisesta vuodessa on 294 kgCO₂e.

As Oy Kaarinan Karpalon kuluttajalaitteiden ja valaistuksen vakioidun ostoenergian osuus käyttövaiheen energiatodistusten mukaan oli 34 803 kWh vuodessa. Taloussähkön aiheuttamat hiilidioksidipäästöt voidaan laskea kertomalla taloussähkön määrä

vuodessa keskimääräisellä sähköntuotannon CO₂-päästökertoimella. Keskimääräinen sähköntuotannon CO₂-päästökerroin Suomessa on 131 kgCO₂/MWh ja se on keskiarvo vuosien 2017, 2018 ja 2019 hyödynjakomenetelmällä lasketuista päästökertoimista (Motiva 2021). Kaarinan Karpalon taloussähköstä aiheutuu täten 4 559 kgCO₂e-päästöjä vuodessa ilmakehään. Taloussähköstä johtuvaa henkilötason hiilijalanjälkeä laskettaessa sähkön hiilidioksidipäästöt jaetaan asukasmäärällä, jolloin saadaan, että yhden henkilön käyttämän taloussähkön hiilidioksidipäästöt ovat 80 kgCO₂e/hlö/vuosi.

As Oy Kaarinan Karpalon käyttöönottovaiheen energiatodistusten mukaan vakioidun käytön ostoenergian määrä vuodessa on 116 744 kWh, josta rakennuksen ylläpitoon tarvittavien toimintojen ja apulaitteiden osuus sähkön kulutuksesta on 81 941 kWh. Kertomalla rakennuksen ylläpitoon tarvittava sähkön kulutus sähköntuotannon CO₂-päästökertoimella saadaan, että tästä aiheutuu 10 734 kgCO₂e-päästöjä vuodessa ilmakehään. Tästä yhden asukkaan vuosittainen osuus on 188 kgCO₂e.



Kuva 4.

Kaarinan Karpalon ja Skanssin Kurtiin laajuudet sekä hiilijalanjäljen muodostuminen asukasta ja kokonaisalaa kohden.

Veden käytön, lämpimän veden tuottamisen ja jäteveden käsittelyn prosenttiosuus rakennuksen elinkaaren aikaisesta hiilijalanjäljestä on 7 %. Veden käytöstä johtuva hiilijalanjälki koko tarkastelujakson ajalta on 76 231 kgCO₂e. Yhden asukkaan veden käytöstä johtuva hiilijalanjälki vuodessa on 26,7 kgCO₂e.

Muusta ylläpidosta johtuvaan hiilijalanjäljen laskentaan käytetään keskimääräistä jätehuollon hiilijalanjälkeä. Ahkeran jätteiden lajittelijan muodostama jätehuollon hiilijalanjälki vuodessa on 288 kgCO₂e ja hiilijalanjälki on yli puolet suurempi, mikäli jätteiden

lajittelua ei suoriteta kotitalousjätteiden osalta (Vantaan Energia 2019a; Vantaan Energia 2019b). As Oy Kaarinan Karpalon asumisen hiilijalanjälkeä laskettaessa käytetään jätehuollon osuuden hiilijalanjäljen laskennassa keskimääräistä jätteiden lajitteluaktiivisuutta, jolloin jätehuollon vuosittainen hiilijalanjälki per asukas on 432 kgCO₂e.

Kun yhden asukkaan asumiseen ja energian käyttöön liittyvät hiilijalanjäljet lasketaan yhteen, saadaan As Oy Kaarinan Karpalon yhden asukkaan asumisen hiilijalanjäljeksi vuodessa 1 021 kgCO₂e (ks. kuva 4). (Härkin, T. 2021).

Johtopäätökset ja yhteenveto

4

Ympäristöministeriön toimeksiannosta Bionova Oy on laatinut Carbon Footprint Limits for Common Building Types -raportin tulevien hiilijalanjäljen raja-arvojen valmistelua varten. Raportti perustuu tilastolliseen aineistoon, joka koostuu 482 suomalaisen rakennushankkeen materiaalien hiilijalanjälkitiedoista ja 3 748 vuodesta 2018 alkaen rakennuslupaa hakeneiden rakennuskohteiden energiatodistuksien energiankulutustiedoista. Aineiston avulla laadittiin tilastolliset keskimääräiset hiilijalanjäljet.

Hiilijalanjäljen tulokseksi saatiin referenssirakennukselle 12,3–14 kgCO₂e/m²/a. Keskimääräisten arvojen tuloksia on täydennetty herkkyysoanalyysillä, jotka voivat kasvattaa hiilijalanjälkeä 6:sta 22 prosenttiin rakennustyyppistä riippuen. Esimerkkiskenaarioita ovat muun muassa kaavamääräykset, tiilijulkisivu, paikalla valettu betonirunko ja parvekkeet. Tämän referenssirakennuksen hiilijalanjälki ei ota huomioon perustuksia eikä pysäköintiratkaisuja. Rakennuksille arvioitiin tutkimuksissa päästövähennyskeinoja, kuten vähähiilisen betonin käyttöä, puurankarunkoa, A-energialuokkaa ja maalämpöpumpua. Näitä keinoja käytettäessä arvioitiin suurimpien päästövähennysten olevan 28–43 % rakennustyyppistä riippuen. (Bionova 2021, 4.)

Suomessa ei ole vielä käytössä virallisia eri rakennustyyppien hiilijalanjälkien raja-arvoja. Bionova Oy:n raportissa esitetään, että rakennusten hiilijalanjälkien raja-arvot tulee asettaa rakennustyyppikohtaisesti. Bionovan ehdotus alustaviksi eri rakennustyyppien hiilijalanjälkien raja-arvoiksi on esitetty taulukossa 1. Taulukossa esitettyjen arvojen yksikkö on CO₂e/m²/a. (Bionova 2021, 35.)

Taulukko 1.

Eri rakennuksien hiilijalanjälkien raja-arvot (Bionova 2021, 35).

Tulokset	Asuin-rakennus	Toimisto-rakennus	Palvelu-rakennus	Koulu-rakennus	Kaupallinen rakennus
Hiilijalanjäljen vertailuarvo (ks 5)	14,0	12,3	19,2	13,6	12,3
Projektien hallinnan ulkopuolinen hajonta	+ 8 %	+ 4 %	+ 3 %	+ 5 %	+ 2 %
Keskihajontakorjattu hiilijalanjäljen vertailuarvo	15,1	12,8	19,8	14,3	12,5
Ehdotettu hiilen poisto keskihajontakorjatun hiilijalanjäljen vertailuarvosta	25 %	20 %	30 %	25 %	20 %
Keskihajontakorjattu hiilijalanjäljen vertailuarvo, vähemmän vähennystä	11,3	10,2	13,8	10,7	10,0
Alustava ehdotus hiilijalanjäljen raja-arvoksi	11,5	10,0	14,0	11,0	10,0

4.1 Case-kohteiden rakentamisen aikainen hiilijalanjälki

As Oy Kaarinan Karpalon hiilijalanjälki on 10,9 CO₂e/m²/a. Bionova Oy:n asuinrakennuksien alustava ehdotus hiilijalanjäljen raja-arvoksi on 11,5 CO₂e/m²/a. Mikäli Carbon Footprint Limits for Common Building Types -raportin alustavat hiilijalanjälkien raja-arvot eivät muutu ja Suomeen käyttöön tuleva rakennuksien elinkaaren hiilijalanjäljen laskenta noudattaa standardia EN-15978, As Oy Kaarinan Karpalo ylittää todennäköisesti hiilipäästöissään vaaditulle tasolle. Huomion arvoista on, että opinnäytetyön sisältöra-jauksen vuoksi LCA-laskennan ulkopuolelle jätettiin piha-alueet, auto-, pyörä- ja jäteka-tokset.

Bionovan laatiman Carbon Footprint Limits for Common Building Types -raportin mu-kaan rakennuksien elinkaaren hiilijalanjälkeä voidaan pienentää tehokkaasti vähähiili-sen betonin, puurankarungon, CLT-rungon, A-energialuokan ja maalämpöpumpun valin-nalla ja käytöllä. Rakennustyyppistä ja valituista päästövähennyskeinoista riippuen saa-vutettavissa oleva päästöjen vähennyspotentiaali voi olla jopa 28–43 %. (Bionova 2021, 4.)

Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen pystytään vaikuttamaan parhaiten rakennet-tavan rakennuksen hanke- ja suunnitteluvaiheessa. Uusiutuvien energiamuotojen käyt-tö rakennuksen lämmön- ja sähkönkulutuksen kattamiseen pienentää tehokkaasti hiili-jalanjälkeä, sillä uusiutuvien energiamuotojen päästökerroin on nolla koko elinkaaren ajalta. (Fingrid 2021; Kuittinen 2019, 46.)

Uusiutuvia energiamuotoja käytettäessä rakennusmateriaalien ja -tuotteiden tuotevaiheen hiilijalanjälki korostuu rakennuksen hiilijalanjäljen elinkaarilaskennassa. Esimerkikohteessa suurimmat päästöt aiheutuivat betonirakenteista. Valitsemalla ympäristöystävällistä betonia ja terästuotteita betonin raudoituksessa voidaan pienentää tuotevaiheen päästöjä (Bionova 2021, 4).

Toinen tuotevaiheen päästöihin vaikuttava tekijä on rakennuksen sijainti ja sen vaatimat perustukset. Koska kyseessä on useista yksikerroksista rivitaloista koostuva asunto-osakeyhtiö, rakennukset vaativat enemmän pinta-alaa perustuksille kuin vastaavasti samalle tai suuremmalle asukasmäärälle suunnitellut kerrostalot. Esimerkikohteessa rakennukset perustettiin betonilla täytettyjen teräspalkkipaalujen varaan, mikä on tyypillinen perustustapa Turun seudulla. Paalujen pituudet vaihtelivat 5–20 metrin välillä. Mikäli rakennus voitaisiin perustaa ilman betoniteräspaalutusta, hiilijalanjälki olisi pienempi. Näin ollen rakennuspaikan valinnalla on vaikutusta myös tuotevaiheen päästöihin.

Skanssin Kurtiinin vuotuiset päästöt $16,77 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2/\text{a}$ ylittävät noin 20 %:lla tutkimuksessa asetetun referenssirakennuksen keskivertopäästöjen rajan. Tähän vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa perustamistapa, sillä rakennus perustettiin teräspaalujen varaan kantavaan moreenikerrokseen. Paalutustyö ja paalujen suuri määrä rakennuksen pohjan pinta-alaan nähden vaikuttaa merkittävästi päästöjen syntymiseen. Lisäksi betonirunkoisissa rakennuksissa betonilaadun valinnalla on suuri päästövähennyspotentiaali. Vähähiilisen betonin käyttö paikallavaluissa sekä elementeissä laskee tyyppikohtaisesti betonista syntyviä päästöjä 20–60 %, joka on hyvin merkittävä määrä, kun betonia käytetään kohteessa paljon. Mikäli kaikki kohteessa käytetty betoni olisi vähähiilistä, laskisivat kohteen vuotuiset päästöt neliötä kohden välille $15,2\text{–}16,2 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2/\text{a}$. Siitä huolimatta tämä tulos ylittää vielä referenssikohteen asetetun raja-arvon.

Toinen merkittävä päästövähennyspotentiaali on alumiinissa ja alumiiniprofileissa. Tarkasteltavassa kohteessa alumiiniprofilien vaikutus hiilijalanjälkeen on 19,4 % elinkaaren ajalla. Alumiiniprofilien vaikutus vuotuisen päästöarvoon on tässä hankkeessa noin $1,0 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2/\text{a}$. Käyttämällä ilmastoystävällisempää alumiinia ja minimoimalla alumiinin määrää saadaan vuotuisia päästöjä laskettua. On syytä harkita, voidaanko alumiini korvata jollain muulla materiaalilla, joka täyttää samanlaiset laadulliset vaatimukset.

Kohde liitettiin Turun kaukolämpöjärjestelmään. Tämä on selvästi suurin päästöihin vaikuttava tekijä, sillä energiankulutus on kaukolämpöjärjestelmissä suurta. Kaukolämpöratkaisu ei ole ekologisin valinta, sillä verkoston lämmityksessä hyödynnetään kivihiiltä. Kaukolämpöjärjestelmän kokonaishyötysuhde ei ole keskimääräisen CO_2 -päästökertoimen näkökulmasta tehokkain, vaikka sitä on vuosien aikana kehitelty sen osalta. Kaikki energia ei mene hyötykäyttöön, vaan osa on niin sanottua hukkaenergiaa.

Hankkeelle oli kaavailtu suunnitteluselostuksessa maalämpöjärjestelmää sekä aurinkopaneelien varausta, mutta niistä ei ollut enempää mainintaa suunnitelmissa. Mikäli paneelit toteutuvat, tällöin rakennus saa varastoitua energiaa toimintaansa luonnollisesti auringonvalosta, mikä nostattaa kohteen hiilikädenjälkeä. Vuotuiset päästöt saataisiin näillä kaikilla vähennysskenaarioilla referenssirakennuksen raja-arvoihin.

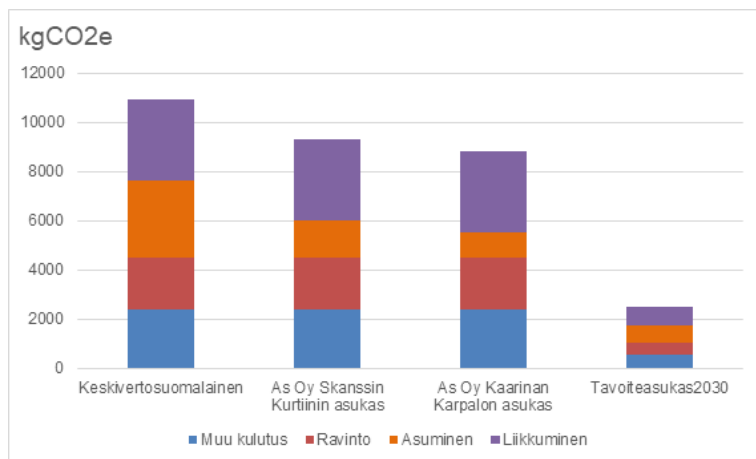
Rakennuksen maantieteellisellä suuntaamisella on tässä myös suuri vaikutus energiasäästöihin, sillä julkisivuun toteutettavat alumiini-ikkunaseinäjärjestelmät ja valokuilut varastoivat lämpöenergiaa rakennukseen ja päästävät lävitseen valoa. Paras hyötysuhde saadaan seinien suuntaamisella auringonvalon puoleen. Tästä tapauksesta suurin hyöty sijoittuu kesäajalle, kun päivät ovat pitkiä. Samaan kategoriaan sijoittuvat aurinkopaneelien varaukset. Mikäli ne toteutetaan, tulee paneelit asentaa sille puolelle harjakattoa, johon auringonvalo paistaa suurimman osan päivästä.

Lisäksi energiatehokkuuteen vaikuttaa huomattavasti rakenteiden, varsinkin rakennuksen vaipan lämmönjohtavuus. Materiaalien oikeaoppinen eristäminen, tiivistäminen ja ikkunapinnan suhteutus seinäpintaan ovat merkityksellisiä tekijöitä pitkällä tähtäimellä rakennuksen elinkaaren aikaisessa päästölaskennassa. Suuressa roolissa ovat ikkunaseinäratkaisun ja ikkunoiden U-arvot. Energiatehokkailla ratkaisuilla minimoidaan mahdolliset lämpövuodot ja energiahävikit sekä saadaan ylläpidettyä rakennuksessa korkeaa hyötysuhdetta.

4.2 Case-kohteiden asumisen hiilijalanjälki

Erilaisissa tilastoissa esitetään keskimääräisen suomalaisen asumisen ja energian hiilijalanjäljeksi 2 100–3 100 CO₂e, joka vastaa noin kolmasosaa kokonaiskulutuksen hiilijalanjäljestä.

Asunto-osakeyhtiö Karpalon yhden asukkaan asumisen hiilijalanjälki vuodessa on 1 021 kgCO₂e. Kuvassa 5 on esitetty kotitalouksien hiilijalanjälki, joka perustuu vuoden 2016 kulutustutkimukseen. Kuvasta nähdään, että vuonna 2016 yhden henkilön hiilijalanjälki asumisen ja energian kulutusmenoluokassa oli noin 3 300 CO₂e. Verrattaessa As Oy Kaarinan Karpalon asukkaan asumisen hiilijalanjälkeä vuoden 2016 taulukkoon havaitaan, että hänen asumisen hiilijalanjälkensä on noin 60 % pienempi. Kuvassa 5 on esitetty keskivertosuomalaisen hiilijalanjäljen muodostuminen, joka perustuu Suomen ympäristökeskuksen vuoden 2016 tietoihin (Nissinen & Savolainen 2019). Raportin mukaan keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki oli 10 934 kgCO₂e, josta asumisen osuus oli 3 132 kgCO₂e.



Kuva 5.

Asukkaan hiilijalanjäljen muodostuminen tutkittavissa kohteissa suhteessa keskivertosuomalaiseen ja tavoiteasukkaaseen 2030.

Laskelmissa on tarkasteltu ainoastaan asumisen hiilijalanjäljen vaikutusta henkilön vuositaiseen hiilijalanjälkeen. Muiden kulutusmenojen ja -tottumusten oletetaan olevan keskivertosuomalaisen tasolla, eli muita vaihtelevia kulutusmenoja ja -tottumuksia ei ole huomioitu laskelmissa.

Asunto-osakeyhtiö Turun Skanssin Kurtiinissa on noin 1 500 kgCO₂e/hlö/a. Tulos on 40 % pienempi kuin Ilmasto-oppaan arvioima keskimääräinen suomalaisen asumisesta aiheutuva hiilijalanjälki 2 500 kgCO₂e/hlö/a ja 58 % pienempi kuin Suomen ympäristökeskuksen tuoreemmassa tilastossa käytetty 3 132 kgCO₂e/hlö/a.

4.3 Jatkotutkimusaiheita ja pohdintoja

Tämän tapaustutkimuksen perusteella on tehtävissä johtopäätös, että nykyisillä rakentamismääräyksillä ja asetuksilla on mahdollista tuottaa sekä puu- että betonirakenteista asuntorakentamista siten, että tulevat hiilijalanjälkitavoitteet voidaan täyttää. Betonirakenteisella kerrostalolla tavoitteiden saavuttaminen on hieman haasteellisempaa, mutta toisaalta säästöpotentiaali on suurempi. Puurakenteisella pientalokorttelilla tavoitteet täyttyvät kevyemmin, vaikka kyseessä olisi paalutettavakin kohde. Kaarinan Karpalon rakennustekniikoilla ja -tavoilla toteutetussa kohteessa on vielä säästöpotentiaaliakin. Ilmastopäästöihin liittyvät tavoitteet voivat olla siis joko rakennuksen elinkaarenaikaisia LCA-tavoitearvoja tai asukkaiden eli kuluttajien asumisen hiilijalanjäljen tavoitearvoja. Kuvassa 5 on esitetty Sitran 1,5 asteen elämäntavat -selvityksen mukaisen vuoden 2030 tavoiteasukkaan hiilijalanjäljen muodostuminen, joka on selvityksen mukaan 2,5–3,2

tonnia CO₂e/hlö vuonna 2030. Seuraavien tavoitteiden toteutuminen tarkoittaa jo rakentamisen ja asumisen hiilijalanjäljen osaltakin lisähaasteita. Sitra esittää selvityksessään, että vuoden 2040 tavoite on 1,4–2,2 tonnia CO₂e/ hlö ja edelleen vuodelle 2050 tavoitetta kiristetään 0,7–1,5 tonniin CO₂e/hlö. (Lettenmeier ym. 2019.).

Tässä tutkimuksessa case-kohteita oli vain yksi kummastakin kategoriasta, mutta laskelmien luvut antavat hyvin suuntaa siitä, minkälaisiin lopputuloksiin on mahdollista päästä. Jatkotutkimuksissa olisi hyvä laajentaa eri kategoriaan kuuluvien rakennusten elinkaaren aikaisten päästölaskelmien lisäksi myös asumiseen kohdistuvia laskelmia, jotta voisimme hahmottaa, mikä vaikutus ja merkitys rakennuksen hiilijalanjäljellä on asumisen hiilijalanjälkeen.

Tiedossa on myös lukuisia menetelmiä siitä, miten sekä rakennuksen elinkaaren aikaisia päästöjä että asumisen hiilijalanjälkeä on mahdollista vähentää. Tavoitteita voisi tämän tutkimuksen perusteella asettaa jopa korkeammalle vuodelle 2030 uudiskohteiden osalla, mutta kokonaisuudessa tulee ottaa huomioon myös vanha asuntokanta ja korjaushankkeet.

Kuinka korkealle tavoitteita on järkevää kustannusten puitteissa asettaa edellyttäisi tarkempaa tutkimusta hiilijalanjäljen ja kustannusten korrelaatioista sekä siitä, mitä vaihtoehtoja rakennushankkeeseen ryhtyvällä, suunnittelijoilla ja toteuttajilla on, jos rakennukselle asetetaan tavoitteiksi vain elinkaaren aikaiset päästöt.

Erilaiset kokeilut hankkeiden kilpailuttamisessa on asettanut osallistujille melko haasteellisia reunaehtoja rakennustavan, -tuotteiden ja -menetelmien valinnoissa. Erityisesti useille asioille asetettavat reunaehdot ja tavoitteet voivat olla ristiriidassa keskenään. Eriaisille toimijoille asetetut tavoitteet lisäävät myös rakennushankkeen eri osapuolille uusia osaamisvaatimuksia. Miten voimme esimerkiksi pienillä lähtötiedoilla haarukoida eri tekijöiden vaikutuksia kokonaisuuteen menemättä kuitenkaan suunnittelussa liian pitkälle?

Jos rakennuksen elinkaaren aikaisten päästöjen määrittämiseen tarvitaan kaikkien suunnittelualojen valmiit suunnitelmat ei tehdyillä laskelmilla ole rakennussuunnittelua ohjaavaa vaikutusta, vaan laskelmilla voidaan vain todeta saavutettu tavoite.

Jotta laskentamenetelmistä saadaan suunnittelua ja rakentamista ohjaava työkalu, tulisi myös kehittää tarve- ja hankesuunnitteluvaiheen elinkaaren laskentamenetelmiä, jotta näillä voidaan ohjata rakennushanketta asetettuun tavoitteeseen. Tähänkin löytyy jo menetelmiä ja välineitä; esimerkiksi Haahtela-yhtiöiden kehittämä TVD-simulaatiomallin testaaminen jonkin hankkeen tarve- ja hankekehitysvaiheen kustannusten- ja hiilijalanjäljen arviointiin antaisi lisää tietoa kustannusten ja hiilijalanjäljen korrelaatiosta.

Lähteet

Bionova Oy 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa.

Bionova Oy 2021. Carbon Footprint Limits for Common Building Types. Ministry of Environment, Finland.

Fingrid 2021. Sähköntuotannon CO₂-päästöarvio. Viitattu 21.5.2021. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/co2/>

Heikkinen, S. 2020. Rakennusten elinkaari vaikutusten arviointi ja käyttöikäsuunnittelun vaikutus. RIL -tietoisku 4.6.2020. PowerPoint-esitys. Viitattu 1.2.2021. <https://www.ril.fi/media/2020/jasenyys/tietoiskut/sanni-heikkinen-ril-tietoisku-lca-laskenta-ja-kayttoikasunnittelu.pdf>.

Helminen, S. 2022. Rakentamisesta ja asumisesta syntyvä hiilijalanjälki – As Oy Turun Skanssin Kurtiini, YH Kodit. Saatavilla <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202203173678>.

Häkkinen, T. & Kuittinen, M. 2020. Kohti vähähiilistä rakentamista: opas arviointiin ja suunnitteluun. Helsinki: Rakennustieto.

Härkin, T. 2021. Asumisen hiilijalanjälki. Opinnäytetyö (AMK). LVI-tekniikka, insinööri. Turku: Turun ammattikorkeakoulu. Saatavilla <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021121626591>.

Kuittinen, M. 2019. Rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmä. Ympäristöministeriö.

Lettenmeier, M., Akenji, L., Toivio, V., Koide, R., Amellina, A. 2019. 1,5 asteen elämäntavat – Miten voimme pienentää hiilijalanjälkeämme ilmastotavoitteiden mukaiseksi? Sitran selvityksiä 148.

Motiva 2021. CO₂-päästökertoimet. Viitattu 19.4.2021. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiansaasto-suomessa/co2-paastokertoimet>

Nissinen, A. & Savolainen, H. 2019. Julkisten hankintojen ja kotitalouksien kulutuksen hiilijalanjälki ja luonnonvarojen käyttö ENVIMAT-mallinnuksen tuloksia, Suomen ympäristökeskuksen raportteja 15/2019. Oneclicklca. Bionova Ltd. Saatavissa: <https://www.oneclicklca.com/fi/>.

OpenCO₂net 2021. Mitä tarkoitetaan hiilijalanjäljellä, päästökertoimella tai hiilidioksidiekvivalentilla? Viitattu 15.3.2021. <https://www.openco2.net/fi/taustaa>.

Salo, M. Nissinen, A. Mäenpää, I. & Heikkinen, M. 2016. Kulutuksen hiilijalanjäljen seuranta tarvi-
taan. Viitattu 19.4.2021. [http://www.syke.fi/download/noname/%7B8D2169BA-028E-404B-BBCD-
CD9D8BD732F6%7D/117056](http://www.syke.fi/download/noname/%7B8D2169BA-028E-404B-BBCD-CD9D8BD732F6%7D/117056).

Sitra 2018. Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki -internetjulkaisu 15.02.2018. Viitattu 2.2.2021. [https://
www.sitra.fi/artikkelit/keskivertosuomalaisen-hiilijalanjalki/](https://www.sitra.fi/artikkelit/keskivertosuomalaisen-hiilijalanjalki/).

Vantaan Energia 2019a. Roskien lajittelu kannattaa! Ahkera lajittelu pienentää ilmastokuormaa oleelli-
sesti! YouTube-video. Viitattu 21.5.2021. <https://www.youtube.com/watch?v=Z0Inyo6LNrA>.

Vantaan Energia 2019b. Roskien lajittelu kannattaa! Todistimme sen tieteellisesti. Ahkeralla lajittelulla
on mahdollisuutta pienentää omaa ilmastokuormaansa oleellisesti. Viitattu 21.5.2021. [https://www.
vantaanenergia.fi/roskien-lajittelu-kannattaa/](https://www.vantaanenergia.fi/roskien-lajittelu-kannattaa/).

Ympäristöministeriö 2021. Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin. Viitattu 2.2.2021. [https://elinkaari-
laskenta.fi/wp-content/uploads/sites/6/2019/08/johdatus_rakennusten_elinkaariarviointiin.pdf](https://elinkaari-laskenta.fi/wp-content/uploads/sites/6/2019/08/johdatus_rakennusten_elinkaariarviointiin.pdf).