



Oskari Koivisto

LVI-järjestelmien tuotesidonnainen hiilijalanjälki uudisrakentamisessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

5.9.2023

Tiivistelmä

| | |
|-----------------------|--|
| Tekijä: | Oskari Koivisto |
| Otsikko: | LVI-järjestelmien tuotesidonnainen hiilijalanjälki uudisrakentamisessa |
| Sivumäärä: | 30 sivua + 3 liitettä |
| Aika: | 5.9.2023 |
| Tutkinto: | insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma: | talotekniikan tutkinto-ohjelma |
| Ammatillinen pääaine: | LVI-suunnittelu |
| Ohjaajat: | osastopäällikkö Olli Eloranta yliopettaja Rauno Holopainen |

Opinnäytetyön aiheena oli vertailla eri LVI-suunnitteluratkaisujen vaikutusta tuotteisiin sitoutuneeseen hiilijalanjälkeen uudisrakentamisessa. Aihetta tarkasteltiin ja analysoitiin skenaariopohjaisesti arvioimalla rakennuksen lämmitys-, käyttövesi- ja ilmanvaihtojärjestelmien materiaaliin sitoutuneita hiilidioksidipäästöjä. Vertailussa käytettiin One Click LCA -ohjelmaa. Skenaariot luotiin samalle arkkitehtipohjalle käyttämällä MagiCAD-suunnitteluohjelmaa.

Lämmitysjärjestelmissä vertailtiin radiaattorilämmitystä ja lattialämmitystä. Radiaattorilämmityksessä materiaaliin sitoutuneen hiilidioksidipäästöt olivat korkeammat kuin lattialämmityksessä. Käyttövesijärjestelmissä vertailtiin pinta-asennusta kupariputkella ja seinän sisään asennusta PEX-putkella. Ilmanvaihtojärjestelmissä vertailtiin keskitettyä ja asuntokohtaista ilmanvaihtojärjestelmää.

Lämmitysjärjestelmissä lattialämmityksen tuotesidonnaiset päästöt olivat radiaattorilämmitystä pienemmät. Käyttövesijärjestelmissä seinän sisään asennettavan PEX-putkiston tuotesidonnaiset päästöt olivat kuparilla tehtävää pinta-asennusta pienemmät. Ilmanvaihtojärjestelmissä keskitetyn ilmanvaihdon tuotesidonnaiset päästöt olivat asuntokohtaista ilmanvaihtojärjestelmää pienemmät.

Uudisrakennuksen suunnittelussa on tärkeää valita ympäristöystävällisiä ratkaisuja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Uudisrakentamishankkeen onnistumiseksi tarvitaan huolellista suunnittelua ja vähäpäästöisten materiaalien valitsemista.

| | |
|-------------|--|
| Avainsanat: | LVI-suunnittelu, asuinkerrostalo, uudisrakentaminen, materiaali, hiilijalanjälki |
|-------------|--|

Abstract

Author: Oskari Koivisto
Title: LCA-based Carbon Footprint of HVAC System Products in New Construction

Number of Pages: 30 pages + 3 appendices
Date: 5 September 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: HVAC Design
Supervisors: Olli Eloranta, Department Manager
Rauno Holopainen, Principal Lecturer

The aim of this thesis was to compare the impact of different HVAC design solutions on the embodied carbon footprint of new buildings. The study analyzed the carbon dioxide emissions associated with heating, domestic hot water, and ventilation systems by using scenario-based evaluation in the One Click LCA program. The scenarios were created using the MagiCAD design software on the same architectural design.

The study compared radiator heating and underfloor heating in the heating systems, surface-mounted copper pipe and PEX pipe installed within the wall in the domestic hot water systems, and centralized and apartment-specific ventilation systems in the ventilation systems.

The results showed that underfloor heating had lower embodied carbon emissions than radiator heating, PEX pipes installed within the wall had lower embodied carbon emissions than surface-mounted copper pipes, and apartment-specific ventilation systems had lower embodied carbon emissions than centralized ventilation systems. It is important to choose environmentally friendly solutions to reduce carbon dioxide emissions in new building design. Careful planning and selection of low-carbon materials are essential for the success of new building projects.

Keywords: HVAC Design, Residential apartment building, Material, New Construction, Carbon Footprint

Sisällys

Käsitteet ja lyhenteet

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 1.1 | Tausta | 1 |
| 1.2 | Tavoite | 2 |
| 1.3 | Menetelmät | 3 |
| 1.4 | Laskennan tarkoitus | 3 |
| 2 | Ilmastonmuutoksen vaikutukset | 4 |
| 2.1 | Ilmastonmuutoksen uhka kasvaa huolimatta kansainvälisistä toimenpiteistä | 4 |
| 2.2 | Suomen hiilineutraalisuuden tavoitteet | 4 |
| 3 | Vähähiilinen rakentaminen | 5 |
| 3.1 | Hiilijalanjälki | 5 |
| 3.2 | Hiilijalanjäljen laskenta | 5 |
| 3.3 | Uudisrakentamisen hiilijalanjälki | 7 |
| 3.4 | Hiilikädenjälki | 7 |
| 3.5 | Hiilinielut | 8 |
| 4 | Vähähiilinen rakennuskanta | 9 |
| 4.1 | Rakennuksen elinkaari | 9 |
| 4.2 | Ympäristöluokitukset | 12 |
| 5 | LVI-järjestelmät ja laskenta | 13 |
| 5.1 | LVI-järjestelmät | 13 |
| 5.2 | LVI-suunnittelu peruserosvaiheessa | 14 |
| 5.3 | Laskentatyökalut | 15 |
| 5.4 | Laskennan kohde | 16 |
| 5.5 | Laskenta | 16 |
| 6 | LVI-järjestelmäkohtainen hiilijalanjäljen jakautuminen | 17 |
| 6.1 | Lämmitys | 19 |
| 6.2 | Käyttövesi | 20 |
| 6.3 | Ilmanvaihto | 21 |
| 7 | LVI-järjestelmien tuotesidonnaiset päästöt | 22 |
| 7.1 | Lämmityksen vertailu | 22 |
| 7.2 | Käyttöveden vertailu | 23 |
| 7.3 | Ilmanvaihdon vertailu | 24 |
| 8 | Pohdinta | 26 |
| | Lähteet | 29 |

Liitteet

Liite 1: Kolmannen kerroksen pohjakuvatiedosto

Liite 2: MagiCad Bill Of Materials

Liite 3: One Click LCA -ohjelmalla laskettu hiilijalanjälki

Käsitteet ja lyhenteet

| | |
|----------------------------|---|
| arviointijakso: | Ajanjakso, jolle elinkaarilaskenta tehdään. Rakennuksen käyttöikä voi olla pidempi, kuin elinkaariarvioinnin ajanjakso. |
| BREEAM: | Euroopan johtava rakentamisen ympäristöluokitusjärjestelmä. |
| elinkaaren vaihe: | Standardin EN 15643 mukainen rakennuksen elinkaaren vaihe. |
| EPD: | Ympäristöseloste (Environmental Product Declaration). |
| fossiilinen hiili: | Fossiilisista lähteistä peräisin oleva hiili |
| hiilidioksidiekvivalentti: | CO ₂ -ekvivalentti tai CO ₂ e on yksikkö, jonka avulla lasetaan yhteen eri kasvihuonekaasujen päästöjen vaikutus kasvihuoneilmiön voimistumiseen. |
| Elinkaaren vaihe: | Standardin EN 15643 mukainen rakennuksen elinkaaren vaihe. |
| GWP: | Ilmaston lämmittävä vaikutus (Global Warming Potential). |
| hiilijalanjälki: | Tuotteen tai palvelun elinkaaren aikana syntyvien kasvihuonekaasujen summa. |
| hiilikädenjälki: | Tuotteen tai palvelun elinkaaren aikana syntyvien absoluuttisten ilmastohyötyjen summa muunnettuna hiilidioksidiekvivalentiksi. |

| | |
|------------------------|--|
| hiilineutraalius: | Ihmisen toiminta ei muuta ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta, eli hiilidioksidipäästöt ovat yhtä suuret kuin niitä voidaan sitoa, hiilijalanjälki elinkaaren ajalta on nolla. |
| hiilinielu: | Toiminto, joka poistaa ilmakehästä hiilidioksidia. Hiilinielu voi olla joko luonnollinen (kuten kasvava metsä) kemiallinen (kuten sementin karbonatisoituminen) tai keinotekoinen (kehitettävät teknologiat). |
| hiilivarasto: | Tuotteeseen tai materiaaliin varastoitunut ilmakehän hiili. Esimerkiksi puun kuivapainosta noin puolet on ilmakehän hiiltä. |
| Joutsenmerkki: | Pohjoismaiden tunnetuin ja arvostetuin ympäristömerkki, jonka kriteerit ovat yhteneväiset kaikissa Pohjoismaissa, joka soveltuu siksi erityisesti pohjoismaisiin olosuhteisiin. |
| LCA: | Life Cycle Assessment, elinkaariarviointi. |
| LEED: | Yhdysvaltalainen maailman käytetyin globaali rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmä. |
| peruskerros: | Peruskerros on asuinkerrostalon kerros, joka toistuu useassa kerroksessa. |
| rakennuksen elinkaari: | Yleiskäsitys rakennuksen eri vaiheista: tuote-, rakennuskäyttö- ja loppuvaihe (purku-kaatopaikka) |
| skenaario | Tulevaisuudessa tapahtuvien elinkaaren vaiheille ja niiden ympäristövaikutuksille laadittu oletus. Oletuksen tulee perustua olemassa olevaan lainsäädäntöön, tyypilliseen teknologiaan tai asiakkaan vaatimuksiin. |

vähähiilisyys:

Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden nousun hillitsemistä huomioiden hiilidioksidia vähän tai ei ollenkaan tuottava ratkaisu.

1 Johdanto

1.1 Tausta

Ilmastonmuutos on nyt entistä huomattavammin pidetty vakavimpana ihmiskuntaa uhkaavana haasteena. Teollistumisen myötä ihmisen toiminnasta on tullut maapallon tasapainoa muuttava tekijä. Modernissa yhteiskunnassa tarvittavien raaka-aineiden hankinta ja fossiilisten energian käyttö ovat tekijöitä, jotka aiheuttavat erilaisia kuormituksia ympäristöön. Kohonneen saastepitoisuuden ja voimakkaasti kasvaneet kasvihuonekaasujen päästöt ovat johtaneet vakaviin ympäristöhaittoihin. Näistä akuuteimmat ovat ilmaston lämpeneminen ja luonnon moninaisuuden nopea väheneminen. (1)

Vuonna 2015 on Euroopan unionissa (EU) tehty Pariisin ilmastosopimus, joka edistää unionin toimia sen rakennuskannan saattamiseksi hiilineutraaliksi. Noin 50 % unionin loppuenergiankulutuksesta käytetään lämmitykseen ja jäähdytykseen ja tästä noin 80 % käytetään rakennuksissa. (2).

Vuoteen 2050 mennessä EU on sitoutunut kehittämään kestävän, kilpailukykyisen, turvallisen ja hiilineutraaliksi saatetun energiajärjestelmän. Tavoitteen saavuttamiseksi jäsenvaltiot ja eri sidosryhmät tarvitsevat käytännön työkaluja. Rakennuskannan osuus kaikista unionin kasvihuonepäästöistä on merkittävä, noin 36 % (2). Suomen hallituksen asettama tavoite vuonna 2019 oli olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja sen jälkeen hiilinegatiivinen. (3.)

Kun ilmastonmuutos kiihtyy, rakennusten omistajat ja käyttäjät haluavat olla entistä tietoisempia siitä, kuinka paljon päästöjä niiden kiinteistöt tuottavat elinkaarensa aikana ja miten niihin voidaan vaikuttaa. Rakentamisen ympäristövaikutukset ilmaistaan yleisesti hiilijalanjälkenä, joka kuvaa rajattavan kokonaisuuden aiheuttamaa ilmastokuormaa. Hiilijalanjälki ottaa huomioon rakennusympäristön elinkaarenaikaiset päästöt kokonaisvaltaisesti. (3.)

1.2 Tavoite

Tämä opinnäytetyö pyrkii selvittämään ja vertailemaan erilaisten LVI-suunniteluratkaisujen ja materiaalien aiheuttamien hiilipäästöjen määriä sekä talotekniikan hiilijalanjälkeä rakennuksen tuotevaiheessa A1–3 (kuva 4). LVI-järjestelmiä käsitellään tarkemmin luvussa 5.1. Työn tavoitteena on löytää käytännön ratkaisuja ja materiaaleja, joiden avulla päästöjä voidaan vähentää rakennuksen tuotevaiheessa.

Tavoitteena on löytää rakennusten elinkaaren arviointityökalun avulla käytännön ratkaisuja, joilla voidaan vähentää hankkeiden ilmastokuormaa LVI-suunnittelun keinoin. LVI-suunnittelussa on usein mahdollista valita eri toteutustapoja ja materiaaleja, jolloin myös niiden materiaaleihin sitoutuneet hiilijalanjäljet vaihtelevat. Tämän avulla suunnitteluvaiheessa voidaan vaikuttaa merkittävästi LVI-järjestelmien valmistusvaiheen aikaisiin päästöihin.

Opinnäytetyö tehdään insinööritoimisto Entalcon Oy:lle. Entalcon on vuonna 1981 perustettu LVIAKSp- ja energiasuunnittelutoimisto. Toimitilat sijaitsevat Espoon Leppävaarassa. Yrityksessä työskentelee noin kaksikymmentä LVI-suunnittelijaa. Suunnittelun lisäksi Entalcon tekee LVI-valvontaa. Yritys on toiminut alalla 40 vuotta.

1.3 Menetelmät

Tässä opinnäytetyössä on kaksi osaa: teoriaosuus ja analysointiosuus. Teoriaosuudessa selvitettiin työn taustoja ja tarkasteltiin nykyisiä säädöksiä, jotka koskevat rakentamista ja rakennuksissa käytettävien materiaalien päästöjä. Lisäksi verkkoaineistoa käytettiin syventymään talotekniikan hiilijalanjälkeen tarkemmin. Analysointiosuus toteutettiin One Click LCA -laskentaohjelmalla, jossa tehtiin kuusi erillistä skenaariota kahdelle LVI-suunnitelmalle. Suunnitelmat perustuivat samaan arkkitehtipohjaan.

Skenaariot, joita analysoitiin, olivat

- käyttövesi- ja viemärijärjestelmässä pinta-asennus kromilla ja asennus seinän sisässä
- lämmitysjärjestelmässä radiaattoreilla ja lattialämmityksellä
- ilmanvaihdossa asuntokohtaisilla ilmanvaihtokoneilla ja keskitetyllä ilmanvaihdolla konehuonepaketilla.

1.4 Laskennan tarkoitus

Laskennan tarkoituksena on arvioida vaihtoehtoisten LVI-järjestelmien tuotesidonnaista hiilijalanjälkeä. LVI-järjestelmissä käytettävien materiaalien valinnalla on suuri merkitys niin energiatehokkuuden kuin hiilijalanjäljenkin kannalta. Valitsemalla kestäviä materiaaleja, jotka on valmistettu ympäristöystävällisesti ja joilla on pitkä käyttöikä, voidaan vähentää materiaaliin sitoutuneiden päästöjen määrää. (21) Vähähiilisyyden parantamiseen voidaan vaikuttaa suunnitteluvaiheessa tunnistamalla vähähiiliset ratkaisut ja vähentää näin hiilijalanjälkeä (15).

2 Ilmastomuutoksen vaikutukset

2.1 Ilmastomuutoksen uhka kasvaa huolimatta kansainvälisistä toimenpiteistä

Kasvihuonekaasupitoisuudet ovat kasvaneet huolimatta kansainvälisistä sopimuksista. Ilmastomuutos on tapahtumassa arveltua nopeammin ja sen vaikutukset näkyvät kaikkialla maailmassa. Vuoden 2018 maailmanlaajuisen keskilämpötila oli noin 1 °C korkeampi kuin teollistumista edeltäneessä lähtötilanteessa. Neljä viimeistä vuotta ovat olleet seurantahistorian lämpimimmät. Ilmastomuutoksen myötä tapahtuu monia konkreettisia muutoksia ympäristösämme. Merenpinta nousee kiihtyvällä nopeudella. Lämpenemisen jatkuminen näkyy monissa eri ääri-ilmiöinä kuten ennätysellisinä helteinä, kuivuuden lisääntymisenä, runsaina metsäpaloina, jäätiköiden edelleen kiihtyvällä sulamisella, ikiroudan sulamisella ja napa-alueiden kaventumisena sekä runsaina sateina ja myrskyinä. Kehityssuunta voidaan kuitenkin kääntää. (23)

2.2 Suomen hiilineutraalisuuden tavoitteet

Suomen tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja saavuttaa nopeasti sen jälkeen hiilinegatiivisuus (4). Suomi on sitoutunut raportoimaan kasvihuonekaasupäästöistään Euroopan komissiolle ja YK:n ilmastosopimuksen sekä siihen liittyvän Kioton pöytäkirjan mukaisesti. Päästövähennysvelvoitteiden seurannassa käytetään raportointia kansainvälisillä laskenta- ja raportointiohjeilla perustuen ja niiden avulla seurataan päästöjen toteutumista. (5)

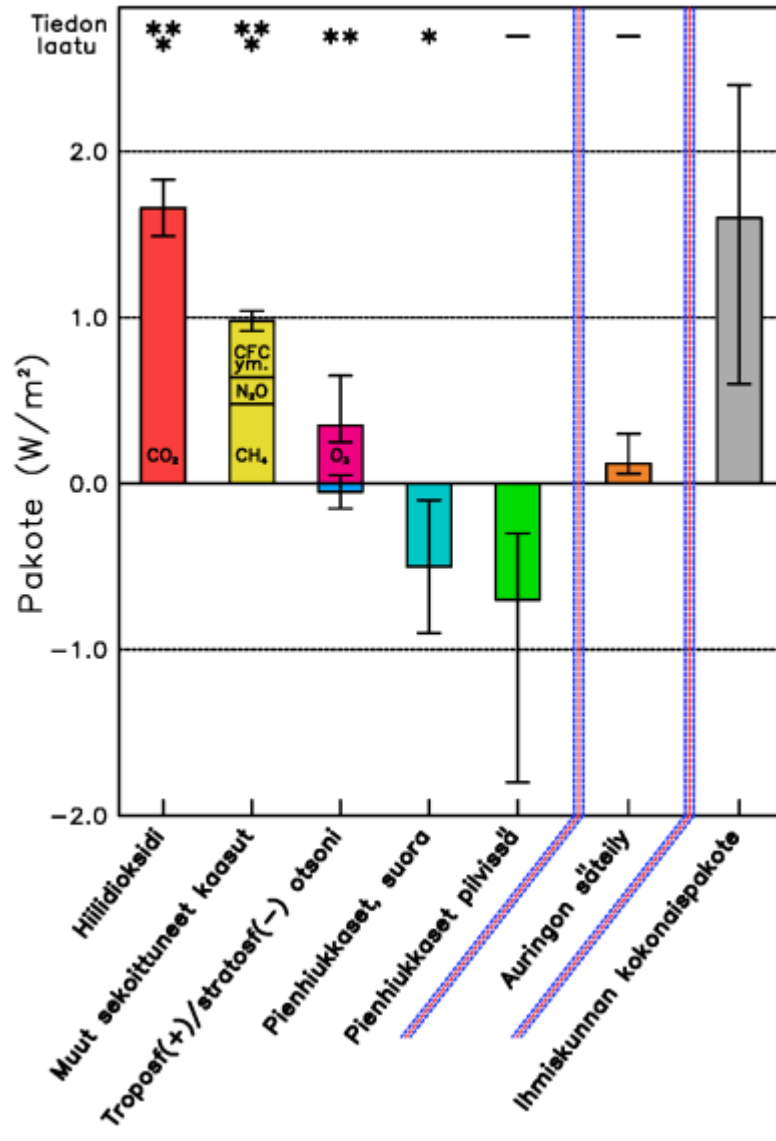
3 Vähähiilinen rakentaminen

3.1 Hiilijalanjälki

Rakentaminen ja rakennusten käyttö tuottavat noin kolmanneksen kasvihuonepäästöistä. Hiilijalanjälki on laskennallinen suure, jonka avulla voidaan arvioida erilaisista kulutusvalinnoista ja teoista aiheutuvat kasvihuonepäästöt (6). Ilmastomuutos lisää kasvihuonekaasujen päästöjä ilmakehään, erityisesti hiilidioksidista (CO_2). Ilmakehään vapautuu myös muita merkittäviä kasvihuonekaasuja, kuten vesihöyryä (H_2O), metaania (CH_4) ja CFC-yhdisteitä. (6)

3.2 Hiilijalanjäljen laskenta

Kasvihuonekaasun vaikutus ilmastoon voidaan muuttaa hiilidioksidiekvivalen-
tiksi, joka lasketaan kertomalla kyseisen kasvihuonekaasun massa sen ilmaston
lämmityspotentiaalilla (GWP = Global Warming Potential) (6). Hiilidioksidin vai-
kutuksen ilmaston lämmittämiseen on suurin kasvihuonekaasuista, ja sen ilmaston
lämmityspotentiaali on yksi. Muiden kasvihuonekaasujen lämmityspotentiaalia
verrataan hiilidioksidin. Kaasujen lämmityspotentiaalikerrotimeen vaikuttaa nii-
den elinikä ilmakehässä. Hiilidioksidin elinikä on 5–200 vuotta, kun taas osa
muista kasvihuonekaasuista voi säilyä ilmakehässä jopa tuhansia vuosia. Kas-
vihuonekaasut vähentävät avaruuteen poistuvaa lämpösäteilyä, mikä aiheuttaa
lämmittävän, eli positiivisen, säteilypakotteen maapallolle. Säteilypakotetta mita-
taan säteilytehona pinta-alaa kohden (W/m^2). (6) (Kuvat 1 ja 2.)



Kuva 1. Tärkeimmät ihmiskunnan ilmastolle tähän mennessä aiheuttamat häiriöt säteilypakotteen avulla ilmaistuina (6).

3.3 Uudisrakentamisen hiilijalanjälki

Uudisrakentamisessa on otettava huomioon uuden rakennuksen tulevat päästöt. Suomessa rakentamisesta ja rakennusten käytöstä muodostuu 38 % Suomen hiilidioksidipäästöistä (3).

Maapallon maa-alasta on noin 1 % rakennuksien peitossa. Raaka-ainesta kulutetaan yli puolet rakentamiseen, joka koettelee maapallon kantokykyä monella eri tapaa. Kokonaisenergian kulutuksen osalta arviolta 40 % ja hiilidioksidipäästöistä noin kolmannes liittyy rakennuksiin. (1.)

Vuosittain uusien rakennusten päästöistä muodostuu noin kolmen miljoonan tonnin päästöt. Arvio perustuu eri tutkimuksista koottuihin tietoihin erityyppisten rakennusten rakentamisesta aiheutuvista päästöistä. (1.)

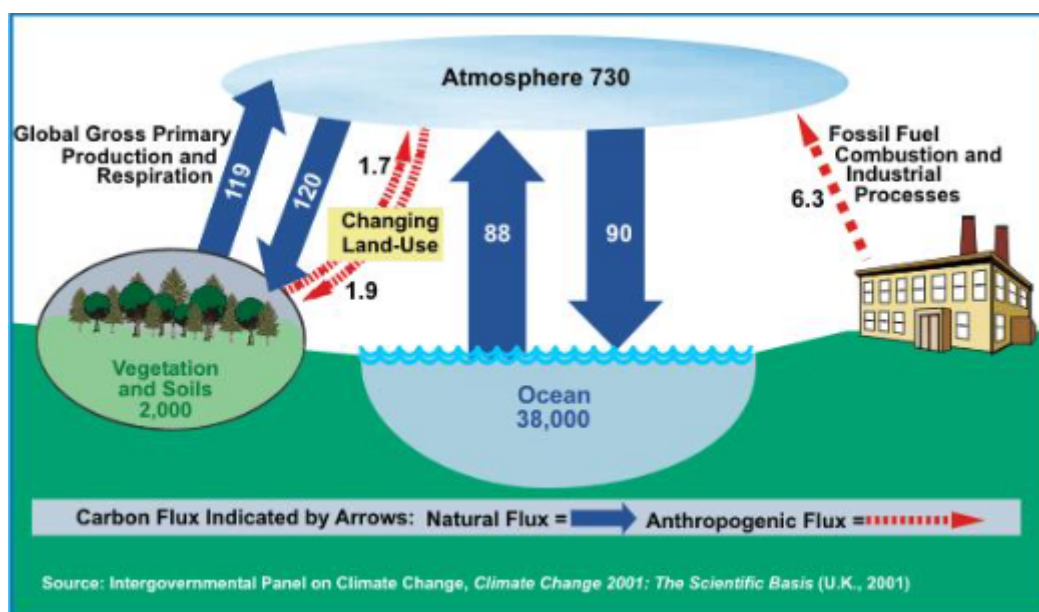
3.4 Hiilikädenjälki

Hiilikädenjäljellä tarkoitetaan tuotteen prosessin tai palvelun ilmastohyötyä. Tuotteen, toiminnon tai palvelun ilmastohyödyistä muodostuva päästövähennyspotentiaali käyttäjälle. Hiilikädenjälkeä voi luoda yritys, yhdistys tai yksittäinen ihminen. Esimerkiksi jos yritys tuottaa hiilikädenjälkeä asiakkailleen, voivat nämä käyttämällä tuotetta alentaa omaa hiilijalanjälkeään. Hiilikädenjälki tuottaa myönteistä päästövaikutusta tulevaisuuteen ja hiilijalanjälki tuottaa kielteistä päästövaikutusta (7).

Hiilikädenjäljen avulla voidaan viestiä tuotteen tai palvelun ilmastovaikutuksia käyttäjälle ja ohjata käyttäjää kohti kestävämpää ja kilpailukykyisempää yritystoimintaa. Esimerkiksi mobiilisovellus voi olla tuote, jolla vähennetään lounashävikkiä, energiatehokas hissi, jolla saadaan koko kiinteistön hiilijalanjälkeä lasketua, tai aurinkopaneeli, josta ylijäämäenergia siirretään sähköverkkoon. Moni suomalainen yritys ottaa toiminnassaan huomioon ympäristö- ja ilmastoasiat, vaikka ympäristöhyötyjä ei ole aina helppoa todentaa, tai esittää asiakkaalle. (7)

3.5 Hiilinielut

Metsät ja meret ovat suurimpia hiilinieluja (kuva 2). Niiden on arvioitu varastoitavan noin neljänneksen maailman hiilidioksidipäästöistä. Ihmiset voivat toiminnallaan vaikuttaa hiilinielujen (metsän) säilymiseen. Esimerkiksi istuttamalla metsää voidaan kasvattaa hiilinieluja ja vastaavasti metsää hakattaessa hiilidioksidia vapautuu enemmän ilmakehään. Metsää kaatamalla hiilivarasto pienenee, ja metsä muuttuu hiilenlähteeksi. (8)



Kuva 2. Arvioitu vuosittainen hiilen kierto ja hiilivarasto (miljardia tonnia hiiltä) 1980-luvulla maailmanlaajuisesti (8).

Helsingin kaupunkialueen viheralueisiin on vuonna 2014 tehdyn tutkimuksen mukaan sitoutuneena 1 250 kt hiiltä, mikä vastaa hiilidioksidiksi muutettuna kaupunkialueella noin 1–5 vuoden aikana syntyvä kasvihuonepäästöjä (noin 4 600 kt CO₂e). Hiilivaraston koko kasvoi tutkimuksen aikana 35 kt vuodessa, mikä osoitti, että kaupungin kasvillisuus ja maaperä toimivat tällä hetkellä tehokkaana hiilinieluna. Kaupunkiluonnon hiilivaraston säästymiseen ja laajentumiseen voidaan vaikuttaa maankäytön suunnittelulla ja viheralueiden hoidolla. (9)

4 Vähähiilinen rakennuskanta

4.1 Rakennuksen elinkaari

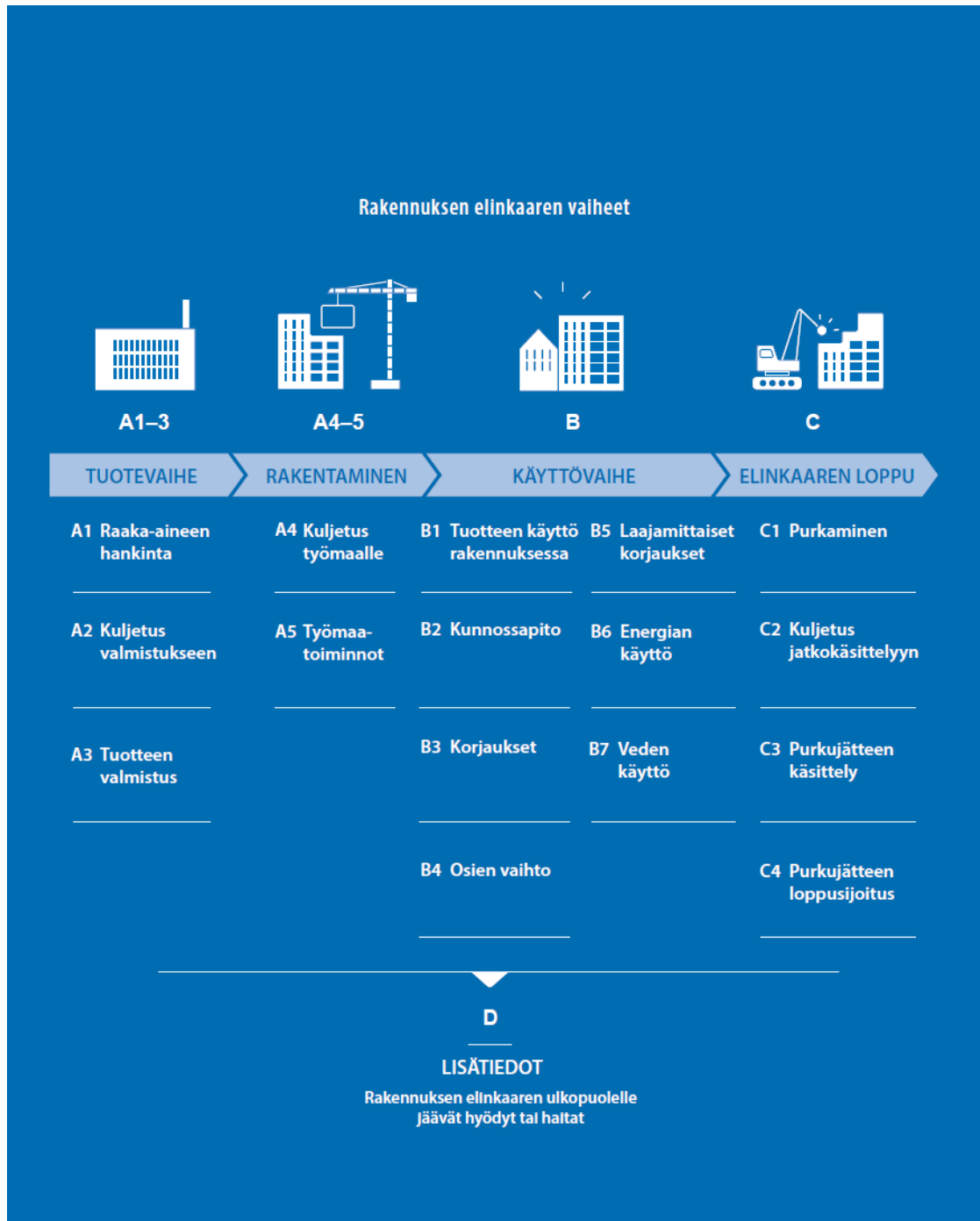
Rakentaminen on yksi osa rakennuksen elinkaarta. Rakennuksen elinkaariin kuuluu maankäytön ja rakentamisen suunnittelun lisäksi muita vaiheita, materiaalien hankinnasta, rakennustuotteiden valmistamisesta raaka-aineista, kuljetuksista, siirroista, rakentamisesta, rakennuksen käyttämisestä, ylläpitämisestä ja korjauksista. Rakennuksen elinkaari loppuu rakennuksen purkamiseen ja jätteen uudelleen sijoitukseen. (10)

Rakennuksen elinkaaren kesto riippuu monista tekijöistä, kuten käytetyistä rakennusmateriaaleista ja rakennuksen käytöstä. Usein tavoitteena on rakennuksen elinkaaren pituus, joka voi olla esimerkiksi 50 vuotta tai pidempi. Tilauksen tekijä määrittelee yleensä rakennuksen käyttöiän, joka vaikuttaa suunnitteluun ja materiaalivalintoihin. (10)

Suunnitteluvaiheessa tehdään rakennuksen elinkaaren osalta merkittävimmät päätökset. Suunnittelun ja rakentamisen aikana tehdyistä päätöksistä ei aina ole mahdollista luopua rakennuksen käytön aikana, tai muutosten tekeminen voi olla erittäin kallista. (10.)

Eurooppalaiset ja kansainväliset standardit ohjaavat rakennuksen elinkaaren päästöjen arviointia. Kansainvälisen standardin SFS-EN ISO 14040 avulla suoritetaan elinkaariarviointia. Standardi sisältää periaatteellisia kuvauksia elinkaariarvioinnista, mukaan lukien tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, vaiheet ja rajaukset. Standardia sovelletaan useilla toimialoilla, mukaan lukien rakennusala. Lisäksi on olemassa toimialakohtaisia standardeja, jotka tarkentavat standardoitua elinkaariarviointia ISO 14040 -sarjassa rakennusalan tarpeisiin. (11)

Rakennuksen hiilijalanjäljen muodostumista eri elinkaaren vaiheissa on helpompi ymmärtää, kun ne jaetaan eri vaiheisiin. Kuvassa 3 esitetyt vaiheet perustuvat standardien mukaisiin jaotteluihin. Rakennuksen elinkaari koostuu tuote- ja rakentamisvaiheesta (A1–5), käyttövaiheesta (B1–7) ja purkuvaiheesta (C1–4). Tuotevaiheessa raaka-aineet hankitaan, kuljetetaan ja valmistetaan tuotteeksi. Rakentamisvaiheessa kuljetetaan tuote työmaalle ja tehdään työmaatoiminnot. Käyttövaiheeseen kuuluvat tuotteen, energian ja veden käyttö, kunnossapito, korjaukset ja osien vaihto. Purkuvaiheessa puretaan rakennus, käsitellään purkujäte ja sijoitetaan se loppusijoituspaikkaan. Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset muodostavat vaiheen D. (12)



Kuva 3. Rakennuksen elinkaaren vaiheet (12)

4.2 Ympäristöluokitukset

Ympäristöluokitusjärjestelmä on luotu työkaluksi kiinteistöjen ympäristötehokkuuden mittaamiseen, todentamiseen ja vertailukelpoisuuden mahdollistamiseen. Kiinteistöjen luokitusjärjestelmät edistävät kehitykseen suuntautunutta ajattelua koko hankkeen ajan. Ympäristöluokitus sisältää olennaisena osana ulkoisen arvioinnin, joka varmistaa rakennuksen suunnittelun, rakentamisen ja toiminnan asianmukaisen toteutuksen. (13)

Ympäristöluokitusjärjestelmä mahdollistaa rakennukselle kriteereihin perustuvan pisteytyksen ja sen jälkeen arvosanan määrittämisen. Lisäksi ympäristöluokitusjärjestelmä toimii johtamisen työkaluna tuotantovaiheessa ja edistää rakentamistavoitteiden asettamista, seuranta ja dokumentointia. Päästölaskennan kannalta on tärkeää, että käytettävissä on Suomen olosuhteisiin sopivia materiaaleja, joiden päästötiedot ovat vertailukelpoisia. Suomessa yleisimmin käytettyjä ympäristöluokitus- ja arviointijärjestelmiä ovat

- LEED on yhdysvaltalainen maailman käytetyin globaali rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmä.
- BREEAM on Euroopan johtava rakentamisen ympäristöluokitusjärjestelmä.
- Joutsenmerkki on Pohjoismaissa tiedetyin ja kunnioitettu ympäristömerkki, jonka kriteerit ovat yhtenevät kaikissa Pohjoismaissa. Se soveltuu erityisesti Pohjoismaiden olosuhteisiin.
- RTS-ympäristöluokitus on Suomen olosuhteisiin kehitetty ympäristöluokitusjärjestelmä, jossa huomioidaan suomalaiset olosuhteet kuten lainsäädäntö ja kiinteistökannan monipuolisuus. (14)

5 LVI-järjestelmät ja laskenta

5.1 LVI-järjestelmät

Taloteknisillä järjestelmillä tarkoitetaan kiinteistöön liittyvien teknisten järjestelmien ja laitteista muodostuvaa kokonaisuutta. Huonetilan lämmitysjärjestelmä voi olla esimerkiksi vesikiertoinen lattialämmitys- ja patterilämmitys. Käyttövesijärjestelmä voi sisältää esimerkiksi seinän sisällä toteutetun ratkaisun PEX-putkella ja täysin kuparilla toteutetun pinta-asennusratkaisun. Molemmissa ratkaisuissa runkoputket ovat kuparia. Ilmanvaihtojärjestelmässä voi olla esimerkiksi asuntokohtainen ilmanvaihtojärjestelmä, jossa jokaisessa asunnossa on oma ilmanvaihtokone. Ilmanvaihdon voi myös toteuttaa kerroskohtaisella tai keskitetyllä ilmanvaihtojärjestelmällä, jossa ilmanvaihtokone sijaitsee joko kerroksissa tai konehuoneessa katolla.

LVI-tekniset järjestelmät ovat olennainen osa talotekniikkaa, jonka avulla hallitaan lämmitystä, jäähdytystä, ilmanvaihtoa sekä vesi- ja viemärihuoltoa. Tavoitteena on luoda rakennuksiin terveelliset sisäolosuhteet ja tarjota käyttäjille puhdasta vettä vesikalusteista, kun taas viemärikalusteet huolehtivat jäteveden asianmukaisesta poistamisesta rakennuksesta. On tärkeää, että järjestelmät toimivat energiatehokkaasti ja ympäristöystävällisesti. (18)

Hyvä sisäilman laatu on tärkeä terveydelle, ja ilmanvaihdolla on keskeinen merkitys sen saavuttamisessa. Veden käyttövarmuus ja turvallisuus ovat myös tärkeitä tekijöitä, jotta voidaan varmistaa, ettei veden käytöstä aiheudu terveysriskejä. Kiinteistöjen viemärihuoltoon kuuluu jätevesiviemäroinnin lisäksi myös sade- ja perustusvesien poistaminen kiinteistön alueelta, mikä on tärkeää rakennuksen terveellisyyden ja turvallisuuden kannalta. (18)

5.2 LVI-suunnittelu peruskerrosvaiheessa

Alustavia teknisiä suunnitelmia laadittaessa suunnitellaan ennalta määritetty peruskerros, joka toistuu useissa kerroksissa asuinkerrostalossa. Peruskerroksen suunnitelmien yhteensovittaminen on äärimmäisen tärkeää LVI-suunnittelun taloudellisen kannattavuuden kannalta. Jos peruskerroksessa on virheitä, ne kopioidaan kaikkiin muihin kerroksiin, jolloin myöhemmin joudutaan korjaamaan monta kerrosta yhden sijasta. (19)

Kun suunnitellaan peruskerrosta, on mahdollista tehdä vielä muutoksia suunnitteluratkaisuihin ja etsiä parhaita mahdollisia vaihtoehtoja. Peruskerroksen suunnitteluratkaisut vaikuttavat myöhemmin koko rakennuksen suunnitteluratkaisuihin, joten kaikkien suunnittelualojen ja tilaajan kanssa tulee sopia ja yhteensovittaa kaikki ratkaisut. Näitä yhteen sovitettavia asioita ovat esimerkiksi läpiviennit, alakatot ja koteloinnit, LVI-järjestelmä, sähkön- ja mahdollisesti sprinklerijärjestelmä sekä ulkoilmansäleiköiden sijainnit. Peruskerroksen ratkaisut on hyväksyttävä tilaajan puolelta, ja niiden tulee olla toimivia kaikilta osin ennen kuin suunnittelua voidaan jatkaa. (19)

Peruskerroksen suunnitteluvaiheessa voidaan havaita tarvetta tehdä pieniä muutoksia esimerkiksi hormijärjestelyihin tai kanavaristeilyihin, jotka voivat vaikuttaa huoneistojen suunnitteluun. Lisäksi mahdolliset puutteet, kuten unohtunut keittiön viemärointi, voidaan huomata ja korjata peruskerroksen suunnittelun yhteydessä. (19)

5.3 Laskentatyökalut

Tämän projektin hiilijalanjälkilaskennassa hyödynnettiin One Click LCA -laskentaohjelmaa. One Click LCA on selainpohjainen pilvipalvelu ympäristö- ja elinkaariarvioinnin tarpeisiin, joka on kolmannen osapuolen verifioima standardin EN15978 vaatimusten mukaisesti. (16)

Työvälineen materiaalitietokannan ympäristövaikutustiedot perustuvat EN-15804-standardin mukaisiin ympäristöselosteisiin. Ohjelmistossa on käytössä viisikymmentä erillistä vertailukelpoista materiaalitietokantaa, joiden ympäristöselosteet päivittyvät automaattisesti. Kolmannen osapuolen hyväksymä ajan tasainen ympäristöselosteluettelo on saatavilla. (16)

Projektin perustiedot ja arviointimenetelmä määritellään ensin laskennassa, ja arviointimenetelmiä on useita. Niille voidaan asettaa etukäteen raja-arvoja, esimerkiksi LEED- tai BREEM-sertifikaatin yhteydessä. Tässä työssä käytettiin pääasiassa ympäristöministeriön arviointimenetelmää. Materiaalitiedot voidaan tuoda laskentaohjelmaan yleisimmistä mallinnusohjelmistoista, taulukkotiedoista tai syöttämällä ne manuaalisesti. Tärkeää on tarkistaa ja täydentää materiaalitiedot lisäyksien jälkeen, koska varsinkin tietomallista syötetyt tiedot saattavat olla puutteellisia. (16)

Laskennassa määritellään rakennusmateriaalien käyttöikä, jotta ohjelma voi ottaa huomioon päästöt, jotka aiheutuvat osien vaihdossa laskennassa. Lisäksi laskennassa huomioidaan rakennusvaiheessa syntyvän hukkamateriaalin osuus prosentteina. Materiaalien kuljetuksissa voidaan käyttää laskennassa oletusarvoja tai projektikohtaisia tietoja, jos ne ovat saatavilla. (16)

5.4 Laskennan kohde

Laskennassa kohteena on liitteessä 1 esitetty asuinkerrostalon kolmas kerros, jossa on yhdeksän asuntoa. Kolmannen kerroksen pohjakuva toimii kohteen peruserroksena. Kohde on rakenteeltaan ja talotekniikaltaan ajateltuna suhteellisen tavanomainen, hormi- ja kuiluratkaisuineen. Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän vertailussa ilmanvaihtokone sijaitsee ullakkokerroksessa, joka on pinta-alaltaan 170 m². Kolmannen kerroksen pinta-ala on 553 m². Lämmitetty netto-pinta-ala on 424,5 m². (Liite 1)

Lämmönjakomenetelmissä verrataan vesikiertoista radiaattorilämmitystä ja lattialämmitystä. Käyttövesijärjestelmissä vertaillaan pinta-asennuksen (kupari) ja rakenteiden sisälle asennettavaa putkea (PEX). Käyttövesijärjestelmien vertailu tehdään samoilla kalusteilla ja ilmanvaihtojärjestelmien vertailu tehdään samoilla päätelaitteilla. Rakennuksen ilmanvaihto on keskitetyn ja asuntokohtaisen ilmanvaihtojärjestelmien vertailussa lämmöntalteenotolla varustettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä.

5.5 Laskenta

Laskenta toteutettiin käyttäen One Click LCA -ohjelmistoa, joka on yleisesti käytetty elinkaarilaskennan työkalu. Arviointijakson pituutena käytettiin 50:tä vuotta, joka on yleisesti hyväksytty ajanjakso, joka kattaa useimpien rakennusten suunnittelun elinkaaren. Laskenta on rajattu asuinrakennuksen kolmanteen kerrokseen, eli peruserrokseen. Laskennassa ei ole otettu muita kerroksia huomioon.

6 LVI-järjestelmäkohtainen hiilijalanjäljen jakautuminen

Tässä luvussa on esitetty LVI- järjestelmien tuotevaiheen A1–3 hiilijalanjäljen jakautuminen. Laskentaohjelmaan valittiin käytettävät parametrit, esimerkiksi laskentaanko päästöt metriä kohden vai painoa kohden.

Lämmitysjärjestelmä laskenta:

- Radiaattorilämmityksessä laskennassa käytettiin ohjelman asuinpinta- alakohtaista päästöjä, jotka ovat 7,1 kg CO_{2e} neliometriä kohden (liite 3)
- Lattialämmityksessä laskennassa käytettiin ohjelman asuinpinta-alakohtaisia päästöjä, jotka ovat 5,7 kg CO_{2e} neliometriä kohden (liite 3)

Käyttövesijärjestelmän laskenta:

- Pinta-asennuksessa kuparilla käytettiin ohjelman asuinpinta-alakohtaisia päästöjä, jotka ovat 1,5 kg CO_{2e} neliometriä kohden (liite 3)
- Seinän sisään asennetulla PEX muoviputkella käytettiin ohjelman asuinpinta-alakohtaisia päästöjä, jotka ovat 0,92 kg CO_{2e} neliometriä kohden (liite 3)

Ilmanvaihtojärjestelmän laskenta:

- Asuntokohtaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä käytettiin LTO-ilmanvaihtokonetta, jonka maksimi ilmavirta on 100 dm³/s ja jonka päästöt ovat 390 kg CO_{2e} (liite 3)
- Keskitetyssä ilmanvaihtojärjestelmässä käytettiin LTO-ilmanvaihtokonetta, jonka maksimi-ilmavirta on 1000 m³ ja jonka päästöt ovat 750 kg CO_{2e} (liite 3)

- 100 mm: kanavan päästöt ovat 11 kg CO_{2e} metriä kohden (liite 3)
- 125 mm: kanavan päästöt ovat 12 kg CO_{2e} metriä kohden (liite 3)
- 160 mm: kanavan päästöt ovat 16 kg CO_{2e} metriä kohden (liite 3)

Asuntokohtaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä on laskettu ilmanvaihtokanavan tuottama hiilidioksidipäästö kanavametriä kohden. Ilmanvaihdossa käytetyt osat ovat:

- LTO-ilmanvaihtokoneita 9 kappaletta (liite 2)
- 100 mm: ilmanvaihtokanavaa 6,6 m (liite 2)
- 125 mm: ilmanvaihtokanavaa 290,4 m (liite 2)
- 160 mm: ilmanvaihtokanavaa 290,4 m (liite 2)

Keskitetyssä ilmanvaihtojärjestelmässä on laskettu ilmanvaihto kanavan tuottama hiilidioksidipäästö kanavametriä kohden. ilmanvaihdossa käytetyt osat ovat:

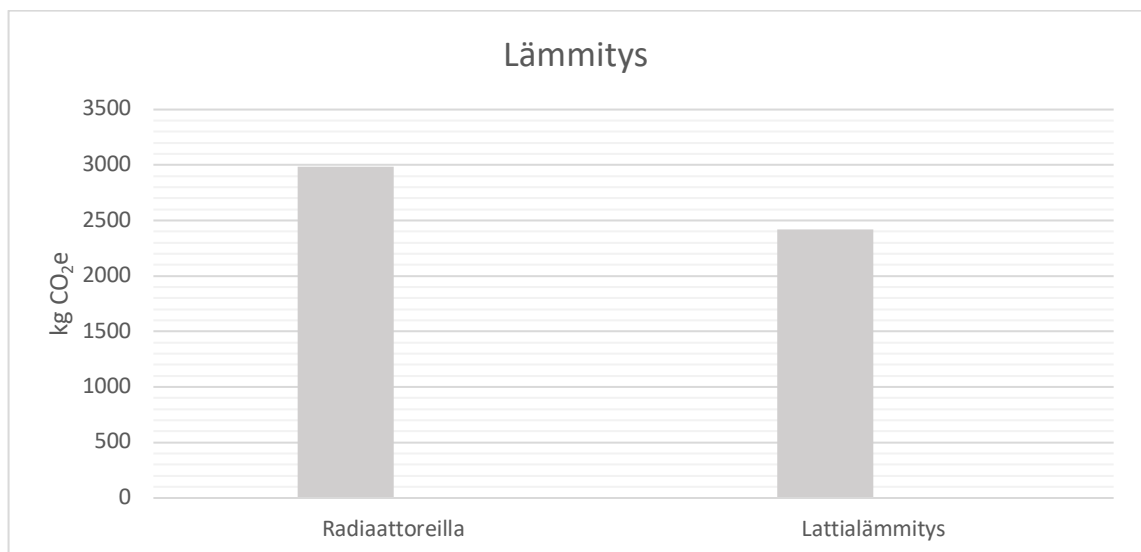
- ilmanvaihtokonepaketti, koneen ilmavirta 1 000 m³ (liite 3)
- 100 mm: ilmanvaihtokanavaa 11,3 m (liite 2)
- 125 mm: ilmanvaihtokanavaa 147,6 m (liite 2)

6.1 Lämmitys

Lämmitysjärjestelmien laskennassa jätettiin pois venttiilit, eristykset ja termos-
taatit.

Radiaattoreiden laskelmat tehtiin laskemalla radiaattoreiden aiheuttamat tuotesidonnaiset hiilidioksidipäästöt ja sen jälkeen lisättiin laskelmiin putkinousuista ja kytkentäputkista aiheutuva tuotesidonnaiset hiilidioksidipäästöt. Lattialämmitysjärjestelmässä ratkaisussa tuotesidonnaiset hiilidioksidipäästöt on laskettu lämmitettävää asuineliötä kohden.

Radiaattorijärjestelmän tuotesidonnainen hiilijalanjälki oli hieman, eli noin 24 % suurempi kuin lattialämmitysratkaisussa (kuva 4). Radiaattorijärjestelmällä toteutetun ratkaisun tuotesidonnainen hiilijalanjälki on 2 990 kg CO_{2e}, kun taas lattialämmitysratkaisussa hiilijalanjälki on 2 420 kg CO_{2e}.



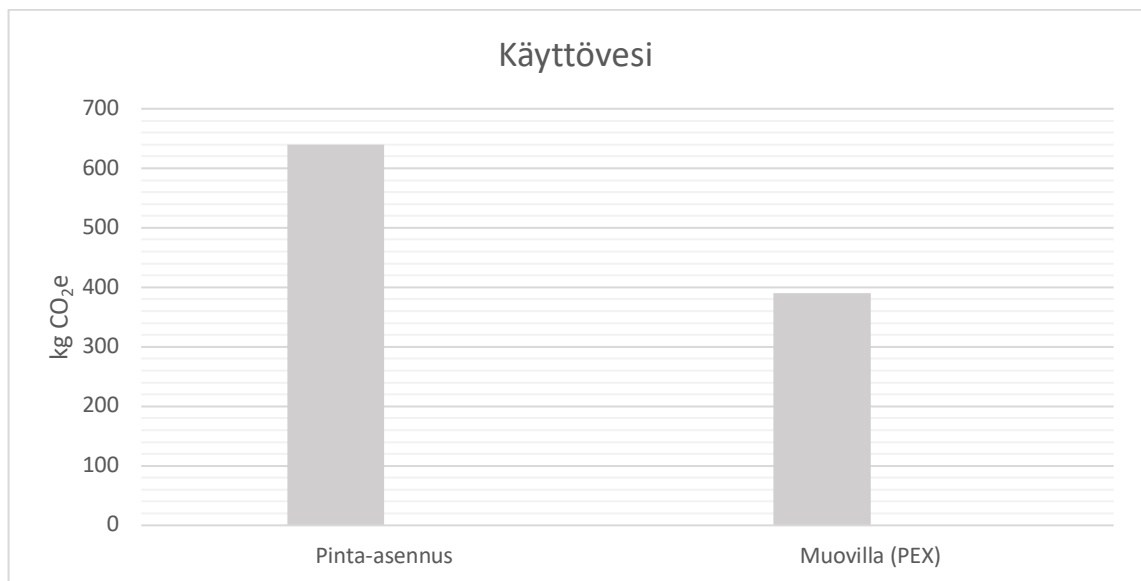
Kuva 4. One Click LCA -ohjelmalla laskettu lämmityksen hiilijalanjäljen jakautuminen vaiheessa A1–3.

6.2 Käyttövesi

Käyttövesijärjestelmien laskennassa jätettiin pois kalusteet, putkistojen eristykset, hanakulma rasiat ja liittimet.

Käyttöveden vertailussa käytettiin pinta-asennuksen suunnitelmassa kromia ja seinän ja katon sisään jäävään osaan kuparia. Kromatun kuparin hiilidioksidipäästö vastaa samaa kuin ei-kromatun kuparin. Laskelmissa, jossa putket jäivät täysin seinän sisään, käytettiin suunnitelmassa PEX-muoviputkea ja hanakulmarasioita.

Pinta-asennuksella toteutetun asennuksen tuotesidonnainen hiilijalanjälki oli huomattavasti, noin 64 % suurempi kuin muovilla (PEX) toteutetussa ratkaisussa (kuva 5). Pinta-asennuksen kromatulla kuparilla toteutetun ratkaisun tuotesidonnainen hiilijalanjälki on 640 kg CO_{2e}, kun seinän sisässä muovilla (PEX) ratkaisussa hiilijalanjälki on taas 390 kg CO_{2e}



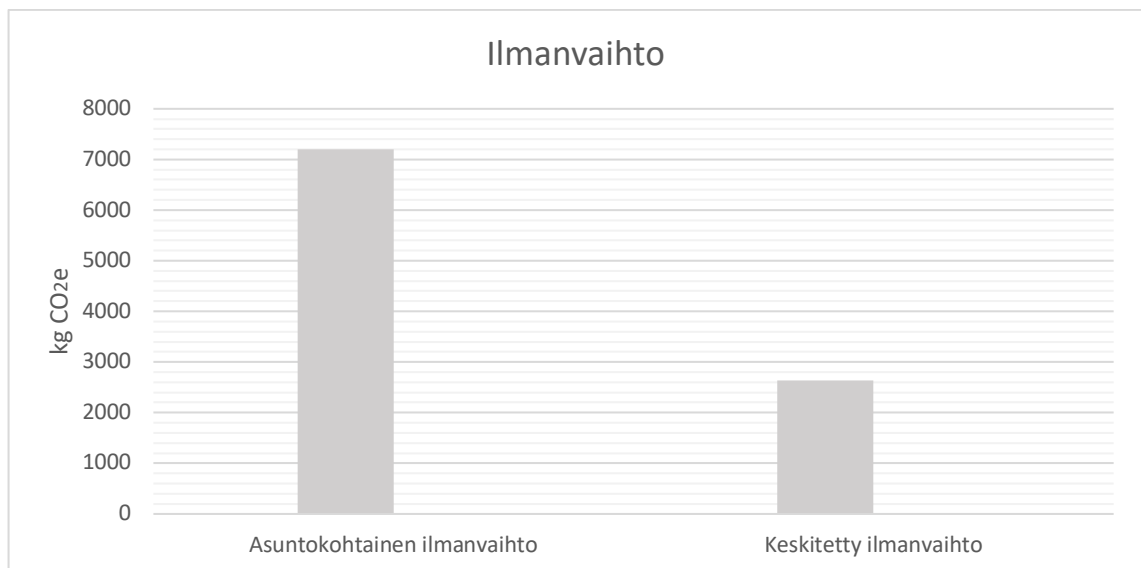
Kuva 5. One Click LCA -ohjelmalla laskettu käyttöveden hiilijalanjäljen jakautuminen vaiheessa A1–3.

6.3 Ilmanvaihto

Ilmanvaihtojärjestelmien laskennassa jätettiin pois ilmanvaihdon päätelaitteet, pellit, äänenvaimentimet ja eristykset.

Asuntokohtaisen ilmanvaihtojärjestelmän laskelmat tehtiin laskemalla ilmanvaihtokoneiden tuotesidonnaiset hiilidioksidipäästöt ja sen jälkeen lisäämällä laskelmiin kanaviston aiheuttama tuotesidonnaiset hiilidioksidipäästöt. Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän ratkaisussa laskettiin kanaviston aiheuttama tuotesidonnaiset hiilidioksidipäästöt ja lisättiin konehuoneen tuomat tuotesidonnaiset hiilidioksidipäästöt laskelmaan.

Asuntokohtaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä tuotesidonnainen hiilijalanjälki oli noin 174 % suurempi kuin keskitetyssä ilmanvaihtojärjestelmässä (kuva 6). Asuntokohtaisilla koneilla toteutettu ilmanvaihdon tuotesidonnainen hiilijalanjälki on 7 200 kg CO_{2e}, kun taas keskitetyssä ratkaisussa tuotesidonnainen hiilijalanjälki on 2 630 kg CO_{2e}.



Kuva 6. One Click LCA -ohjelmalla lasketut ilmanvaihdon hiilijalanjäljen jakautuminen vaiheissa A1–3.

7 LVI-järjestelmien tuotesidonnaiset päästöt

LVI-järjestelmien tuotesidonnaiset päästöt ovat haastavia arvioida, sillä lähtötietoja ei ole saatavilla yksityiskohtaisesti eri laitteiden osille. Haasteita lisäävät myös komponenttien monimutkaisuus ja valmistus usean eri valmistajan toimesta. Tämä on johtanut siihen, että päästöjen arviointi on joko rajattu arviointien ulkopuolelle tai käytetty neliöpohjaisia arvoja. Tämä voi kuitenkin heikentää laskennan totuudenmukaisuutta merkittävästi, sillä laitteiden valmistus käyttää hiili-intensiivisiä metalleja, ja laitteet voidaan uusia useaan kertaan rakennuksen elinkaaren aikana. Lisäksi neliöpohjaiset arvot eivät aina huomioi rakennuskohdaisia järjestelmäratkaisuja, kuten kohteen omaa energiantuotantoa. (22)

7.1 Lämmityksen vertailu

Laskentaohjelmassa tehdyissä laskelmissa havaittiin, että radiaattorit tuottivat suurimmat hiilidioksidipäästöt valmistusvaiheessa verrattuna lattialämmitykseen. Laskelmien mukaan radiaattoreiden hiilidioksidipäästöt olivat noin 24 % suuremmat kuin lattialämmityksen. Tämä ero on pienempi verrattuna Valle Raatikaisen diplomityössä saatuun tulokseen, jossa lattialämmityksen todettiin olevan noin 70 % vähähiilisempi vaihtoehto kuin radiaattorilämmitys päiväkotikohteessa. (13)

Huomattava ero näiden kahden työn välillä johtuu mahdollisesti erilaisista tekijöistä, jotka vaikuttavat laskelmiin. Diplomityössä oli käytetty pääasiassa Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) tietokannan päästökertoimia, ja tässä työssä päästökertoimet on otettu One CLick LCA -ohjelmasta. Raatikaisen työssä on myös huomioitu muitakin tekijöitä kuin valmistusvaiheen hiilidioksidipäästöt, kuten energiankulutuksen aiheuttamat päästöt käytön aikana.

Radiaattoreiden hiilidioksidipäästöt ovat noin 2 990 kg CO_{2e} ja lattialämmityksen hiilidioksidipäästöt ovat noin 2 420 kg CO_{2e}. Tämä ero on noin 24 %, ja se on merkittävä näkökohta, kun mietitään kestävästä rakentamisesta ja ympäristöystävällisyyttä. Onkin tärkeää tutkia erilaisia lämmitysvaihtoehtoja ja valita kestävämpi ja ympäristöystävällisempi vaihtoehto.

7.2 Käyttöveden vertailu

Laskentaohjelmassa havaittiin, että pinta-asennettu kromattu kupari tuottaa merkittävästi enemmän hiilidioksidipäästöjä valmistusvaiheessa kuin muovinen putki. Tarkemmin sanottuna kromattu kuparipinta tuotti noin 64 % enemmän hiilidioksidipäästöjä verrattuna muoviputkeen.

Lisäksi toteutustavalla oli merkittävä vaikutus hiilidioksidipäästöjen määrään. Pinta-asennustoteutustavassa hiilidioksidipäästöt olivat noin 640 kg CO_{2e}, kun taas toteutustavassa, jossa käytettiin muoviputkea seinän sisällä, hiilidioksidipäästöt olivat vain noin 340 kg CO_{2e}. Tämä ero on huomattava ja korostaa eri toteutustapojen vaikutusta hiilijalanjälkeen.

Raatikaisen diplomityössä vertailtiin kupariputkistojärjestelmiä ja muovi (PEX) -järjestelmiä keskenään. Kupariputkistojärjestelmät ovat perinteisempi ja yleisempi ratkaisu, kun taas muovi (PEX) -järjestelmiä käytetään yleisesti uusissa rakennuksissa. (13)

Raatikainen vertaili näiden järjestelmien hiilijalanjälkeä, ja tulokset osoittivat, että kupariputkistojärjestelmä tuotti vähemmän päästöjä verrattuna muovi (PEX) -järjestelmään. Esimerkiksi vesijohtoverkoston muovi (PEX) -ratkaisu tuotti päästöjä 1,51 kg CO_{2e}/kg, kun taas kuparijärjestelmä tuotti päästöjä 1,40 kg CO_{2e}/kg.

Tämä ero johtuu Raatikaisen työssä käyttämästä vertailutaulukosta, joka perustuu SYKE-tietokantaan. SYKE-tietokanta sisältää tietoa eri materiaalien ja prosessien ympäristövaikutuksista, kuten hiilijalanjäljestä. Kupariputkistojärjestelmän valmistus vaatii enemmän energiaa ja materiaaleja verrattuna muovi (PEX) -järjestelmään, mutta sen elinkaarenaikaiset päästöt ovat pienemmät. Muovi (PEX) -järjestelmän valmistus puolestaan vaatii vähemmän energiaa ja materiaaleja, mutta sen elinkaarenaikaiset päästöt ovat suuremmat.

7.3 Ilmanvaihdon vertailu

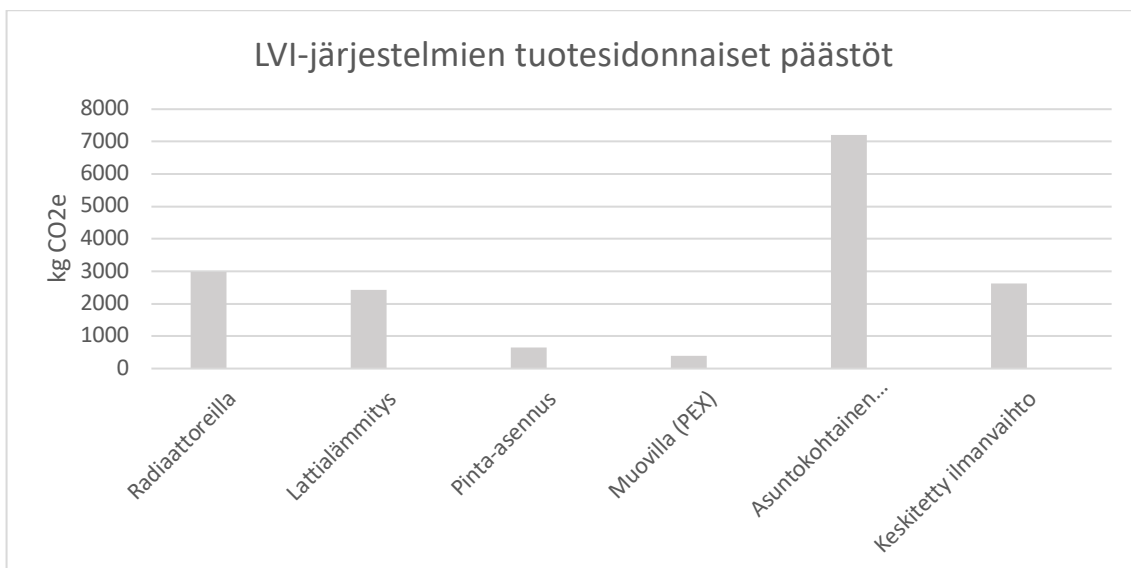
Laskentaohjelmassa asuntokohtaiset ilmanvaihtokoneet tuottavat noin 174 % enemmän hiilidioksidipäästöjä kuin keskitetty ilmanvaihto.

Vertailussa huomataan, että asuntokohtaisilla ilmanvaihtokoneilla toteutustapa tuotti enemmän hiilidioksidipäästöjä 7 200 kg CO_{2e}, kun toteutustavassa, jossa käytettiin keskitettyä ilmanvaihtoa konehuonepaketilla, tuotti hiilidioksidipäästöjä 2 630 kg CO_{2e}.

Laskentaohjelman analyysi osoitti, että yksittäiset ilmanvaihtokoneet tuottivat suurimmat päästöt. Tällöin ilmanvaihtokoneiden yhteispäästöt voivat olla merkittävät. Toisaalta keskitetty ilmanvaihtoratkaisu käyttää vain yhtä ilmanvaihtokonetta, joka palvelee useampaa huonetta tai kerrosta. Tämä vähentää merkittävästi ilmanvaihtokoneiden yhteispäästöjen määrää.

On huomattava, että ilmanvaihtoratkaisun valintaan vaikuttavat moninaiset tekijät, kuten rakennuksen koko ja käyttötarkoitus, ilmanvaihdon energiatehokkuus ja kustannukset sekä ympäristönäkökulmat. Tämän vuoksi on tärkeää arvioida eri ilmanvaihtoratkaisujen kokonaisvaikutuksia ennen päätöksentekoa.

Valitettavasti vertailututkimuksia eri ilmanvaihtoratkaisujen välillä on saatavilla rajallisesti. Kuvassa 7 on yhteenveto opinnäytetyössä lasketuista LVI-järjestelmien tuotesidonnaisista päästöistä.



Kuva 7. One Click LCA -ohjelmalla laskettu LVI-materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen ((kg CO₂e)

8 Pohdinta

Tämä opinnäytetyö keskittyi erilaisten LVI-järjestelmien tuotesidonnaisten päästöjen laskentaan. Työssä vertailtiin lämmitysjärjestelmissä radiaattori- ja lattialämmitystä, käyttövesijärjestelmissä kupariputkella tehtyä pinta-asennusta ja PEX-putkella seinärakenteeseen tehtyä asennusta sekä ilmanvaihtojärjestelmissä keskitettyä ja asuntokohtaista järjestelmää.

Tuotesidonnaisista päästöistä olivat lämmitysjärjestelmässä lattialämmityksessä radiaattorilämmitystä pienemmät. Käyttövesijärjestelmässä PEX-putken päästöt olivat kupariputkea pienemmät. Ilmanvaihtojärjestelmässä keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän päästöt olivat asuntokohtaista järjestelmää pienemmät.

Lämmitysjärjestelmän valinnassa radiaattoriratkaisu aiheutti suurempia päästöjä verrattuna lattialämmitykseen, joka käytti muoviputkistoa. Käyttöveden kupariputkien suurempi tuotesidonnainen hiilidioksidipäästö johti suurempiin päästöihin, verrattaessa seinän-sisässä muoviputki (PEX) -ratkaisuun. Asuntokohtaisessa ilmanvaihdossa käytettävän materiaalin määrä oli kerroskohtaisesti enemmän kuin keskitetyssä ilmanvaihdossa. Asuntokohtaisessa ilmanvaihdossa myös asuntojen koneet aiheuttivat merkittävän määrän tuotesidonnaisesta hiilijalanjäljestä, noin 33 % enemmän kuin keskitetyn ilmanvaihdon koko tuotesidonnaisesta hiilijalanjäljestä.

Tämän työn tekemishetkellä oli tärkeää löytää tarkkoja hiilidioksidin päästöarvoja eri materiaaleille ja prosesseille. Tämä oli haaste, koska eri lähteissä olevat arvot vaihtelivat ja jopa ristiriitaisten tietojen löytäminen oli mahdollista.

Laskelmien kohdalla huomasin, että jotkin päästöjen arvot, jotka olin hakenut lähteestä, olivat muuttuneet opinnäytetyön tekemisen aikana. Tämä johtui siitä, että tiedot oli siirretty toiseen alustaan tai päivitetty siten, että vanhat tiedot eivät olleet enää käytössä.

Tämä oli ongelmallista, koska tarkkojen päästötietojen löytäminen on tärkeää, jotta voidaan arvioida eri materiaalien ja prosessien vaikutuksia ympäristöön. One Click LCA -ohjelmisto oli hyödyllinen työkalu päästöjen laskentaan. Ohjelmiston tietokanta oli ajantasainen, ja sitä pyrittiin pitämään jatkuvasti ajan tasalla. Tämä mahdollisti tarkkojen päästötietojen löytämisen ja käyttämisen, jolloin laskelmat saatiin tarkemmiksi ja luotettavammiksi.

On tärkeää huomioida, että laskennassa käytettävien päästöjen tarkkuus on avainasemassa arvioitaessa kestävämmän tulevaisuuden rakentamisesta. Siksi on siis tärkeää käyttää ajantasaista tietoa ja luotettavia lähteitä, kun arvioidaan eri materiaalien ja prosessien vaikutuksia ympäristöön. One Click LCA -ohjelmisto on hyvä esimerkki työkalusta, joka auttaa tällaisten tietojen löytämisessä ja käyttämisessä.

Hiilijalanjäljen laskeminen on myös tärkeää ympäristömerkintöjen myöntämisessä, sillä niiden myöntämiseen liittyy tiukat ympäristövaatimukset. Yritykset voivat käyttää hiilijalanjälkilaskentaa parantaakseen tuotteidensa ympäristöystävällisyyttä ja kilpailukykyä markkinoilla.

Hiilijalanjäljen laskeminen perustuu tarkkaan tuotteiden ja palveluiden elinkaar-arviointiin. Tämä sisältää raaka-aineiden hankinnan, valmistusprosessin, kuljetukset, käytön ja loppukäsittelyn. Näiden eri vaiheiden päästöt lasketaan yhteen, jolloin saadaan kokonaiskuva tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksista.

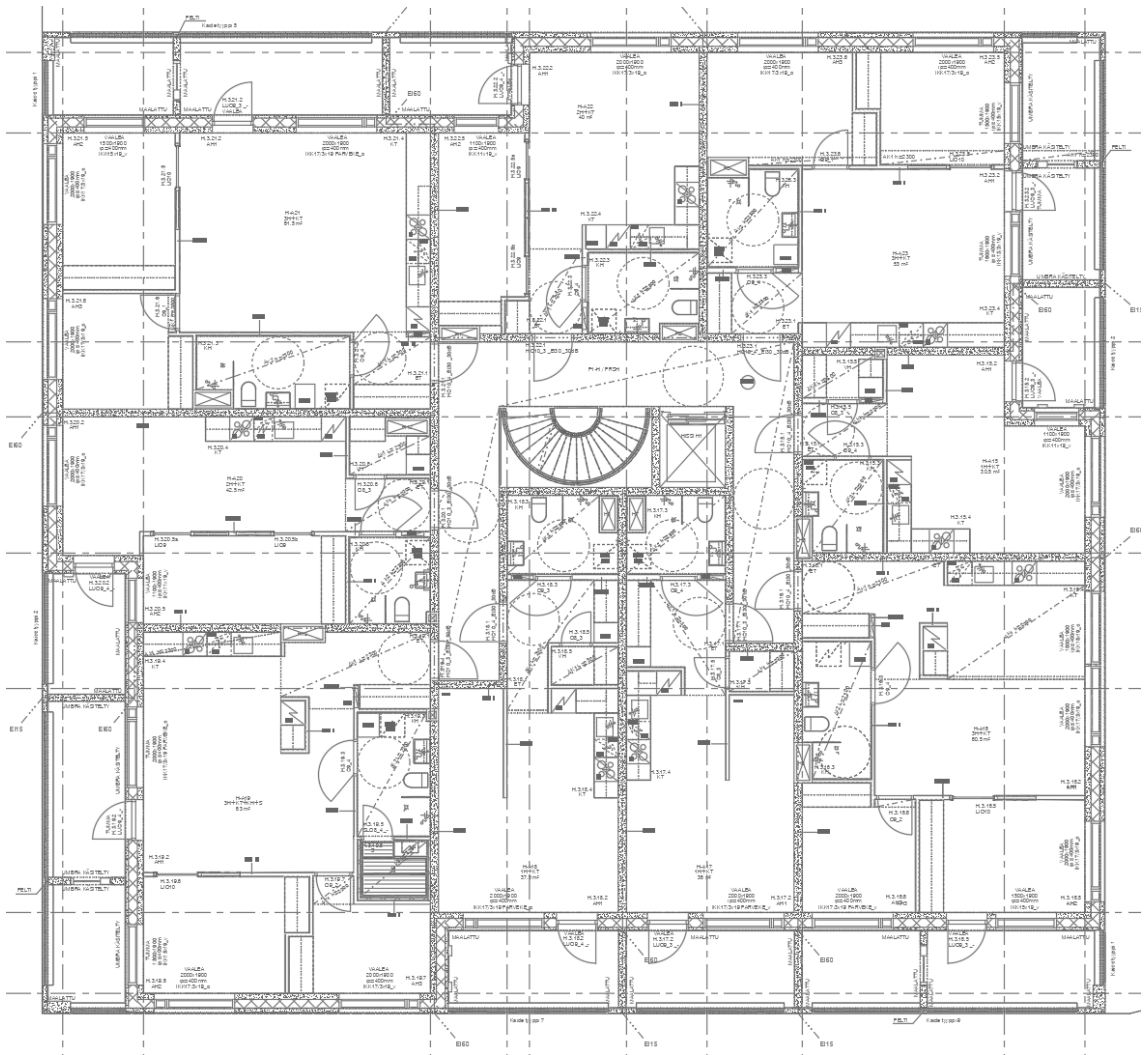
Tuotesidonnaisen hiilijalanjäljen laskeminen on tärkeää kestävän kehityksen tavoitteiden saavuttamisessa. Hiilijalanjäljen laskenta auttaa yrityksiä ja yksilöitä arvioimaan tuotteidensa ympäristövaikutuksia ja mittaamaan päästöjen vähennyspotentiaalia. Kaiken kaikkiaan tuotesidonnaisen hiilijalanjäljen laskeminen on tärkeää ympäristön suojelemisessa ja kestävän kehityksen tavoitteiden saavuttamisen arvioinnissa, sillä se auttaa yrityksiä ja yksilöitä arvioimaan tuotteidensa ja palveluidensa ympäristövaikutuksia, tekemään kestävämpiä valintoja tulevaisuudessa ja vähentämään ympäristökuormitusta.

Lähteet

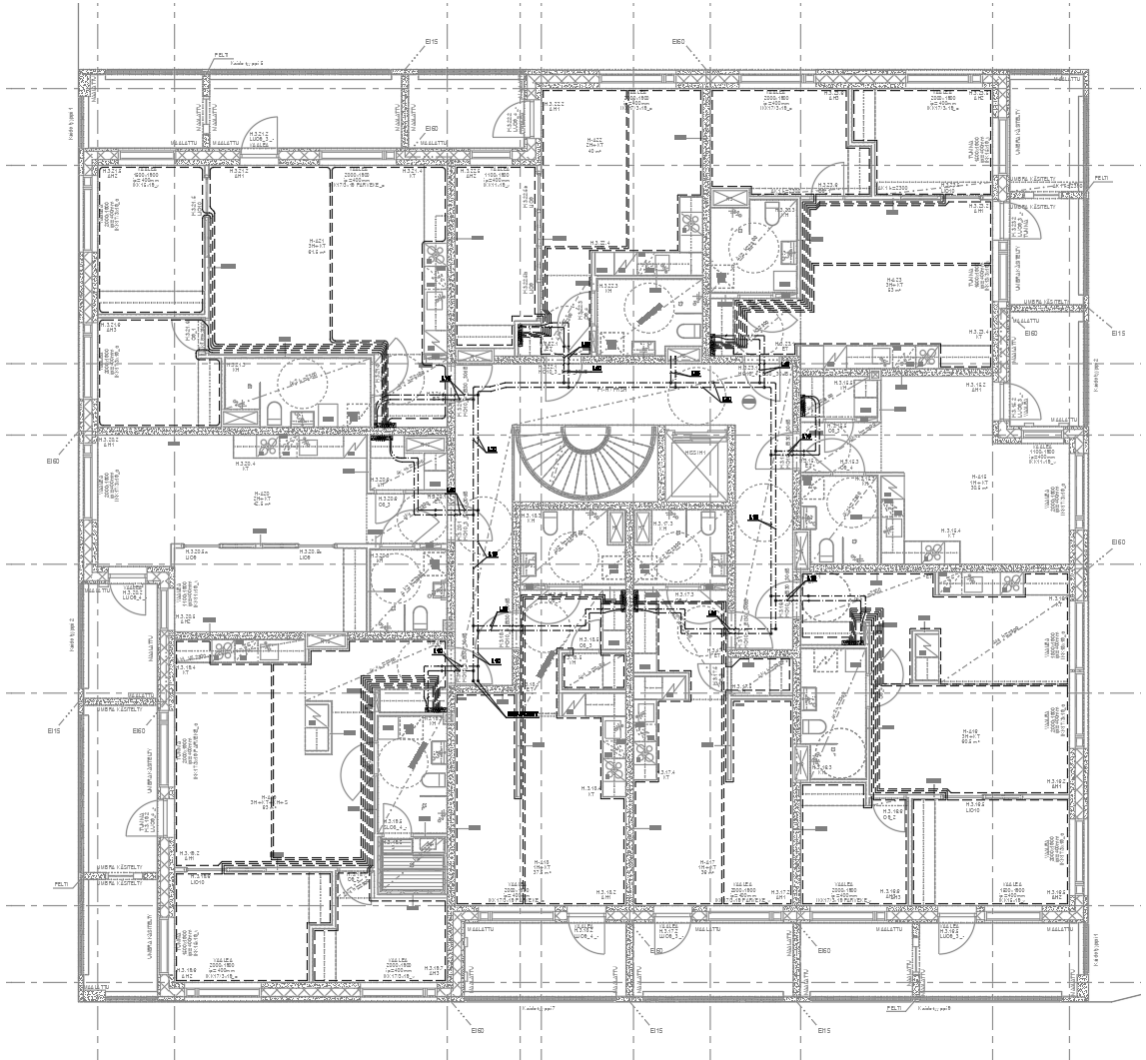
- 1 Häkkinen, Tarja & Kuittinen, Matti. 2020. Kohti vähähiillistä rakentamista.
- 2 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/844.
- 3 Ilmastonmuutos. 2020. Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä 2020. RT 103170.
- 4 Suomella on hyvät mahdollisuudet kestäväen kehityksen mukaiseen ekologiseen jälleenrakentamiseen. Valtioneuvosto. < <https://valtioneuvosto.fi/marinin-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-ja-luonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi> >. Luettu 21.20.2022
- 5 Rakentamisen päästötietokanta. 2021. Verkkoaineisto. Suomen ympäristökeskus. < <https://co2data.fi> > . Luettu 21.10.2022
- 6 Ilmasto-opas. 2020. Verkkoaineisto. Ilmasto-opas. < <https://www.ilmasto-opas.fi/etusivu> >. Luettu 03.01.2023
- 7 Hiilikädenjälki. Tulevaisuudensanasto. Verkkoaineisto. Sitra. < <https://www.sitra.fi/tulevaisuussanasto/hiilikadenjalki/> >. Luettu 03.01.2023
- 8 Hiilinieluista huolehtiminen. Verkkoaineisto. Ilmasto-opas. < <https://www.ilmasto-opas.fi/etusivu> >. Luettu 6.6.2022
- 9 Hiilineutraali Helsinki 2035. Verkkoaineisto. Helsingin ilmastoteot. < https://helsinginilmastoteot.fi/wp-content/uploads/2017/10/Hiilineutraali-Helsinki-2035-toimenpideohjelma_kplle-28.2.2018_nettti.pdf >. Luettu 6.6.2022
- 10 Rakennuksen elinkaari kestäväen rakentamisen lähtökohtana. Verkkojulkaisu. Rakennusteollisuus. < <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Kestava-rakentaminen/Rakennuksen-elinkaari/> >. Luettu 24.10.2022
- 11 Ympäristöluokitukset. 2020. Verkkoaineisto. Green Building Council Finland. <<https://figbc.fi/ymparistoluokitukset/>>. Luettu 21.10.2022
- 12 Rakennuksen vähähiillisyyden arviointimenetelmä 2019. Verkkoaineisto. Valtioneuvosto. < https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiillisyyden_arviointimenetelma.pdf >. Luettu 06.06.2022

- 13 Raatikainen Valle. 2021. Asiakkaan päästöjen vähentäminen talotekniikka-suunnittelussa. Diplomityö. Lappeenrannan yliopisto. LUT-pub-tietokanta.
- 14 Ympäristöluokitukset. 2020. Verkkoaineisto. Green Building Council Finland. < <https://figbc.fi/ymparistoluokitukset> >. Luettu 21.10.2022
- 15 Vähähiilisen rakentamisen hankintakriteerit. 2017. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. < https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80654/YO_2017_Vahahiilisen_rakentamisen_hankintakriteerit.pdf?sequence=1&isAllowed=y >. Luettu 21.10.2022
- 16 Life Cycle Assessment software FAQ. 2020. One Click LCA. Verkkoaineisto. One Click LCA. < <https://www.oneclicklca.com/support/faq-and-guidance/> > . Luettu 21.10.2022
- 17 Rakentamisen päästötietokanta. 2021. Verkkoaineisto. Suomen ympäristökeskus. < <https://co2data.fi> > . Luettu 21.10.2022
- 18 Talotekniset järjestelmät (LVI). Verkkoaineisto. Ympäristöhallinto. < https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/rakennushanke/talotekniset_jarjestelmat_lvi >. Luettu 04.02.2023
- 19 Juslin Jaakko. 2020. Suunnitteluprosessit asuinkerrostalokohteiden LVI-suunnittelussa. opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 20 Energiatodistusopas 2018. Rakennuksen energiatodistus ja E-luvun määrittäminen. Ympäristöministeriö. < https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatodistusneuvonta/energiatodistusten_laajit/energiatodistusten_laskentaohjeet_2018 >. Luettu 04.02.202
- 21 Talotekniikan tuotesidonnaisilla päästöillä on merkittävä rooli rakennuksen hiilijalanjäljenlaskennassa. 2020. Verkkoaineisto. Ramboll. < <https://fi.ramboll.com/media/artikkelit/rakentaminen-ja-kiinteistot/talotekniikan-tuotesidonnaiset-paastot> >. Luettu 04.03.2023
- 22 Somppi Laura. 2017. Kestävä rakentaminen -rakennesuunnittelijan näkökulma. Insinööriö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 23 Ilmastonmuutos. Ilmatieteen laitos. < <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutoskysymyksiä> >. Luettu 12.04.2023

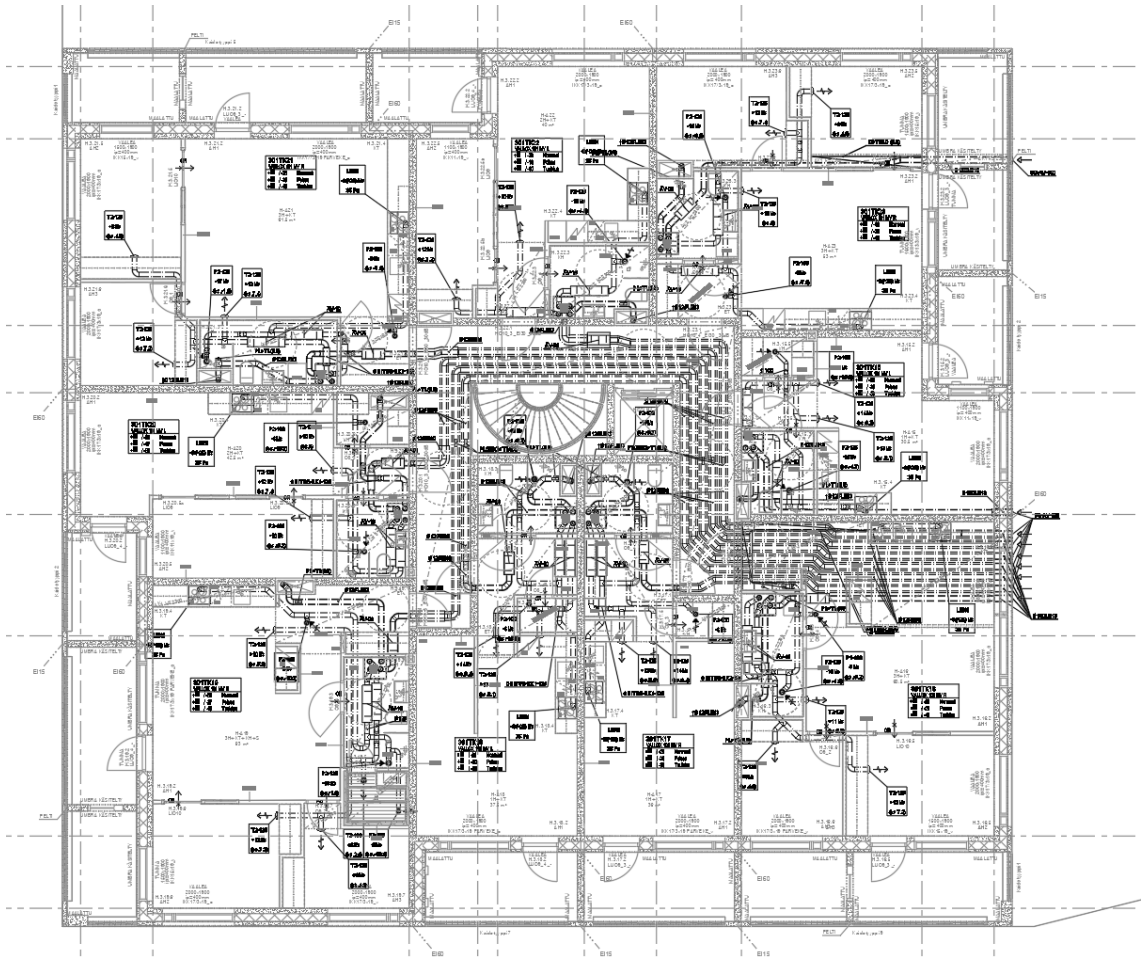
Liite 1: Kolmannen kerroksen pohjakuvatiedosto



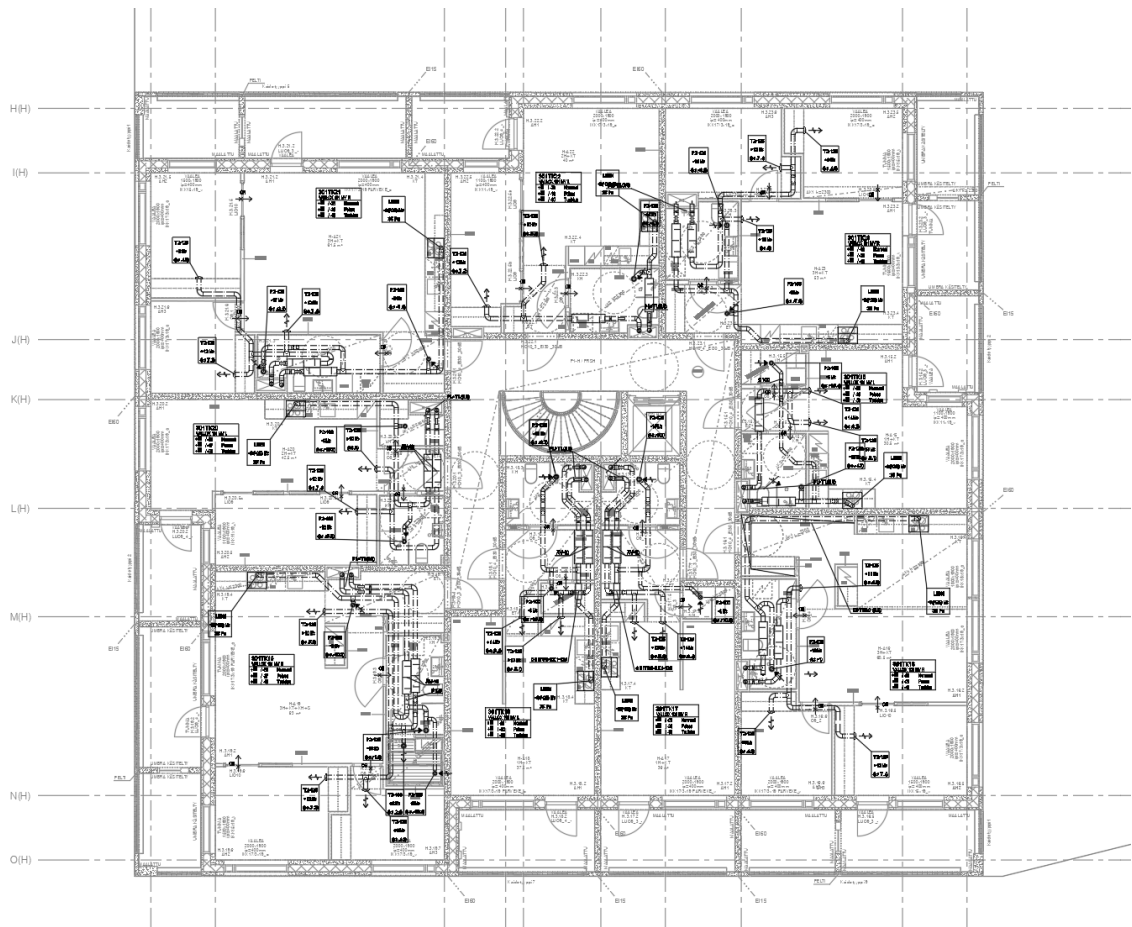
Liite 1: Kolmannen kerroksen pohjakuvatiedosto



Liite 1: Kolmannen kerroksen pohjakuvatiedosto



Liite 1: Kolmannen kerroksen pohjakuvatiedosto



Liite 2: MagiCad Bill Of Materials

| MagiCAD V&P - Bill of materi- als | | | | | | | | |
|--|-------------|--------|----------------------|-----|-------|---------------|--------|---------------------|
| Ilman- vaihto asunto- kohtainen | | | | | | | | |
| Project: xxx | | | | | | | | |
| Date: 26.07.2022 | | | | | | | | |
| Range: | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| Class | Size | Series | Pro- duct | N | L\[m] | In- sul.\A | s\[mm] | Sur- face\area |
| Duct | 100 | Pyor | SR-100 | | 10,3 | | | 3.2 m ² |
| Duct | 125 | Pyor | SR-125 | 22 | 290,4 | | | 114 m ² |
| Duct | 160 | Pyor | SR-160 | | 6,6 | | | 3.3 m ² |
| Duct | 200x70 | Suor | | | 5 | | | 2.7 m ² |
| Bend-15 | 125 | Pyor | | 22 | | | | 0.3 m ² |
| Bend-30 | 125 | Pyor | | 46 | | | | 1.2 m ² |
| Bend-30 | 125 | Pyor | BU- 125-30 | 1 | | | | 0 m ² |
| Bend-45 | 100 | Pyor | | 8 | | | | 0.2 m ² |
| Bend-45 | 125 | Pyor | | 90 | | | | 3.7 m ² |
| Bend-45 | 125 | Pyor | BU- 125-45 | 3 | | | | 0.1 m ² |
| Bend-60 | 125 | Pyor | | 1 | | | | 0.1 m ² |
| Bend-90 | 100 | Pyor | | 13 | | | | 0.8 m ² |
| Bend-90 | 125 | Pyor | | 141 | | | | 13.8 m ² |
| Bend-90 | 125 | Suor | | 1 | | | | 0.1 m ² |
| Bend-90 | 200x70 | Suor | | 2 | | | | 0.5 m ² |
| T-branch- 90 | 125/125/100 | Pyor | TCPU- 125- 100 | 11 | | | | 0.9 m ² |
| T-branch- 90 | 125/125 | Pyor | | 1 | | | | 0.1 m ² |
| T-branch- 90 | 125/125 | Pyor | TCPU- 125- 125 | 21 | | | | 2.1 m ² |

| | | | | | | | | |
|----------------------------|------------|---------|------------------|----|--|--|--|--------------------|
| Joint part | 125 | Pyor | NPU-125 | 5 | | | | 0 m ² |
| Reducer/Expander | 160/125 | Pyor | | 1 | | | | 0 m ² |
| Reducer/Expander | 160/125 | Pyor | RCU-160-125 | 8 | | | | 0.1 m ² |
| Reducer/Expander | 125/200x70 | Suor | | 1 | | | | 0.2 m ² |
| Reducer/Expander (Special) | 125/200x70 | Suor | | 1 | | | | 0.2 m ² |
| Outdoor air device | 160 | US-AV | US-AV-160 | 9 | | | | |
| Supply air device | 125 | T2 | STQA-125 | 22 | | | | |
| Supply air device | 100 | T3 | KTI-100 | 1 | | | | |
| Extract air device | 125 | LIESI | PTX 600 | 9 | | | | |
| Extract air device | 100 | P1 | KSO-100 | 1 | | | | |
| Extract air device | 100 | P2 | KSO-100 | 9 | | | | |
| Extract air device | 125 | P2 | KSO-125 | 9 | | | | |
| Silencer | 125 | ÄV-06 | KVDp-125-600-0 | 8 | | | | 2 m ² |
| Silencer | 125 | ÄV-10 | KVDp-125-1000-0 | 18 | | | | 7.3 m ² |
| Air handling unit | 125 | 101 R | VAL-LOX 101 MC R | 5 | | | | |
| Air handling unit | 125 | 101L | VAL-LOX 101 MV L | 4 | | | | |
| Other component | 125 | OHI-TUS | RK1-125 | 5 | | | | 1 m ² |

| | | | | | | | | |
|--------------------|-----|---------|--------------------|----|-------|--------------------|----|---------------------|
| Other component | 125 | OHI-TUS | RK2-125 | 1 | | | | 0.3 m ² |
| Access panel | | | | 1 | | | | |
| Access panel | | PL | PTL 125 | 12 | | | | |
| Access panel | 125 | PL | ESHU 125 | 1 | | | | |
| Insulation/Duct | 125 | EI30 | Pa-loeristys EI 30 | | 0.1 | 0.1 m ² | 60 | 0 m ² |
| Insulation/Duct | 125 | EI60 | Pa-loeristys EI 60 | | 4.5 | 4 m ² | 80 | 1.8 m ² |
| Insulation/Duct | 125 | LE16 | Armaflex AF-16 mm | | 3.1 | 1.5 m ² | 16 | 1.2 m ² |
| Insulation/Duct | 125 | LE13 | Armaflex AF-13 mm | | 54.8 | 26 m ² | 13 | 21.5 m ² |
| Insulation/Duct | 125 | EI30 | EI30 Aircoat | | 113.1 | 80 m ² | 50 | 44.4 m ² |
| Insulation/Duct | 160 | LE13 | Armaflex AF-13 mm | | 6.6 | 3.8 m ² | 13 | 3.3 m ² |
| Insulation/Bend-15 | 125 | EI60 | Pa-loeristys EI 60 | 3 | | | 80 | 0 m ² |
| Insulation/Bend-15 | 125 | LE13 | Armaflex AF-13 mm | 8 | | | 13 | 0.1 m ² |
| Insulation/Bend-15 | 125 | EI30 | EI30 Aircoat | 2 | | | 50 | 0 m ² |
| Insulation/Bend-30 | 125 | LE16 | Armaflex AF-16 mm | 2 | | | 16 | 0.1 m ² |
| Insulation/Bend-30 | 125 | LE13 | Armaflex AF-13 mm | 14 | | | 13 | 0.4 m ² |
| Insulation/Bend-30 | 125 | EI30 | EI30 Aircoat | 14 | | | 50 | 0.4 m ² |

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------|------|--------------------|----|--|--|----|--------------------|
| Insulation/Bend-45 | 125 | LE16 | Armaflex AF-16 mm | 2 | | | 16 | 0.1 m ² |
| Insulation/Bend-45 | 125 | LE13 | Armaflex AF-13 mm | 27 | | | 13 | 1.1 m ² |
| Insulation/Bend-45 | 125 | EI30 | EI30 Aircoat | 22 | | | 50 | 0.9 m ² |
| Insulation/Bend-90 | 125 | EI60 | Pa-loeristys EI 60 | 3 | | | 80 | 0.3 m ² |
| Insulation/Bend-90 | 125 | LE16 | Armaflex AF-16 mm | 2 | | | 16 | 0.2 m ² |
| Insulation/Bend-90 | 125 | LE13 | Armaflex AF-13 mm | 42 | | | 13 | 4.1 m ² |
| Insulation/Bend-90 | 125 | EI30 | EI30 Aircoat | 9 | | | 50 | 0.9 m ² |
| Insulation/T-branch-90 | 125/125 | LE13 | Armaflex AF-13 mm | 1 | | | 13 | 0.1 m ² |
| Insulation/Joint part | 125 | EI30 | Pa-loeristys EI 30 | 1 | | | 60 | 0 m ² |
| Insulation/Joint part | 125 | EI30 | EI30 Aircoat | 4 | | | 50 | 0 m ² |
| Insulation/Reducer/Expander | 160/125 | LE13 | Armaflex AF-13 mm | 9 | | | 13 | 0.1 m ² |
| Insulation/Outdoor air device | 160 | EI60 | Pa-loeristys EI 60 | 6 | | | 80 | |
| Insulation/Outdoor air device | 160 | LE13 | Armaflex AF-13 mm | 3 | | | 13 | |
| Insulation/Extract air device | 125 | EI60 | Pa-loeristys EI 60 | 9 | | | 80 | |

| | | | | | | | | |
|----------------------------|-----|------|--------------------|---|--|--|----|--------------------|
| Insulation/Silencer | 125 | EI60 | Pa-loeristys EI 60 | 1 | | | 80 | 0.2 m ² |
| Insulation/Silencer | 125 | LE13 | Armaflex AF-13 mm | 4 | | | 13 | 1 m ² |
| Insulation/Other component | 125 | LE13 | Armaflex AF-13 mm | 1 | | | 13 | 0.3 m ² |
| Insulation/Access panel | 125 | LE13 | Armaflex AF-13 mm | 1 | | | 13 | |

| MagiCAD V&P - Bill of materials | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------|--------|--------------|----|-------|----------|-------|--------------------|
| Ilmanvaihto keskitetty | | | | | | | | |
| Project: xxx | | | | | | | | |
| Date: 05.08.2022 | | | | | | | | |
| Range: | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| Class | Size | Series | Product | N | L[m] | Insul. A | s[mm] | Surface area |
| Duct | 100 | Pyor | SR-100 | | 11.3 | | | 3.5 m ² |
| Duct | 125 | Pyor | SR-125 | 34 | 147.6 | | | 58 m ² |
| Bend-30 | 125 | Pyor | | 11 | | | | 0.3 m ² |
| Bend-45 | 100 | Pyor | | 10 | | | | 0.3 m ² |
| Bend-45 | 125 | Pyor | | 48 | | | | 2 m ² |
| Bend-90 | 100 | Pyor | | 12 | | | | 0.8 m ² |
| Bend-90 | 125 | Pyor | | 89 | | | | 8.7 m ² |
| Bend-90 | 125 | Suor | | 1 | | | | 0.1 m ² |
| Bend-90 | 100 | Pyor | | 1 | | | | 0 m ² |
| Bend-90 | 125 | Pyor | | 1 | | | | 0.1 m ² |
| T-branch-90 | 125/125/100 | Pyor | TCPU-125-100 | 10 | | | | 0.8 m ² |
| T-branch-90 | 125/125 | Pyor | TCPU-125-125 | 22 | | | | 2.2 m ² |
| Supply air device | 125 | T2 | STQA-125 | 22 | | | | |
| Supply air device | 100 | T3 | KTI-100 | 1 | | | | |
| Extract air device | 125 | LIESI | PTX 600 | 9 | | | | |
| Extract air device | 100 | P2 | KSO-100 | 9 | | | | |
| Extract air device | 125 | P2 | KSO-125 | 9 | | | | |
| Flow damper | 125 | SP | IRIS-125 | 18 | | | | 0.4 m ² |

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----|---------|------------------------------|----|--|--|----|--------------------|
| Silencer | 125 | ÄV-10 | KVDp-125-1000-0 | 18 | | | | 7.3 m ² |
| Other component | 125 | OHI-TUS | RK1-125 | 2 | | | | 0.4 m ² |
| Access panel | | PL | PTL 125 | 17 | | | | |
| Access panel | 125 | PL | Cleaning cover-012-circ plug | 1 | | | | |
| Insulation/Extract air device | 125 | EI60 | Paloeristys EI 60 | 9 | | | 80 | |

Liite 3: One Click LCA -ohjelmalla laskettu hiilijalanjälki

| One Click LCA -ohjelmalla laskettu hiilijalanjälki | | |
|---|------|------------|
| Lämmitys | | |
| Radiaattoreilla | 7,1 | kg/co2e m2 |
| lattia lämmitys | 5,7 | kg/co2e m2 |
| Käyttövesi | | |
| pinta-asennus | 1,5 | kg/co2e m2 |
| PEX muoviputkella | 0,92 | kg/co2e m2 |
| Ilmanvaihto | | |
| asuntokohtainen iv-kone | 390 | kg/CO2e |
| keskitetty iv-kone | 750 | kg/CO2e |
| 100 mm kanava | 11 | kg/co2e m |
| 125 mm kanava | 12 | kg/co2e m |
| 160 mm kanava | 16 | kg/co2e m |