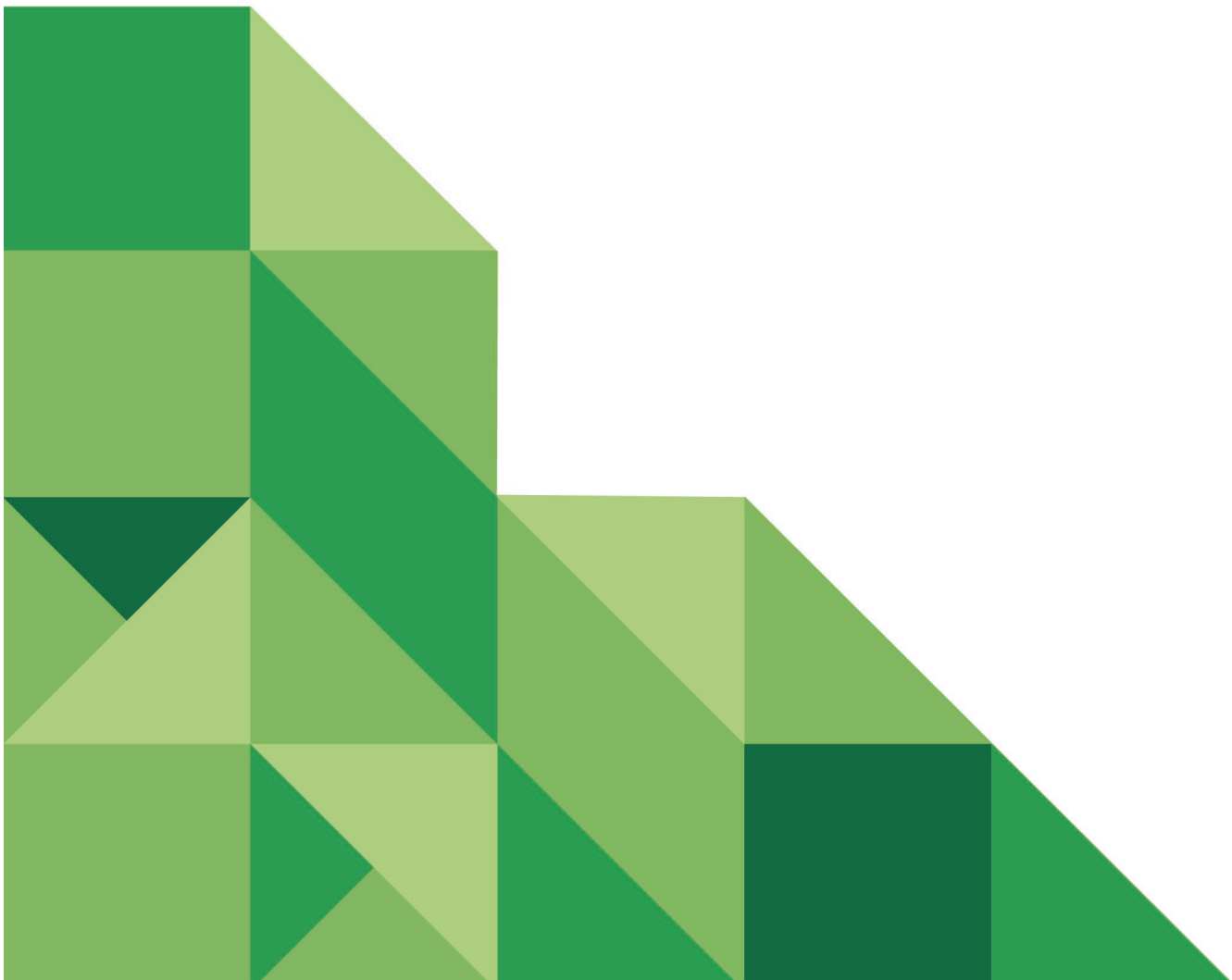


Joel Polojärvi

Lämmitysjärjestelmien elinkaaren päästöarviointi (LCA) ja vertailu case-kohteessa



Julkaisusarja

Karelia-ammattikorkeakoulun julkaisu C: Raportteja, 111

Tekijä

Joel Polojärvi, Karelia-ammattikorkeakoulu

© Tekijä ja Karelia-ammattikorkeakoulu



Tämä julkaisu on lisensoitu Creative Commons Nimeä-EiMuutoksia 2.0 Kansainvälinen -lisenssillä.

ISBN 978-952-275-392-2

ISSN 2323-6914

Karelia-ammattikorkeakoulu 2023

Vähähiilinen ja energiatehokas korjausrakentaminen -hanke



**BUSINESS
JOENSUU**



**Vipuvoimaa
EU:lta
2014-2020**

Sisällys

Johdanto.....	4
1 Tutkimuksen tarkoitus ja rakennuksen tiedot.....	5
1.1 Arvioinnin perustiedot.....	5
1.2 Arvioitu rakennus, yleistiedot.....	5
2 LCA-arvioinnin tavoite ja järjestelmän rajaus.....	7
3 Arvioidut vaikutuskategoriat.....	9
4 Arvioinnin laajuus.....	10
4.1 Sisältyvät järjestelmät.....	10
4.2 Ympäristötietolähteet.....	10
4.3 Projektin tietolähteet ja oletukset.....	11
4.4 Kohteen kuvaus.....	12
4.5 Energiasimulointi.....	13
4.6 Tietojen luotettavuuden arviointi ja oletukset laskennassa.....	14
5 Elinkaariarvioinnin tulokset.....	15
5.1 Hiilikädenjälki.....	17
5.2 Talotekniikan massan ja päästöjen vertailu.....	18
5.3 Energiasimuloinnin tulosten vertailu.....	19
5.4 Kriittinen tarkastelu ja parannusehdotukset.....	20
Lähteet.....	22
Liitteet.....	23
Liite 1. Laskennassa huomioidut talotekniikan järjestelmät ja niiden osat	
Liite 2. Käytetyt tietolähteet	

Johdanto

Suomen pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategiassa 2020–2050 tavoitteeksi on asetettu vähentää rakennusten hiilidioksidipäästöjä vuoden 2020 alusta 90 prosenttia vuoteen 2050 mennessä. Strategian toimeenpano koskee 1,4 miljoonaa vuoden 2020 alkuun mennessä valmistuneita asuin- ja palvelurakennuksia. Korjausrakentamisen volyyymi suomessa on noin puolet kaikesta rakentamisesta, joten rakentamisen päästöjen vähentämisessä sillä on merkittävä rooli.

Rakentamisen säädöskehityksen kautta rakennusten elinkaaren hiilijalanjälkilaskenta on tulossa kiinteäksi osaksi myös korjausrakennushankkeiden suunnittelua. Lähtökohteisesti rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen tarkastelu tulisi suorittaa hankesuunniteluvaiheessa osana rakennushankkeen tavoitteiden asettamista, jolloin eri suunnitteluratkaisuja voidaan arvioida kokonaisvaltaisesti ja ohjata niiden vähähiilisyttä. Rakennuksen elinkaarenpäästöjen osalta suurimmat yksittäiset päästölähteet ovat rakennuksen käyttövaiheen energiankulutus sekä eri rakennusmateriaalien tuotantovaiheen päästöt.

Karelia-ammattikorkeakoulun Vähähiilinen ja energiatehokas korjausrakentaminen EAKR-projektin yhtenä toimenpiteenä toteutettiin pilottitoteutus, jonka tavoitteena oli arvioida eri lämmitysjärjestelmien elinkaaren ympäristövaikutuksia case-kohteessa. Tässä raportissa on kuvattu seikkaperäisesti suoritettun arvioinnin toteutusta sekä tuloksia.

Joensuussa 06.04.2023

Mikko Matveinen, projektipäällikkö
Karelia-ammattikorkeakoulu

Vähähiilinen ja energiatehokas korjausrakentaminen tutkimus- ja kehittämisprojektin päärahoittaja toimii Etelä-Savon Elinkeino-, Liikenne- ja Ympäristökeskus EAKR-ohjelmasta.

1 Tutkimuksen tarkoitus ja rakennuksen tiedot

Arvioija ja arvioijan koulutus: Joel Polojärvi, insinööri (AMK)

Päiväys: 06.04.2023

1.1 Arvioinnin perustiedot

Tutkimuksen tarkoitus:	Tarkoituksen oli vertailla vesikiertoisien lattialämmityksen, radiaattorilämmityksen sekä sähkökäyttöisen lämmityksen ympäristövaikutuksia. Työssä tarkastellaan lämmitysjärjestelmien välisiä eroja hiilijalanjäljen sekä energiankulutuksen suhteen.
Hankkeen tyyppi:	Uudisrakennus
Arviointimenetelmä:	Ympäristöministeriön vähähiilisyyden arviointimenetelmä (2021)
Kieli	Suomi
Tutkimuksen lähtötiedot (tyyppi)	Lähtötietoina kohteen suunnitelmat: IFC-tietomallit, yleissuunnitelmat sekä asiakirjat.
Tiedot varmennettu jälkiseurannalla	Ei
Rakennuksen elinkaari	Keskeneräinen

1.2 Arvioitu rakennus, yleistiedot

Rakennustyyppi	Opetusrakennukset ja päiväkodit
Rakennus- tai peruskorjausvuosi	2020
Pinta-ala (lämmin)	2174 m ²
Päärakennusmateriaali	Teräsbetoni
Ilmastovyöhyke	Finland zone 5
Rakennuksen toiminnot ja palvelut	Varhaiskasvatus
Rakennuksen käyttömäärät	N/A
Bruttoala b-m ² /h-m ²	2676 brm ²
Kerroslukumäärä ja kuvaus	2-kerroksinen päiväkotit
Lämmitys/jäähdytysjärjestelmä	Kaukolämpö
Muut relevantit käyttäjän asettamat tai asetetut rakennusmääräykset	N/A

LCC-laskenta-aika	N/A
LCA-laskenta-aika	50 vuotta, YM menetelmän mukaisesti
Rakennuksen suunniteltu käyttöikä	100 vuotta

2 LCA-arvioinnin tavoite ja järjestelmän raja

Arvioinnissa on huomioitu seuraavat elinkaaren vaiheet. Merkattu (x):

Hiilijalanjälki																Hiilikädenjälki					
Tuotevaihe					Käyttövaihe							Elinkaaren loppu									
Raaka-aineen hankinta					Käyttövaihe							Elinkaaren loppu				Hiilikädenjälki					
Raaka-aineen hankinta					Käyttövaihe							Elinkaaren loppu				Hiilikädenjälki					
Raaka-aineen hankinta					Käyttövaihe							Elinkaaren loppu				Hiilikädenjälki					
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	D5	D6
x	x	x	x	x				x		x			x		x	x					

Taulukko 1. Arvioidut elinkaaren vaiheet.

Kuvaus elinkaarivaiheista ja analyysin laajuudesta:

A1-A3 Rakennus- materiaalit	<p>Raaka-ainehuolto (A1) sisältää päästöt, jotka syntyvät, kun raaka-aineet otetaan luonnosta, kuljetetaan teollisuusyksiköihin jalostettavaksi ja jalostetaan.</p> <p>Raaka-aine- ja energiahäviöt otetaan myös huomioon. Kuljetusvaikutuksiin (A2) sisältyvät pakokaasupäästöt, jotka johtuvat kaikkien raaka-aineiden kuljettamisesta toimittajilta valmistajan tuotantolaitokselle, sekä polttoaineiden tuotannon vaikutukset.</p> <p>Tuotantovaikutukset (A3) kattavat koneiden käyttämien tuotantomateriaalien ja polttoaineiden valmistuksen, samoin kuin tuotantoprosesseissa syntyvän jätteen käsittelyn valmistajan tuotantolaitoksissa jätteen loppuun asti.</p>
A4 Kuljetus työ- maalle	<p>A4 sisältää pakokaasupäästöt, jotka johtuvat rakennusalan tuotteiden kuljetuksesta valmistajan tuotantolaitokselta rakennuspaikalle, sekä käytetyn polttoaineen tuotannon ympäristövaikutukset.</p>

A5 Rakennus- ja asennuspro- sessi	A5 kattaa pakokaasupäästöt, jotka aiheutuvat energian käytöstä työ- maalla, polttoaineen, energian ja veden tuotantoprosessien ympäristövai- kutukset sekä jätteiden käsittely jätteen loppuun asti.
B1-B5 Huolto- ja materiaalien vaihto	Kunnossapidon ja materiaalien vaihtamisen ympäristövaikutukset (B1-B5) sisältävät ympäristövaikutukset, jotka aiheutuvat rakennustuotteiden vaih- tamisesta niiden käyttöiän päättyessä. Päästöt kattavat raaka-ainetoimi- tuksista, kuljetuksesta ja korvaavan uuden materiaalin tuotannosta aiheu- tavat vaikutukset sekä korvaavan materiaalin valmistuksen ja jätteiden kä- sittelyn vaikutukset jätteen loppuun asti.
B6 Energian käyttö	Harkittuihin käyttövaiheen energiankulutuksen (B6) vaikutuksiin sisältyvät pako-kaasupäästöt kaikesta rakennustason energiantuotannosta sekä polttoaineen ja ulkoisesti tuotetun energian tuotantoprosessien ympäristö- vaikutukset. Myös energiansiirtotappiot otetaan huomioon
B7 Veden käyttö	Harkittuihin käyttövaiheen vedenkulutuksen (B7) vaikutuksiin sisältyvät ma- kean veden tuotantoprosessien ympäristövaikutukset ja jäteveden käsitte- lyn vaikutukset.
C1-C4 Purkaminen	Purkamisen vaikutuksiin sisältyy kierrätettävien rakennusjätevirtojen pro- sessoinnin vaikutukset kierrätykseen (C3) jätteen loppupäähän saakka tai esikäsitteilyn ja kaatopaikalle sijoittamisen vaikutukset jätevirtoihin, joita ei voida kierrättää (C4), materiaalityypin perusteella. Lisäksi dekonstruktiovai- kutuksiin sisältyvät jätteiden energian talteenotosta aiheutuvat päästöt.
D Ulkoiset vaikutukset / käyttöiän lopun edut	Ulkoisiin etuihin sisältyy kierrätettävän rakennusjätteen kierrätyksestä ai- heutuvat päästöedut. Uudelleenkäytettyjen tai kierrätettyjen materiaali- tyyppien etuihin sisältyy neitsytpohjaisen materiaalin korvaamisen kierrä- tetyllä materiaalilla myönteinen vaikutus ja hyötyä materiaaleille, jotka voi- daan ottaa talteen energian avulla, katettava positiiviset vaikutukset mui- den energiavirtojen korvaamisessa energiantuotannon keskimääräisten vaikutusten perusteella.

Taulukko 2. LCA- vaiheiden kuvaukset.

3 Arvioidut vaikutuskategoriat

Vaikutuskategoria	Yksikkö	Kuvaus
Lämmityspotentiaali GWP-Global warming potential	kgCO ₂ eq	Eri kaasuja vertailtaessa yksikkönä käytetään lämmityspotentiaalia (global warming potential, GWP), joka mittaa kaasun aiheuttamaa lämmitysvaikutusta hiilidioksiidiin verrattuna massayksikköä kohti 20 tai 100 vuoden aikana. Tässä tarkastelussa käytössä GWPI00.

Taulukko 3. Arvioitu vaikutuskategoria

4 Arvioinnin laajuus

4.1 Sisältyvät järjestelmät

Arvioinnissa vertailtavia lämmitysjärjestelmiä ovat vesikiertoinen lattialämmitys-, vesikiertoinen radiaattori- sekä sähköinen lämmitysjärjestelmä. Vertailun kohteena oli pääosin teräksisen radiaattorilämmitysjärjestelmän vertailu lattialämmitysjärjestelmään, jonka materiaaleina on käytetty PEX- sekä komposiittiputkea. Lisäksi vertailussa on mukana sähköinen lämmitysjärjestelmä. Järjestelmien välisten vuosittaisten energiankulutuksien tarkastelu on suoritettu energiasimulointeja hyödyntäen.

Arviointiin sisältyy rakennuksen sisäpuoliset lämmitysjärjestelmän osat kokonaisuudessaan eli lämmönjakolaitteisto, lämmitysverkosto sekä lämmönkehityslaitteisto lämmönjakokeskuksesta eteenpäin. Lämmitysverkoston laskennassa on huomioitu putkiston eristys sekä vaatimusten mukainen kannakointi. Huomioimatta on jätetty kaukolämmön alueosat. Sähköisen lämmitysjärjestelmän osalta on huomioitu vain lämmönjakolaitteisto. Raportin lopussa liitteenä LVI2010 -nimikkeistön mukainen listaus arvioinnissa käytettävistä järjestelmistä ja niiden osista (liite 1). Lisäksi liitteeseen on merkitty LVI- 01-10424 mukaiset tekniset käyttöiät taloteknisille järjestelmille. Rajaus on tehty vähähiilisuuden arviointimenetelmän pohjalta.

Vertailussa ei kuitenkaan huomioida rakennusteknisiä seikkoja, kuten lämmitysjärjestelmien vaikutusta lattian paksuuteen. Todellisuudessa lattialämmitysjärjestelmissä lattian pintavalu on paksumpi, mikä vaikuttaisi rakennuksen hiilijalanjälkeen. Vaikka tulokset eivät näkyisi talotekniikan hiilijalanjäljessä, ne nostaisivat rakennuksen hiilijalanjälkeä.

4.2 Ympäristötietolähteet

Elinkaariarvioinnin laskemiseen on käytetty One Click LCA työkalua. Ohjelmaan on integroitu useimpien rakennuksen päästölaskentamenetelmien parametrit. One Click LCA:n tietokannasta löytyy sekä EN 15804 -standardin mukaisia rakennustuotekohtaisia ympäristöselosteita, että yleistä päästödataa. Lista laskennassa käytetyistä data-lähteistä on kuvattu liitteissä.

Ensisijaisesti laskennassa on käytetty valmistajan ilmoittamia päästötietoja, mikäli käytettävä tuote on ollut tiedossa sekä tuotteelle on ollut saatavilla ympäristöseloste. Valmistajan päästötiedot on lisätty ohjelmaan käyttäen "Externally calculated carbon emissions" -kerrointa, mikäli kyseistä päästötietoa ei ole ollut saatavilla One Click LCA tietokannassa. Kuitenkin pääasiassa laskennassa on jouduttu käyttämään

päästötietokannan geneerisiä päästötietoja ja ympäristöselosteita, koska tuotekohtaisia päästötietoja on hyvin rajallisesti saatavilla. Päästötietokannan tuotteet vastaavat hyvin suomessa useimmin käytettävää talotekniikkaa, mutta päästöiltään ne edustavat markkinoiden korkeapäästöisempiä tuotteita, sillä niissä on 20 prosentin varmuuskerroin.

4.3 Projektin tietolähteet ja oletukset

LCA-laskenta suoritettiin kohteelle käyttäen One Click LCA ohjelmistoa perustuen suunnittelutietoihin. Tulokset kuvaavat koko elinkaaren aikaisia vaikutuksia 50 vuoden rakennuksen käyttöiällä, joka on Ympäristöministeriön vähähiilisyden arviointimenetelmän mukainen tarkastelujakso [1]. Vaikka todellinen käyttöikä ei olisikaan juuri se, on tarkastelu tehty 50 vuodelle vertailtavuuden vuoksi.

Lämmitysjärjestelmien määrälaskenta on suoritettu IFC-mallin sekä itse tehtyjen suunnitelmien pohjalta. Laskennassa on huomioitu kaikki mitä IFC-malliin on mallinnettu. Pääpiirteittäin tietomallista löytyy kaikki massaltaan sekä päästöiltään merkittävimmät järjestelmän osat. Kuitenkin laskennassa on jouduttu tekemään oletuksia puutteellisten valmistaja- ja tuotetietojen takia.

Määrälaskennan tietolähteinä on käytetty IFC-tietomallia, suunnitteludokumentteja sekä laiteluetteloja. Vesikiertoisen radiaattorilämmitysjärjestelmän määrälaskenta on tehty kokonaisuudessaan IFC-mallin pohjalta. Vesikiertoisen lattialämmitysjärjestelmän laskentaa varten on tehty omat suunnitelmat Magicad -ohjelmaa hyödyntäen. Määrälaskenta on suoritettu itse tehdyn suunnitelman pohjalta. Sähköinen lämmitysjärjestelmä on laskettu rakennuksen pinta-alan mukaan neliöpohjaisesti. Energiasimuloinnissa on käytetty pääosin suunnitelmista saatuja tietoja. Puuttuvina tietoina on käytetty IDA ICE:n oletustietoja tai määräystason tietoja.

Lisäksi tietojen haussa on käytetty laiteluetteloja ja materiaalierittelyä. Tuotteiden massatietoina on käytetty valmistajan antamia tietoja, mikäli on saatavilla. Mikäli massatietoja ei ole ollut saatavilla, on pyritty käyttämään vastaavan tuotteen tietoja. Sähköisen lattialämmityksen sekä lämmönjakokeskuksen osalta on päästötietoina jouduttu käyttämään oletuksia, koska tuotekohtaisia päästötietoja ei ole saatavilla.

Arvioinnissa on huomioitu myös tuotteiden vaihdot rakennuksen elinkaaren aikana (moduuli B4). Tuotteiden vaihtovälit perustuvat RT-korttiin 18-10922, kansalliseen päästötietokantaan tai tuotekortteihin. Arvioitaessa tuotteiden vaihtoväliä rasisluokat on määritetty normaaliin tai vaikeaan rasisluokkaan, riippuen siitä millaisessa rasisluokassa kyseinen tuote on rakennuksessa. Työmaalla syntyvä hukka, eli moduuli A5, on arvioitu Suomen päästötietokannan antamilla hukkakertoimilla ja muille päästötiedoille One Click LCA:n oletus hävikkiprosenteilla.

Arvioinnissa ulkopuolelle on jätetty pienempiä osia, joiden yksittäinen vaikutus kokonaispäästöihin on korkeintaan prosentin. Ulkopuolelle rajattujen osien yhteenlaskettu vaikutus on alle viisi prosenttia kokonaispäästöihin. Kuitenkin päästöjen näkökulmasta merkittävimmät osat ja järjestelmät ovat huomioitu laskennassa.

Analyyssialue	Datalähteet
Materiaalimäärät (A1-A3)	IFC-tietomalli, 2D- suunnitteludokumentit, laiteluettelot sekä asiakirjat mm. työselostukset.
Rakennusmateriaalin kuljetusetäisyydet (A4)	Laskettu Sykkeen tietokannan mukaisella kuljetusetäisyydellä 102 km.
Rakennus ja asennusprosessi (A5)	Laskettu arviointimenetelmän taulukkoarvolla. Työmaahävikit One Clickin oletusarvoilla, pl. Sykkeen tiedot, joissa hukkakerroin ilmoitettu.
Materiaalin käyttöikä (B1-B5)	Rakennusosien käyttöiät RT kortin 18-10922, kansallisen päästötietokannan käyttöikä tietojen tai tuotekorttien mukaan.
Energian kulutus (B6)	Energiasimuloinnista saatujen tulosten perusteella.
Veden kulutus (B7)	Ei mukana arvioinnissa.
Elinkaaren loppu ja purkuvaihe (C)	Laskettu arviointimenetelmän taulukkoarvoilla ja materiaali kohtaisilla oletusskenaarioilla.
Rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jäävät hyödyt tai haitat (D)	One Click LCA:n oletusskenaariot ja ympäristöselosteet.

Taulukko 4. Analyysialue ja kuvaus.

4.4 Kohteen kuvaus



Kuva 1. Leikkauskuva rakennuksen tietomallista, johon on lisätty lämmitysjärjestelmä.

Alkuperäisen rakennuksen lämmitysmuoto on kaukolämpö ja lämmönjakotapana toimii pääasiallisesti vesikiertoiset radiaattorit. Märkätiloissa lämmönjakotapana toimii lattialämmitys. Lämmitysverkoston materiaalina käytetään pääosin hitsattavaa terästä. Lattialämmitys- ja käyttövesiverkoston runkoputket ovat komposiittia ja lattialämmityspiirit PEX-putkea. Liitososina komposiittiputkistoissa on käytetty messinkisiä puristusosia. Jäähdytystä rakennuksessa ei ole.

Ensimmäisessä testiversiossa rakennuksen lämmönjakotapana toimii vesikiertoinen lattialämmitys. Lämmitysverkoston materiaalina on käytetty komposiittiputkea ja lattialämmityspiirien materiaalina toimii PEX-putki. Ilmanvaihdon sekä radiaattoreiden lämmönjakoverkosto on komposiittia. Porrashuoneissa sekä konehuoneessa on käytössä vesikiertoiset radiaattorit. Liitososina verkostoissa on käytetty messinkisiä puristusosia. Venttiilit sekä muut putkiosat ovat myös messinkiä.

Toisessa testiversiossa lämmitysjärjestelmä on täysin sähköinen ja lämmönjako on toteutettu sähköisellä lattialämmityksellä sekä sähköisillä lämmittimillä. Lattialämmitys on toteutettu sähköisillä lämmitysmatoilla ja tilat, joihin lämmitysmatot ei sovellu, ovat toteutettu sähköisillä lämmittimillä. Sähköisillä lämmittimillä varustettuja tiloja ovat rappukäytävät sekä konehuone. Ilmanvaihdon lämmitys on toteutettu sähköisellä lämmitysvastuksella.

4.5 Energiasimulointi

Arvioinnissa vertailtaville lämmitysjärjestelmille on suoritettu energiasimuloinnit IDA ICE -simulointiohjelmalla, joiden pohjalta järjestelmien välisiä energiankulutuksia pystytään vertailemaan. Simuloinnin päätarkoituksena on tarkastella lämmönjaon hyötysuhteen sekä lämmitysverkoston lämpötilan vaikutusta energiankulutukseen. Radiaattorilämmitysverkoston menoveden lämpötilana on käytetty 45°C ja paluueden lämpötilana 30°C. Lattialämmitysverkoston menoveden lämpötilana on käytetty 35°C sekä paluueden lämpötilana 30°C. Lämmönjaon hyötysuhteet ovat määräytyneet IDA ICE:n lämmityslaitteiden mukaisesti.

Simuloinnissa on käytetty yksinkertaistettua mallia rakennuksesta, johon kuuluu 1- ja 2-kerros. Malliin sisältyy suunnitelmien mukaiset ulkoseinä-, alapohja-, välipohja-, yläpohjarakenteet sekä ikkunat ja ovet. Mallista on rajattu pois rakennuksen osia, joilla ei ole suurta vaikutusta vertailtavuuteen. Pois rajattuja osia ovat 3-kerroksessa sijaitseva konehuone sekä rakennuksen keskellä sijaitseva atrium.

4.6 Tietojen luotettavuuden arviointi ja oletukset laskennassa

Elinkaariarvioinnin luotettavuus perustuu luotettavaan määrälaskentaan ja oikeiden päästötietojen käyttöön. Tulokset kuvaavat elinkaaren aikana muodostuvia ympäristövaikutuksia yksikkönä hiilidioksidiekvivalentti (kgCO_{2e}). Vaiheet A1-A3 tuotteiden valmistus sekä vaihe B4 osien vaihto on laskettu hankekohtaisilla tiedoilla. B6 energian käyttövaiheen arvoina on käytetty energiasimuloinnista saatuja tietoja. Vaiheet A4 kuljetus työmaalle, A5 hävikki, C2 kuljetus jatkokäsittelyyn ja C4 ovat laskettu Sykkeen tietokannan ja One Click LCA:n skenaarioilla.

Arvioinnissa tehtyjä rajauksia:

- Komposiittiputkien päästötiedot ovat laskettu käsin valmistajan ilmoittamilla arvoilla ja lisätty ohjelmaan käyttäen päästötiekannasta löytyvää "Externally calculated carbon emissions" kerrointa.
- Messinkisten putkiosien ja komponenttien päästötietona on käytetty yleistä "Brass component" kerrointa.
- Jakotukkikaappien päästötietona on käytetty "Teräs, maalattu (Ruukki)" kerrointa.
- Kannakkeiden päästötietona on käytetty sykkeen " Teräs, kuumasinkitty (Ruukki)" kerrointa.
- Teräsputkien sekä putkiosien päästötietona on käytetty "Steel pipe" kerrointa.
- Sähköisten lattialämmitysmattojen päästötietona on käytetty "Sähkökaapeli, matalajännite" kerrointa.

5 Elinkaariarvioinnin tulokset

Valmistusvaiheessa vesikiertoisen lattialämmityksen kokonaishiilijalanjälki on 10182,2 kgCO₂e, vesikiertoisen radiaattorilämmityksen on 24213,9 kgCO₂e ja sähköisen lämmitysjärjestelmän on 5347 kgCO₂e. Taulukosta 5 nähdään elinkaariarvioinnin tulokset 50 vuoden tarkastelujaksolla. Taulukossa 5 käytettävällä lyhenteellä LL tarkoitetaan vesikiertoista lattialämmitystä, RL taas tarkoittaa vesikiertoista radiaattorilämmitystä ja SL puolestaan tarkoittaa sähköistä lämmitystä. Ennen rakennuksen käyttövaihetta valmistusvaiheiden hiilijalanjäljet vaihtelevat 0,0493 – 0,2251 kgCO₂e/m²/a välillä. Kokonaisuudessaan lämmitysjärjestelmien hiilijalanjäljet vaihtelevat 5,94 – 7,17 kgCO₂e/m²/a välillä. Tuloksista nähdään, että käytönaikaiseen energiankulutukseen verrattuna muut vaiheet ovat suhteellisen marginaalisia.

	Osio	Tuloskategoria	LL	RL	SL	
Ennen käyttöä	A1-A3	Tuotteiden valmistus	0,0900	0,2228	0,0492	kgCO ₂ e/m ² /a
	A4	Kuljetus työmaalle	0,0005	0,0007	0,0001	kgCO ₂ e/m ² /a
	A5	Työmaahävikki	0,0032	0,0016		kgCO ₂ e/m ² /a
	A5-YM	Uudisrakennustyömaan toiminnot				kgCO ₂ e/m ² /a
Käytön	B4	Rakennusosien vaihto	0,0057	0,0059		kgCO ₂ e/m ² /a
	B6	Energian käyttö	6,893	6,941	5,9	kgCO ₂ e/m ² /a
Käytön jälkeen	C1	Purkutyöt				kgCO ₂ e/m ² /a
	C2	Kuljetus jatkokäsittelyyn	0,0005	0,0008	0,0001	kgCO ₂ e/m ² /a
	C3	Jätteenkäsittely				kgCO ₂ e/m ² /a
	C4	Loppusijoitus	0,0019	0,0022	0,0004	kgCO ₂ e/m ² /a
	A-C	Hiilijalanjälki yhteensä	6,994	7,172	5,95	kgCO₂e/m²/a

Taulukko 5. Elinkaariarvioinnin tulokset.

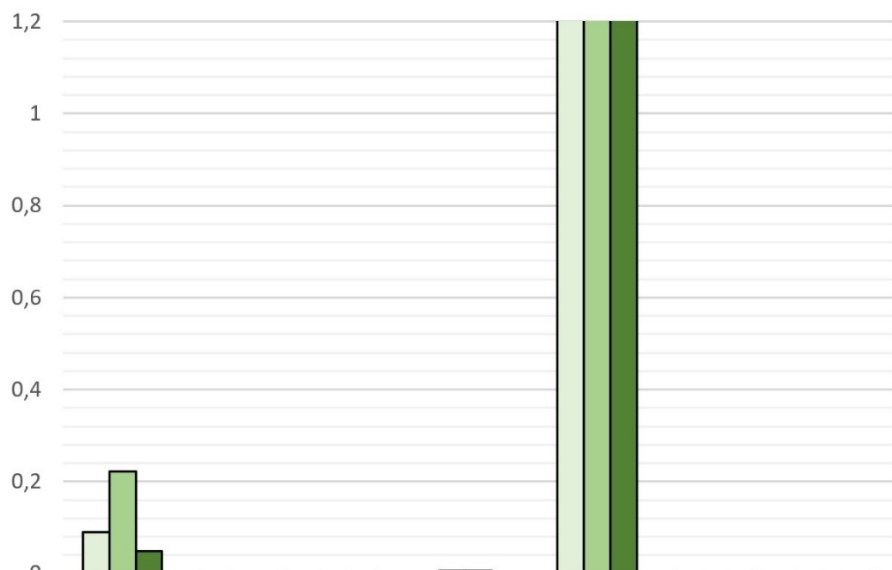
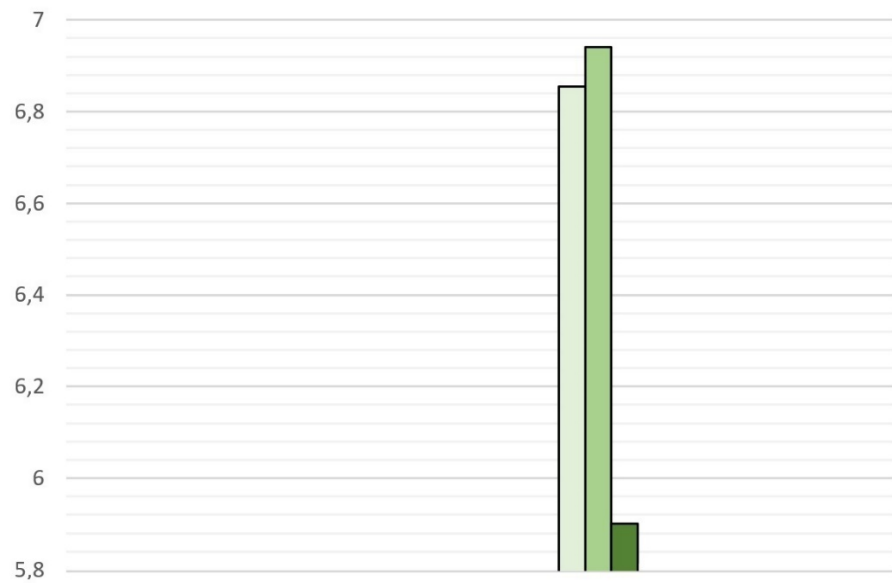
Vesikiertoista radiaattorilämmitystä sekä lattialämmitystä vertaillen suurin ero nähdään valmistusvaiheessa, mikä johtuu pääosin järjestelmässä käytettävästä teräksestä. Lämmitysverkoston sekä radiaattoreiden massa on merkittävä. Vesikiertoinen lattialämmitysjärjestelmässä verkosto on komposiittiputkea sekä lämmityspiirit ovat PEX-putkea, joten järjestelmän massa on huomattavasti pienempi. Energiankulutuksessa ei merkittävää eroa nähdä. Radiaattorilämmitysjärjestelmän lämmitysverkoston korkeammalla lämpötilalla ei kuitenkaan tulosten perusteella ole merkittävää vaikutusta energiankulutukseen. Tosin radiaattoreiden parempi lämmönjaon hyötysuhde voi pienentää energiankulutusta juuri sen verran, ettei korkeampi verkoston lämpötila näy

tuloksissa. Vaihe B4 jää suhteellisen pieneksi, koska järjestelmät kestävät pääosin arviointijakson loppuun saakka. Vaihdeettavia osia kuitenkin ovat venttiilit sekä lämmönjakokeskus osineen.

Tuloksia tarkastellessa huomataan sähköisen lattialämmitysjärjestelmän olevan elinkaaren päästöjen jokaisen osa-alueen osalta pienempi. Sähköiset lattialämmitysmatot sekä lämmittimet ovat massaltaan pienemmät kuin vesikiertoiset järjestelmät. Lämmöntuotannon hyötysuhde on hyvä, ja järjestelmä on nopeampi reagoimaan lämpötilan muutokseen. Hiilijalanjäljen näkökulmasta sähköinen lattialämmitys on kaukolämpöjärjestelmään verrattuna parempi ratkaisu, jos lämmityskustannuksia ei oteta huomioon. Kaukolämmön ympäristövaikutukset ovat elinkaariarviointiohjelman mukaan hieman suuremmat kuin sähköllä. Arvioinnissa kaukolämmön sekä sähkön suhteen on käytetty co2data -päästötietokannan tietoja, jotka muodostuvat Suomen laskennallisista keskiarvoista, joten todellisuudessa lämmöntuotantotavalla sekä paikkakunnalla voi olla merkitystä tuloksiin.

Kuitenkin vaikka sähkölämmityksellisen version hiilijalanjälki on matalin, on vesikiertoisissa järjestelmissä silti suurempi potentiaali pienentää hiilijalanjälkeä vielä sähkölämmitystä matalammalle tasolle hyödyntäen vesikiertoista lämmönjakoa sekä lämpöpumppujärjestelmiä. Esimerkiksi maalämpöjärjestelmällä sekä vesikiertoisella lattialämmitysjärjestelmällä olisi energiankulutusta sekä hiilijalanjälkeä mahdollista pienentää, mikäli maaperä sallii porakaivon tekemisen. Kaukolämpöisessä järjestelmässä lämmitysverkoston lämpötilan erolla ei juurikaan ole vaikutusta energiankulutuksen suhteen vesikiertoisen lattialämmityksen sekä radiaattorilämmityksen välillä. Lämmitysverkostossa matalan lämpötilan hyödyt voisivat tulla paremmin esille lämpöpumppujärjestelmässä. Matalampaa verkoston lämpötilaa käyttäessä lämpöpumppujärjestelmällä tuotetun lämmön hyötysuhde on korkeampi.

Talotekniikan hiilijalanjälki kgCO₂e/m²/a



	A1-A3 Valmistus	A4 Kuljetus työmaalle	A5 Työmaahä vikki	B4 Rakennuso sien vaihto	B6 Energian käyttö	C2 Jätteenkäsi ttely	C4 Loppusijoit us
□ Vesikiertoinen lattialämmitys	0,09	0,0005	0,0032	0,0057	6,855	0,0005	0,0019
■ Vesikiertoinen radiaattorilämmitys	0,2228	0,0007	0,0016	0,0059	6,941	0,0008	0,0022
■ Sähköinen lattialämmitys	0,0492	0,0001			5,9	0,0001	0,0004

Taulukko 6. Kohteen hiilijalanjälki moduuleittain.

5.1 Hiilikädenjälki

Kohteen hiilikädenjälki, eli hankkeen positiiviset ilmastovaikutukset vaihtelevat -0,0036 ja -0,07 kgCO₂e/m²/a välillä. Kohteen hiilikädenjälki muodostuu pääasiassa

materiaalien kierrätyksestä saatavasta potentiaalista korvata neitseellisiä materiaaleja elinkaaren lopussa. Hiilikädenjälki ei kuitenkaan vastaa täysin todellista, koska elinkaarivaiheissa 50 vuoden jälkeen rakennus käytännössä puretaan kokonaisuudessaan, vaikka käyttöiät eivät todellisuudessa välttämättä rajoitu vielä 50 vuoteen.

Vesikiertoisen lattialämmityksen hiilikädenjälki muodostuu lämmönjakokeskuksesta, radiattoreista sekä PEX-putkista saatavista kierrätettävistä materiaaleista. Kuitenkin saatavat hyödyt ovat suhteellisen marginaalisia. Vesikiertoisesta radiattorijärjestelmästä saatavat hyödyt ovat kuitenkin moninkertaiset. Kierrätyksestä saatavat hyödyt muodostuvat pääosin teräksisistä radiattoreista ja putkistoista.

Osio	Tuloskategoria	LL	PL	SLL	
D1	Uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä saatavat hyödyt	-0,0137	-0,07	-0,0036	kgCO ₂ e/m ² /a
D3	Ylijäävä energia				kgCO ₂ e/m ² /a
D4	Hiilivarasto, biogeeninen				kgCO ₂ e/m ² /a
D5	Sementtipohjaisten tuotteiden hiilinielut				kgCO ₂ e/m ² /a
D	Hiilikädenjälki yhteensä	-0,0137	-0,07	-0,0036	kgCO₂e/m²/a

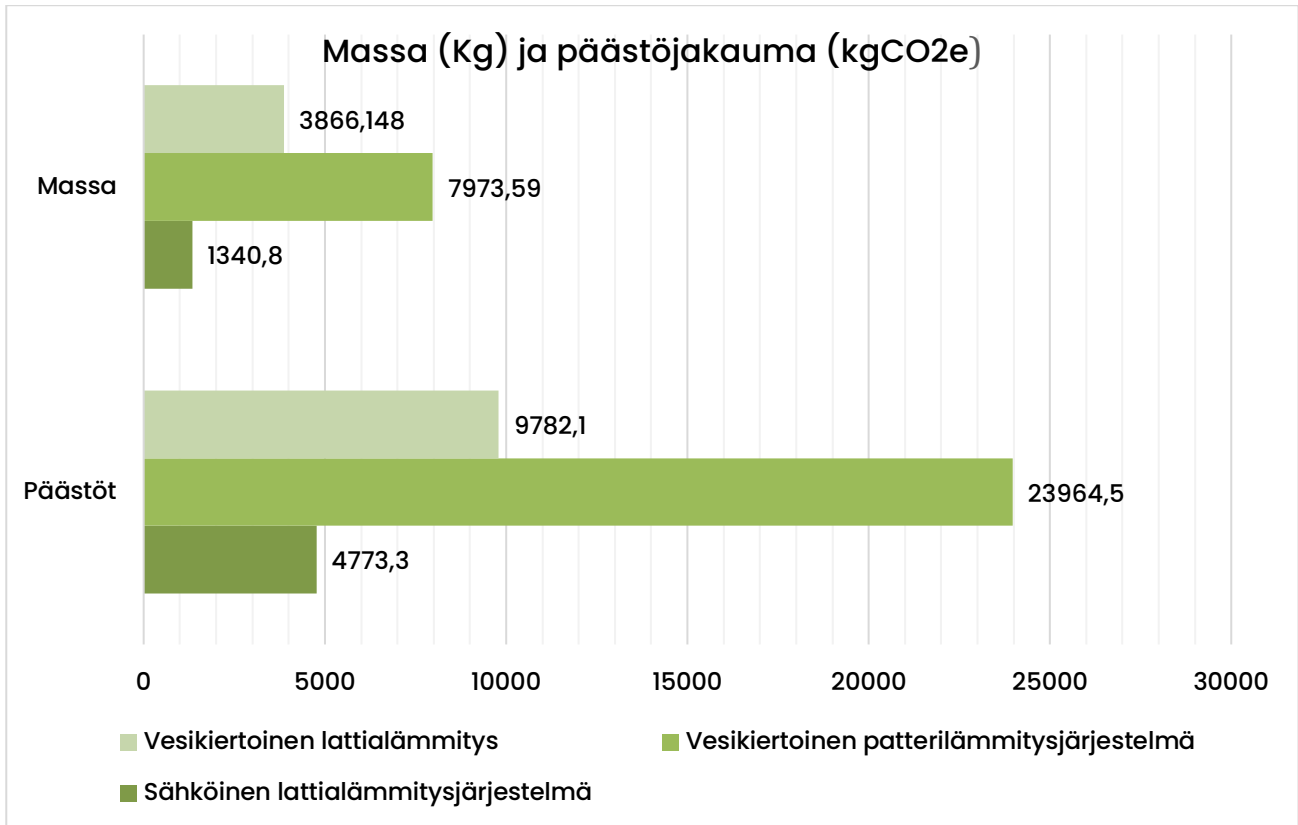
Taulukko 7. Kohteen hiilikädenjälki.

5.2 Talotekniikan massan ja päästöjen vertailu

Taulukkoa 8 tarkastellessa huomataan vesikiertoisen radiattorilämmitysjärjestelmän olevan massaltaan merkittävästi suurempi johtuen järjestelmässä käytettävästä teräksestä. Vesikiertoisten radiattoreiden paino on jo itsessään 3450kg eli lähes puolet koko lämmitysjärjestelmästä sekä lisäksi teräksinen putkisto painaa 2357kg. Ero on merkittävä, mikäli massaa verrataan lattialämmityspiireihin sekä lattialämmitysverkoston, joiden yhteen laskettu massa on vain 1380kg. Vesikiertoisessa lattialämmitysjärjestelmässä on kuitenkin muutama vesikiertoinen radiattori, mutta niiden yhteispaino on vain 580kg. Vesikiertoisissa järjestelmissä lämmönjakokeskuksen painoksi on asetettu 200kg, johon kuuluu kaikki lämmönkehityslaitteistoon tarvittavat osat. Vesikiertoisten järjestelmien massan sekä päästöjen suhde on hyvin samaa luokkaa eli noin 2,5 – 3 kertaiset. Sähköjärjestelmien osalta nähdään, että päästöt ovat noin 3,5 kertaiset massaan nähden.

Sähköisen lämmitysjärjestelmän massassa ei oteta huomioon jakelujärjestelmiä tai keskuksia. Vaikka jakelujärjestelmät olisivat huomioitu, silti järjestelmän massa pysyisi suhteellisen matalana, koska lämmitysjärjestelmän sähköistys kulkee samoja reittejä pitkin ja käyttää samoja ryhmäkeskuksia sähköjärjestelmän kanssa. Sähköjärjestelmän

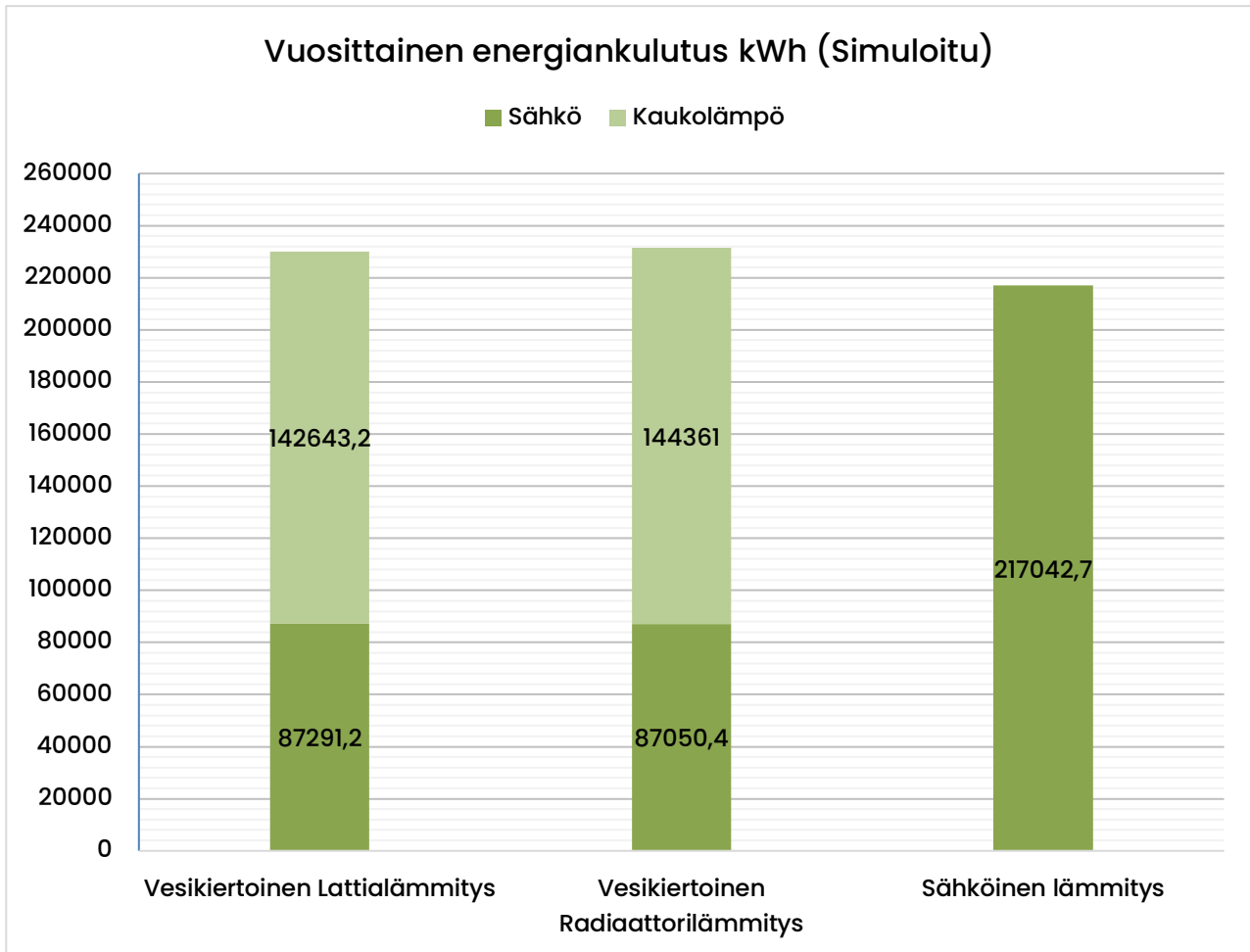
ja sähköisen lämmitysjärjestelmän erottelu sekä massa laskenta on hankalaa, joten sähköjakelujärjestelmät ovat rajattu pois.



Taulukko 8. Lämmitysjärjestelmien massan ja päästöjen jakauma.

5.3 Energiasimuloinnin tulosten vertailu

Taulukkoa 9 tarkastellessa huomataan sähköisen järjestelmän energiankulutuksen olevan muihin nähden hieman matalampi. Vesikiertoisen lattia- sekä radiaattorilämmityksen välillä ei juurikaan nähdä eroa. Radiaattorilämmityksen lämmitysverkoston lämpötila on hieman lattialämmityksen verkostoa korkeampi, mutta kuitenkin radiaattoreiden lämmönjaon hyötysuhde sekä reagointikyky on teoriassa korkeampi kuin lattialämmityksen, mikä tasoittaa tuloksia. Sähköisessä lämmityksessä on paras reagointikyky lämpötilan muutoksiin, mikä näkyy tuloksissa. Sähköinen lattialämmitysmatto voidaan asentaa lähemmäs lattianpintaa, mikä mahdollistaa paremman lämmönjaon hyötysuhteen.



Taulukko 9. Vuosittainen energiankulutus (IDA ICE).

5.4 Kriittinen tarkastelu ja parannusehdotukset

Määrälaskenta on kohteessa tehty osittain automatisoidusti tulostamalla tietomallista määräluettelo ja osittain pdf-dokumenttien perusteella manuaalisesti sekä itse tehtyjen suunnitelmien perusteella. Arvioinnissa on pyritty korkeaan tarkkuuteen, mutta tulee huomioida, että monessa vaiheessa tietoja käsitellään käsin, jolloin virheen mahdollisuus on aina olemassa. Nykyisellään hiilijalanjäljen laskenta vaatiikin vielä paljon työtä ja eri lähteistä tietojen yhdistelyä. Myöskään tuotteiden tai osien tarkkoja tuotetietoja ei välttämättä vielä suunnitteluvaiheessa tiedetä. Optimitilanteessa päästöt tulisi laskea jo suoraan rakennuksen tietomallin avulla jopa jo suunnittelu- tai mallinnusohjelmassa, jolloin ohjelma tietäisi kaikkien taloteknisten osien määrät ja menokit sekä yhdistäisi ne päästötietoon. Tällaisia vähähiilisyyden arviointimenetelmän kanssa yhteensopivia työkaluja on vielä rajallisesti, ja tällainen menettely vaatisi todennäköisesti ohjelmointia. Lisäksi mallista laskeminen vaatisi tietomallilta korkeampaa tarkkuutta.

Tuloksia tarkastellessa tuli ilmi, ettei kaukolämpöjärjestelmässä verkoston lämpötilalla ole juurikaan merkitystä, kun kyse on suhteellisen alhaisista lämpötiloista. Radiatorisekä lattialämmitysjärjestelmän menoveden lämpötilaero on vain 10°C. Kuitenkin

vertailun arvoisia tuloksia voitaisiin saada aikaan, jos lämmöntuotantotapana toimisi esimerkiksi maalämpö. Maalämpöjärjestelmän lisäyksellä olisi saanut mielenkiintoista lisäarvoa työhön sekä vaikutusta energiankulukseen.

Lähteet

- [1] Ympäristöministeriö. (2021). Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2021.
<https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/DownloadProposalAttachment?attachmentId=15860>.
- [2] Syke. (2021). Rakentamisen päästötietokanta. <https://co2data.fi/>.

Liitteet

Liite 1. Laskennassa huomioidut talotekniikan järjestelmät ja niiden osat. Listaus on LVI2010 nimikkeistön mukainen.

Rakennusosa	Sisältyy laskentaan	Tekninen käyttöikä	Kommentit
Lämmitysjärjestelmä			
2111 Keskusosat			
Alakeskukset	EI		
Siirtimet	KYLLÄ	25	
Lämpömäärän mittauslaitteistot	EI		
Kattilalaitteistot	EI		
Polttoaineiden varastointi-, siirto, syöttö ja poltinlaitteistot	EI		
Palamisilmalaitteistot	EI		
Savupiiput ja savukaasun puhdistimet	EI		
Maa- ja ilmalämpöpumppulaitteistot	EI		
Aurinkolämpölaitteistot	EI		
Hyödykkeiden pumput	EI		
Tuloilmalaitteistot	EI		
Varaajasäiliöt	EI		
Muut lämmitysjärjestelmien keskusosat	KYLLÄ	25	Lämmönjakokeskuksen osat
2112 Siirto-osat			
Lämmitys- ja ilmanvaihtoverkostot	KYLLÄ	50	Sis. Kannakkeet, eristeet...
Liuosputkistot	EI		
Ilmakanavat	EI		
Muut lämmitysjärjestelmien siirto-osat	KYLLÄ	50	Verkoston osat ja komponentit
2113 Pääteosat			
Lämmityspatterit	KYLLÄ	50	
Säteilylämmittimet	EI		
Lattialämmitysputkistot	KYLLÄ	50	
Kiertoilmalämmittimet	EI		
Tuloilmalämmittimet	EI		
Jälkilämmittimet	EI		
Tilakohtaiset lämmityslaitteistot	EI		
Muut lämmitysjärjestelmien pääteosat	EI		
2114 Alueosat	EI		
Kauko- ja aluelämpöverkostot	EI		
Lämpökeskukset	EI		

Savupiiput	EI		
Polttoaineiden varastot	EI		
Aurinko-, lämpöpumppu- ja yhdistelmä- lämmitysjärjestelmien laitteistot	EI		
Lämmön varastointilaitteistot	EI		
Putkistot	EI		
Alueen sulanapitoputkistot	EI		
Muut lämmitysjärjestelmien alue- laitteistot	EI		
Vesi- ja viemärijärjestelmät	EI		
Ilmastointijärjestelmät	EI		
Jäähdytysjärjestelmät	EI		
Palontorjuntajärjestelmät	EI		
S Sähköenergian jakelu ja käyttö- järjestelmät			
S1 Asennus- ja apujärjestelmät	EI		
S2 Sähkönjakelu ja siihen liitetyt kuormitukset			
S21 Sähköenergia tuotanto ja liittäminen	EI		
S22 Sähköenergian pääjakelu	EI		
S23 Laitteiden ja laitteistojen sähköistys	EI		
S24 Sähköliitännäjärjestelmät	EI		
S25 Valaistusjärjestelmät	EI		
S26 Sähkölämmitysjärjestelmät			
S261 Rakennuksen sähkölämmitys- järjestelmä	KYLLÄ	50	
S262 Lattialämmitykset	KYLLÄ	50	
S263 Sähkölämmitteiset ikkunat	EI		
S264 Sadevesijärjestelmien lämmitykset	EI		

Liite 2. Käytetyt tietolähteet

4/3/23, 9:54 AM

One Click LCA - LCA Made Easy

Lähteet

Tietolähde	Tekniset ominaisuudet	Tuote	Valmistaja	EPD-ohjelma	EPD:n numero	Tietolähde	Standardi	Verifiointi	Vuosi	Maa	Päästötietokanta
Brass component				OKOBAUDAT	-	Oekobau.dat 2017-1	EN15804+A1	Kolmannen osapuolen verifiointi (ISO 14025 mukainen)	2016	europa	GaBi
Externally calculated carbon emissions				-	-	Direct input manufacturer carbon data factor	-		2020	LOCAL	-
Kaukolämpö, Suomi, hyödynjakomenetelmä (2022-2071, 50v käyttöikä)				CO2data		SYKE, CO2data.fi, conservative values	EN15804+A1	Sisäisesti verifioidut	2022	finland	-
Lämmönjakokeskus	per 1kW			One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1	Sisäisesti verifioidut	2019	LOCAL	ecoinvent
Lämpöpatteri	per 1kW / unit			One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1	Sisäisesti verifioidut	2019	LOCAL	ecoinvent
PEX pipes for heating systems	Diameter: 14-25 mm	Comfort Pipe Plus	Uponor Corporation	RTS	RTS_174_22	EPD UPONOR COMFORT PIPE PLUS DIAMETER RANGE 14-25 MM UPONOR CORPORATION	EN15804+A1, EN15804+A2	Kolmannen osapuolen verifiointi (ISO 14025 mukainen)	2022	sweden, OCLEPD	ecoinvent
Rock wool insulation, un-faced	L=0.037 W/mK, 70-120 kg/m3, avg. weight 93 kg/m3, Lambda=0.037 W/(m.K)		PAROC OY AB	-	-	EPD 1 m³ stone wool, product group with density 70-120 kg/m³, average 93 kg/m³.	EN15804+A1	Kolmannen osapuolen verifiointi (ISO 14025 mukainen)	2019	finland	GaBi
Teräs, kuumasinkitty			Ruukki	-	-	Hot-dip galvanized steel products, Ruukki 2014	EN15804+A1	Kolmannen osapuolen verifiointi (ISO 14025 mukainen)	2014	finland	GaBi
Teräs, maalattu			Ruukki	-	-	Painted building products, Ruukki 2014	EN15804+A1	Kolmannen osapuolen verifiointi (ISO 14025 mukainen)	2014	finland	GaBi
Verkkosähkö, Suomi, hyödynjakomenetelmä (2022-2071, 50v käyttöikä)				CO2data		SYKE, CO2data.fi, conservative values	EN15804+A1	Sisäisesti verifioidut	2022	finland	-

One Click LCA © copyright One Click LCA LTD | Version: 0.12.1, Database version: 7.6
Backend param handling took: 0.3s, GSP param handling took: 0.2s, Dom ready: 0.6s, Window loaded: 0.2s, Overall: 1.3s.

Lähteet

Tietolähde	Tekniset ominaisuudet	Tuote	Valmistaja	EPD-ohjelma	EPD:n numero	Tietolähde	Standardi	Verifiointi	Vuosi	Maa	Päästötietokanta
Brass component				OKOBAUDAT	-	Oekobau.dat 2017-1	EN15804+A1	Kolmannen osapuolen verifoima (ISO 14025 mukainen)	2016	europa	GaBi
Externally calculated carbon emissions				-	-	Direct input manufacturer carbon data factor	-		2020	LOCAL	-
Kaukolämpö, Suomi, hyödynjakomenetelmä (2022-2071, 50v käyttöikä)				CO2data		SYKE, CO2data.fi, conservative values	EN15804+A1	Sisäisesti verifoidut	2022	finland	-
Lämmönjakokeskus	per 1kW			One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1	Sisäisesti verifoidut	2019	LOCAL	ecoinvent
PEX pipes for heating systems	Diameter: 14-25 mm	Comfort Pipe Plus	Uponor Corporation	RTS	RTS_174_22	EPD UPONOR COMFORT PIPE PLUS DIAMETER RANGE 14-25 MM UPONOR CORPORATION	EN15804+A1, EN15804+A2	Kolmannen osapuolen verifoima (ISO 14025 mukainen)	2022	sweden, OCLEPD	ecoinvent
Rock wool insulation, unfaced	L=0.037 W/mK, 70-120 kg/m ³ , avg. weight 93 kg/m ³ , Lambda=0.037 W/(m.K)		PAROC OY AB	-	-	EPD 1 m ² stone wool, product group with density 70-120 kg/m ³ , average 93 kg/m ³ .	EN15804+A1	Kolmannen osapuolen verifoima (ISO 14025 mukainen)	2019	finland	GaBi
Steel pipe				OKOBAUDAT	-	Oekobau.dat 2022	EN15804+A1	Kolmannen osapuolen verifoima (ISO 14025 mukainen)	2020	germany	GaBi
Teras, kuumasinkitty			Ruukki	-	-	Hot-dip galvanized steel products, Ruukki 2014	EN15804+A1	Kolmannen osapuolen verifoima (ISO 14025 mukainen)	2014	finland	GaBi
Teras, maalattu			Ruukki	-	-	Painted building products, Ruukki 2014	EN15804+A1	Kolmannen osapuolen verifoima (ISO 14025 mukainen)	2014	finland	GaBi
Verkkosähkö, Suomi, hyödynjakomenetelmä (2022-2071, 50v käyttöikä)				CO2data		SYKE, CO2data.fi, conservative values	EN15804+A1	Sisäisesti verifoidut	2022	finland	-
Vesikiertoinen patteri	60 cm x 100 cm x 10.2 cm, 33 kg/unit			CO2data	-	SYKE, CO2data.fi, conservative values, version 1.00.003, 2021-08-23	EN15804+A1	Sisäisesti verifoidut	2020	finland	-

4/3/23, 10:03 AM

One Click LCA - LCA Made Easy

Lähteet

Tietolähde	Tekniset ominaisuudet	Tuote	Valmistaja	EPD-ohjelma	EPD:n numero	Tietolähde	Standardi	Verifiointi	Vuosi	Maa	Päästötietokanta	Tiheys	Tuoteryhmä (PCR)
Sähkökaapeli, matalajännite	per meter, 9 mm dia, 0.13 kg/m			CO2data	-	SYKE, CO2data.fi, conservative values, version 1.00.003, 2021-08-23	EN15804+A1	Sisäisesti verifioidut	2020	finland	-		-
Sähkölämmittimet	per 1kW / unit			One Click LCA	-	One Click LCA	EN15804+A1	Sisäisesti verifioidut	2019	LOCAL	ecoinvent		EN15804+
Verkkosähkö, Suomi, hyödynjakomenetelmä (2022-2071, 50v käyttöikä)				CO2data		SYKE, CO2data.fi, conservative values	EN15804+A1	Sisäisesti verifioidut	2022	finland	-		

One Click LCA © copyright One Click LCA LTD | Version: 0.12.1, Database version: 7.6
 Backend param handling took: 0.1s, GSP param handling took: 0.2s, Dom ready: 0.3s, Window loaded: 0.2s, Overall: 0.8s.