

PIENTALON ELINKAARIARVIOINTI ONE CLICK LCA - OHJELMISTOLLA

Pinola Sanna

Opinnäytetyö
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)
2022

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Sanna Pinola	Vuosi	2022
Ohjaaja(t)	Mikko Vatanen		
Toimeksiantaja	Toimeksiantajan nimi		
Työn nimi	Pientalon elinkaariarviointi One Click LCA -ohjelmistolla		
Sivu- ja liitesivumäärä	47 + 0		

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia kolmea täysin toisistaan poikkeavaa pientalokonseptia ja niiden elinkaarivaikutuksia. Ajatuksena on perehtyä elinkaariarviointien suorittamiseen, rakennuksen hiilijalanjäljen laskentaan sekä materiaalien kiertotalouden periaatteisiin.

Tuloksia vertailtiin rakennuksen materiaalien, ympäristövaikutusten ja elinkaaren energiatehokkuuden näkökulmasta rakennushankkeen kestävyys.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli auttaa lukijaa ymmärtämään, mitä rakennuksen hiilijalanjälki tarkoittaa ja millainen merkitys materiaalivalinnoilla on rakennuksen koko elinkaareen sekä mitä elinkaari käsitteellä tarkoitetaan. Työn kautta tarkasteltiin, millaisia elinkaarivaikutuksia on puurunkoisen, betonirunkoisen ja hirsirunkoisen pientalon välillä. Lisäksi tarkastelussa huomioidaan lämmön lähde ja arvioidaan energian kulutusta hyödyntäen One Click LCA -ohjelmistoa.

Tarkasteluissa todettiin konseptin 3, joka on hirsirunkoinen ja maalämmöllä varustettu pientalo olevan koko elinkaaren kannalta järkevin vaihtoehto. Tätä konseptia tarkastellaan opinnäytetyössä syvemmin sekä lisäksi perehdytään hirsirakentamisen ja maalämmön toimintaperiaatteisiin ja elinkaareen.

Avainsanat

Elinkaari, hiilijalanjälki, hiilikädenjälki, ilmastonmuutos, energiatehokkuus, hirsirakentaminen, maalämpö

Degree Programme in Civil
Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Sanna Pinola	Year	2022
Supervisor	Mikko Vatanen		
Commissioned by	Name of the Commissioner		
Subject of thesis	Life Cycle Assessment of Small Residential Buildings by Using LCA -software		
Number of pages	47 + 0		

The purpose of this thesis was to research the three small housing concepts differing from each other radically, and to look into their life cycle impacts. The main goals were to dive into the principles of the circular economy, performing life cycle evaluations and calculating structure's carbon footprints.

The thesis study looked into the life cycle impacts of small housing concepts depending on whether are built by using wooden, concrete or log frames. In addition to the differing framing solutions the source of heat was taken into consideration. Energy consumption was evaluated by using the "One Click LCA"- software program. The results were compared to the structure's materials, environmental impacts and the life cycle of energy efficiency, which gives insights on the sustainability of the construction project.

The research showed that the most reasonable option regarding the whole structure's life cycle is the Concept 3, which is the log framed small housing concept using geothermal heat. This concept was studied in the study more profoundly. Also, the principles of using geothermal heat, construction using logs as the main material and the structure's overall life cycle were reviewed. The thesis benefits the reader by helping them to understand what structure's carbon footprint stands for and what is the importance of material selection regarding the structure's life cycle.

Key words Life cycle, carbon footprint, carbon handprint, climate change, energy efficient, log construction, geothermal heat.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	RAKENTAMISEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	8
2.1	Rakentamisen laadun luokitusjärjestelmät	9
2.2	Rakennuksien elinkaarivaikutukset	10
2.3	Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen arviointi	13
2.4	Hiilineutraalisuutta kuvaavat käsitteet	13
3	ELINKAARILASKENTA JA RAKENNUSMATERIAALIT	14
3.1	Rakentamisen materiaalitehokkuus ja sen ohjaus	14
3.2	Puu rakennusmateriaalina elinkaarilaskennassa	15
3.3	Rakennusmateriaalien elinkaari	15
4	KONSEPTISSA KOLME KÄYTETTY LASKENTATEKIJÄT	16
4.1	Runkorakenteena hirsi	16
4.1.1	Hirsipintojen kestävyys	17
4.1.2	Hirsirakenteiden energiatehokkuus	17
4.1.3	Hirsirakentaminen Suomessa	18
4.1.4	Hirsirakennuksen kestävä kehitys ja elinkaari	19
4.2	Maalämpö energiamuotona	20
4.2.1	Maalämmön toimintaperiaate	20
4.2.2	Maalämmön energiatehokkuus	21
4.2.3	Maalämmön elinkaari	22
4.2.4	Ajankohtaista maalämmöstä	22
5	OPINNÄYTETYÖSSÄ KÄYTETTY ONE CLICK LCA -OHJELMISTO	24
5.1	Rakennusprojektin elinkaarilaskenta One Click LCA -ohjelmistolla	24
5.2	Rakennuskonseptien laskentatietojen määrittelyt	25
6	KONSEPTIEN VERTAILU	26
6.1	Tilan jako-osat ja tilapinnat	26
6.2	Elementit ja elinkaarivaiheet	27
6.3	Suunnitteluvaihe	27
6.4	Kokonaiskuva	28
6.5	Energia	29
6.6	Materiaalien elinkaaripäästöjen vertailuarvoja	30

Koulutusalan nimi
Koulutusala
Koulutus

6.7	Sähkön käyttö	33
6.8	GWP ja BIO-CO2 varasto	34
6.9	Konsepti 3 tarkempi tarkastelu kiertotalouden näkökulmasta	36
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	42
8	POHDINTA	44
	LÄHTEET	45

1 JOHDANTO

Tämän päivän rakentamisessa on kiinnitettävä huomiota rakennusprojektien aiheuttamiin ympäristökuormituksiin. Elinkaariarviointi onkin kehitetty kuvaamaan näitä kuormitustekijöitä ja tätä mallia käyttämällä voidaan arvioida koko rakennusprojektin elinkaaren kokonaisvaikutuksia.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia kolmea täysin toisistaan poikkeavaa pientalokonseptia ja niiden elinkaarivaikutuksia. Lisäksi perehtyä elinkaariarviointien suorittamiseen, rakennuksen hiilijalanjäljen laskentaan sekä materiaalien kiertotalouteen. Tuloksia vertaillaan rakennuksen materiaalien, ympäristövaikutusten ja elinkaaren energiatehokkuuden näkökulmasta rakennushankkeen kestävyys-teen. Lisäksi huomioidaan rakenteiden ympäristövaikutukset, materiaalien kiertotalous ja hiilijalanjälki.

Opinnäytetyön ajatuksena on avata lukijalle mitä rakennuksen elinkaari - käsitteellä tarkoitetaan ja millainen merkitys materiaalivalinnoilla on rakennuksen koko elinkaareen.

Opinnäytetyössä tarkastellaan, millaisia elinkaarivaikutuksia on puurunkoisen, betonirunkoisen ja hirsirunkoisen pientalon välillä. Lisäksi tarkastelussa huomioidaan lämmönlähde ja arvioidaan energian kulutusta hyödyntäen Bionova Oy:n One Click LCA -ohjelmistoa.

Lämmitysjärjestelmät, joita vertailuun valittiin, ovat sähkölämmitys, kauko- ja maalämpö. Ohjelmistolla pystyttiin vertaamaan rakennuksen hiilijalanjälkeä ja materiaalien kiertotaloutta sekä erilaisia rakenne- ja lämmitysvaihtoehtoja pientalojen elinkaarien välillä.

Työssä tarkastellaan sitoutuneen hiilen määrää eri rakenneosissa, kuljetuksissa, osienvaihdossa sekä muita ulkoisia vaikutuksia. Tilan jako-osat ja tilapinnat ovat samankaltaisia päästöjen suhteen. Tilojen jako-osilla tarkoitetaan huoneiden samankaltaista järjestystä kohteessa. Tilapinnoilla tarkoitetaan rakennusmateriaaleja, joita kohteissa on käytetty.

Pientalokonsepteista laskettujen materiaalien, ympäristövaikutusten ja energia-
tehokkuuden avulla saadaan tuloksia, jotka vaikuttavat koko rakennushankkeen
elinkaarikestävyyteen, rakennusmateriaalien valmistuksesta elinkaaren loppuun
asti.

Lisäksi valittiin yksi konsepti, jota tarkasteltiin tarkemmin kiertotalouden kannalta.
Tarkasteluissa todettiin konseptin 3 olevan koko elinkaaren kannalta järkevin
vaihtoehto, siksi tämä konsepti valikoitui syvemmin tarkasteltavaksi kohteeksi.
Konsepti on hirsirunkoinen ja maalämmöllä varustettu pientalo. Syvennymme
mm. uudelleen käytettäviin materiaaleihin, palautuviin- ja keskeisiin materiaalei-
hin, elinkaarinäkymään, kokonaisvaikutusten resursseihin sekä elinkaaren eri
vaiheisiin. Tätä konseptia tarkastellaan opinnäytetyössä laajemmin myös hirsira-
kentamisen ja maalämmön ominaisuuksien näkökulmasta ja niihin liittyvistä elin-
kaari asioista sekä ajankohtaisista aiheista.

Valitsin tämän aiheen opinnäytetyöhöni, koska hiilineutraalisuus ja ilmastonmuu-
toksen torjumiseen liittyvät asiat ovat mielestäni tärkeitä ja kiinnostavia, mutta
myös ajankohtaisia asioita.

2 RAKENTAMISEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Rakennetun ympäristön kehittämisellä on merkitystä, sillä se aiheuttaa kolmannuksen hiilidioksidipäästöistä.

Suomessa kaikesta kulutetusta energiasta lähes 40 % kuluu rakennetun ympäristön rakentamiseen. Tiedetään myös, että Suomessa käytettävistä raaka-aineista 30 % hyödynnetään rakennetuissa ympäristöissä. Lisäksi kaikesta Suomen alueella muodostuvasta kiinteästä jätteestä 40 % syntyy rakennettujen ympäristöjen seurauksena. Rakennettu ympäristö tuottaa myös paikoittain merkittäviä paikallisia päästöjä, jonka myötä ekologinen jalanjälki on suuri. (Poikajärvi 2018, 43.)

Kestävää kehitystä tulee arvioida useammasta näkökulmasta. Näitä ovat mm. taloudellinen-, sosiaalinen-, kulttuurinen- ja ekologinen näkökulma. (Rakennusteollisuus, c.)

Jotta kestävästä rakentamisesta sekä ympäristövaikutuksia voitaisiin luotettavasti arvioida, menetelmien on oltava selkeitä ja avoimia. Lisäksi rakennuskokonaisuutta tarkasteltaessa on rakennusprojektin sijasta huomioitava koko elinkaari. (Rakennustieto 2017, 5.)

Kestävään rakentamiseen on luotu eurooppalaiset standardit. Standardiperhe sisältää standardit rakennustason koko elinkaaren kattavaan arviointiin kuin myös rakennustuotteiden tuottamiseen. Standardit ovat yhteisiä sääntöjä, niiden avulla pystytään tuottamaan neutraalia tietoa kestävästä rakentamisesta. Standardit vastaavat myös EU-tason säädöshankkeiden tarpeisiin.

”Euroopan komission resurssitehokkuuden lippulaivahankkeen mukaan rakentamisessa kuuluu varmistaa energiatehokkuuden parantaminen, materiaalitehokkuuden tehostaminen - jätteen synnyn vähentäminen, uusiokäytön ja kierrätyksen osalta - sekä rakentamisen ratkaisujen pitkäikäisyys ja kestävyys. Näiden todentaminen vaatii taakseen läpinäkyvät arviointi- ja laskentamenetelmät.” (Rakenneteollisuus, h.)

EU:n rakennustuoteasetus sisältää jatkossakin vaatimuksia tuottaa laajempaa tietoa ympäristövaikutuksista. Asetuksesta löytyy myös perusvaatimus, joka käsittelee luonnonvarojen kestäväää käyttöä. Vaatimuksiin sisältyy rakennustuotteiden kestävyys, kierrätettävyyys, ympäristöystävällisten raaka-aineiden käyttö sekä teollisuuden sivutuotteiden hyötykäyttö. EU:n jätedirektiivin pohjalta on edistetty ja arvioitu jätelain kokonaisuudistuksessa nämä asiat. (Rakenneteollisuus, h.)

Ympäristöluokituksilla voidaan vertailla kiinteistöjä. Sijoittajien, viranomaisten ja tilojen käyttäjien on helpompi verrata energiatehokkuutta kiinteistöjen välillä.

”Luokitusten avulla rakennuksen toimintaympäristöön perustuvaa suorituskkyä voidaan osoittaa läpinäkyvästi ja ottaa huomioon rakennuksen elinkaarivaatimukset. Rakennuksia arvioidaan eri kategorioihin jaettujen osa-alueiden mukaan. Kategoriat vaihtelevat eri luokitustavoissa. Arvioitavat kategoriat sisältävät indikaattoreita, joille on asetettu raja-arvoja perustuen joko kansallisiin tai kansainvälisiin säännöstöihin. Kohteen kokonaisarvosana muodostuu erilaisten painotuskerrointen mukaan.” (Rakenneteollisuus, g.)

Elinkaarimittareiden tarkoituksena on auttaa huomioimaan rakennuksen ympäristö- ja energiatehokkuus, elinkaaritalous ja käyttäjien hyvinvointi. Tunnuslukujen avulla Green Building Council Finland -elinkaarimittarit kuvaavat todellista suorituskkyä.

Nämä mittarit on luotu kiinteistö- ja rakennusalojen avuksi yhtenäistämään ympäristötehokkuuden ja kestäväen kehityksen mukaisten toimintatapojen arviointia. (Green Building Council Finland ry, b.)

2.1 Rakentamisen laadun luokitusjärjestelmät

Maailmalla käytössä on lukuisia eri luokitusjärjestelmiä. Suomessa RTS-ympäristöluokitus on yleisin. Kansainvälisesti yleisimpiä ovat BREEAM ja LEED. Joihinkin osa-alueisiin on kuitenkin omat arviointityökalut kuten EU:n alueella energiatodistus ja Suomessa esim. sisäilmaluokitus ja taloyhtiön kuntotodistus.

RTS- ympäristöluokitus on tarkoitettu Suomessa oleville rakennushankkeiden tilaajille. Tilaaja voi toteuttaa ympäristövastuullista rakentamista tämän avulla.

BREEAM on englantilainen ekotehokkaiden kiinteistöjen luokitusjärjestelmä. Järjestelmä tarkastelee mm. energian- ja vedenkulutusta, käytettyjä materiaaleja, maankäyttöä sekä liikennettä. LEED on yhdysvaltalainen kansainvälisesti vertailukelpoinen luokitusjärjestelmä. ”LEED-sertifiointi perustuu riippumattoman, kolmannen osapuolen tekemään arviointiin tilojen, rakennuksen tai rakennushankkeen ympäristöominaisuuksista. Saadakseen sertifioinnin rakennuksen tulee täyttää tietyt vähimmäisvaatimukset, jotka liittyvät muun muassa rakennuksen sijaintipaikan kestävyyteen sekä energian-, veden- ja materiaalien kulutukseen koko elinkaaren aikana”. (Rakennusteollisuus, e.)

Ympäristövaatimukset kasvavat jatkuvasti, sen tueksi on luotu lainsäädäntöohjeita. Esimerkiksi jätedirektiivi, ekosuunnitteludirektiivi, EU:n resurssitehokkuuden tiekartta, ilmastostrategiat ja nZEB-rakentaminen. (Vatanen, 20.)

Ikävä kyllä, asiat eivät mene aina ympäristö edellä. Kilpailu rakennusalaalla on kovaa, ekologisuus ja vähähiilisyys jää usein huomioimatta. Rakentamisvaiheessa usein hinta on ratkaiseva tekijä. Vähähiilisyyteen on onneksi kuitenkin alettu kiinnittämään enemmän huomiota. Toivotaan, että tulevaisuudessa saataisiin edistettyä hiilineutraalimpaa rakentamista, jotta ympäristö saataisiin pelastettua.

2.2 Rakennuksien elinkaarivaikutukset

Rakennuksen elinkaari on kestävänsä rakentamisen lähtökohta. Ympäristön ja kustannusten vaikutusta on tarkkailtava laajemmin koko rakennuksen elinkaaren ajanjaksolta. Rakennuksen rakentaminen on vain hyvin pieni osa koko elinkaarta ajatellen. Elinkaarella tarkoitetaan rakennuksen alkuvaiheessa tehtävistä maastöistä suunnitteluvaiheeseen, raaka-aineiden hankkimisesta rakentamisvaiheeseen, käyttövaiheen ja rakennuksen purkuun tulevan ajanjakson kokonaisuutta, pitäen sisällään vielä purkujätteiden lajittelun. (Rakennusteollisuus, e.)

Rakennuksen elinkaari käsittää useita eri vaiheita mm. raaka-aineiden oton, rakennustuotteiden valmistamisen, kuljetuksen, siirrot, rakentamisen, rakennuksen käytön ja sen ylläpidon, huollot sekä korjaukset, lopuksi rakennuksen purkamisen ja jätteiden uudelleen käytön sekä kierrätys-/loppusijoituspaikan.

Tilaaja määrittelee rakennukselle tavoitellun käyttöiän, jonka suunnittelija pyrkii ottamaan mahdollisimman hyvin huomioon. Suunnitteluvaiheessa päätetään merkittävimmät ympäristövaikutukset.

Rakentamisen ja suunnitteluvaiheen päätöksiä on vaikea tai hyvin kallista lähteä myöhemmin muuttamaan. Kustannuksia vertailtaessa ei voi keskittyä vain investointeihin, sillä elinkaaren aikana kertyvät kustannukset ovat hyvin oleellisia. Lisäksi pitää huomioida rakennuksen energiankulutus sekä ylläpito kokonaisuudessaan. Nämä asiat on huomioitava koko käyttöajalta, joka voi olla 50–150 vuoden pituinen riippuen kohteesta. Kustannuksia ja päästöjä saattaa kasvattaa rakennuksen teknisten ominaisuuksien parantaminen valmistusvaiheessa, mutta talon elinkaaren aikainen energiakulutus, ympäristökuormitus ja kustannukset voivat pienentyä merkittävästi. (Rakennusteollisuus, e.)

Elinkaaritekniikkaa sovellettaessa on syytä ottaa huomioon seuraavia asioita: Elinkaarikustannukset täytyy saada hallintaan. Energiatehokkuutta kannattaa vertailla energiatarpeen ja tehokuuden mukaan. Ympäristövaikutukset tulisi minimoida. Materiaalitehokkuutta voidaan muokata materiaalivalinnoilla. Pitkäaikaiskestävyys, käytettävyys ja terveellisyys on varmistettava jokaisessa käyttökohteessa erikseen. Kokonaisuutena elinkaaritekniikka on laaja käsite ja tarvittaessa siihen voidaan käyttää asiantuntijaa: esimerkiksi elinkaarisuunnittelijaa. (Vanhanen & Soimakallio 2013, 9.)

Elinkaarilaatu on myös merkittävä tekijä koko elinkaaren ajanjaksolle. Kestävä rakennus täyttää omistajien, käyttäjien ja yhteiskunnan vaatimukset. Sosiaaliset, taloudelliset, kulttuurilliset sekä ekologiset vaatimukset ovat elinkaarilaadun näkökulmia. (Vanhanen & Soimakallio 2013, 22.)

Tavoitteena on tasapainoinen kokonaisuus talouden, ilmaston, energian ja käyttäjien kanssa. Näitä voidaan puntaroida erilaisin menetelmin. Esimerkiksi E-luku kuvaa energiatehokkuutta. E-luku ei kuitenkaan kuvaa todellista energiankulutusta vaan se toimii tietyin säännöin määritettynä energiankäytön tunnuslukuna. Elinkaaren hiilijalanjälki kuvaa hiilidioksidipäästöjä, joiden seurauksena ilmasto lämpenee. Sen vuoksi on tärkeää tarkastella koko elinkaarta. (Green Building Council Finland, b.)

(A-G) energialuokat määräytyvät laskennallisen E-luvun perusteella. Laskelmassa huomioidaan rakennuksen ominaisuudet, mutta sähkön kulutusta tulee seurata eri tavalla. Näillä ei ole suoraa yhteyttä sähkön kulutukseen, koska taloissa vaihtelevat lämmönlähteet vaikuttavat sähkön kulutukseen eri tavoin. Laskennalliset kertoimet vaihtelevat eri lämmityslähteiden mukaan. Energiatodistuksesta kannattaakin katsoa yhteenveto rakennuksen energiatehokkuudesta. Siitä voidaan nähdä todellinen energiankulutus energialuokan sijasta. (Vattenfall.) Ympäristöministeriö on asettanut lain rakennuksen energiatodistuksesta, jonka mukaan energialuokka määritellään (Laki rakennuksen energiatodistuksesta 18.1.2013/50 1:1 §).

Elinkaarikustannusten laskenta kaikille yhteisellä tavalla mittaa taloudellista kestävyyttä. Elinkaarikustannuslaskennalla kuvataan sitä, mitä todellisuudessa kiinteistön omistaja maksaa elinkaaren aikana. Sisäilmaluokka on uudisrakennus- ja peruskorjaushankkeiden indikaattori, jolla voidaan asettaa tavoite sisäympäristölle.

Energiankulutusmittarilla voidaan mitata kiinteistössä käytettyjä muita kulutettuja kilowattitunteja. Käyttöhiilijalanjälki mittaa käyttäjän toimintaa rakennuksessa. Tyhjäkäyttöteholla kuvataan rakennuksen järjestelmien tehon tarvetta, silloin kun järjestelmät eivät tuota palveluita rakennuksen käyttäjille. Tämän tarkoitus on auttaa tunnistamaan tarpeetonta kulutusta rakennuksissa. (Green Building Council Finland, b.)

Level(s) on Euroopan komission laatima menetelmä rakentamisen resurssitehokkuuden mittaamiseen. Tavoitteena on elinkaaren hiilijalanjäljen minimointi, resurssitehokas materiaalienkäyttö, vedenkulutuksen vähentäminen, terveelliset tilat ja sisäilman laatu, sopeutuminen ilmaston muutokseen ja elinkaari kustannuksien huomioiminen. Arviointi toteutetaan kolmella eri tarkkuudella. Yksinkertaistettuarviointi, vertaileva arviointi ja yksityiskohtainen optimointi. ”Level(s) pyrkii luomaan yhteisen perustan eri maissa käytettävälle rakentamisen resurssitehokkuudelle ja ekologisuuden mittareille”. (Ympäristöministeriö 2019, a.)

2.3 Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen arviointi

Hiilijalanjälkeä arvioidaan, jotta pystyttäisiin pienentämään rakennuksen elinkaaren kasvihuonepäästöjä. Huolellinen suunnittelu on avainasemassa päästöjä tarkasteltaessa. Ilmastolaki pyrkii vähentämään päästöjä 80 % vuoteen 2050 mennessä. Rakennuttaminen ja rakennukset tuottavat arviolta 30 % Suomen kasvihuonepäästöistä.

Suomessa on keskitytty toistaiseksi rakennuskannan energiatehokkuuden parantamiseen ja käyttöaikaisten päästöjen minimointiin. Vuonna 2018 onkin siirrytty lähes nollaenergiarakentamiseen. Nyt uusien avausten myötä on kuitenkin otettu tarkasteluun elinkaaren alku- ja loppupää. Rakennusmateriaalien valmistus, rakentaminen, rakennusjätteen minimointi ja kierrätettävyys.

Arviointi tehdään suunnitteluvaiheessa. Huomioon otetaan materiaalit ja energiantarve. Vähähiilisyyttä voidaan arvioida myös tilastotietoja hyödyntäen valmiista kohteista. Menetelmä on kuitenkin vielä suunnitteluvaiheessa, mutta 2025 vuoteen mennessä ympäristöministeriön mukaisesti CO₂-arviointi tulisi liittää lupamenettelyyn. (Ympäristöministeriö 2019, b.)

2.4 Hiilineutraalisuutta kuvaavat käsitteet

Hiilineutraalisuutta voidaan kuvata käsittein hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki. Hiilijalanjälki kuvaa kielteisiä ilmastovaikutuksia, jotka syntyvät hankkeen vaikutuksena. Hiilikädenjäljestä puhutaan myönteisten vaikutusten myötä, joita ei syntyisi ilman hanketta. (Kinnunen 2019, 12.)

Ilmastomuutoksella tarkoitetaan ilmaston lämpenemistä ihmisen toiminnan seurauksena (WWF).

3 ELINKAARILASKENTA JA RAKENNUSMATERIAALIT

Elinkaarilaskennassa huomioidaan rakennusprojektin käytetyt materiaalit, runko-rakenne sekä valittu energiamuoto.

3.1 Rakentamisen materiaalitehokkuus ja sen ohjaus

Materiaalitehokkuus säästää kustannuksia ja vähentää haitallisia ympäristövaikutuksia. Tällä tarkoitetaan luonnonvarojen säästeliästä käyttöä, tehokasta sivuvirtojen hallintaa ja jätteen määrän minimointia. Materiaalin kierrätettävyyden on myös otettava huomioon. (Rakennusteollisuus, d.)

Suomessa rakentamisen materiaalitehokkuudelle on tehty toimintaohjelma RAMATE. Ohjelman tavoitteena on purkaa esteitä materiaalitehokkuuden lisäämisen tieltä. Ohjelman on laatinut ympäristöministeriö, sen sidosryhmien yhteistyönä. Toimenpideohjelman tarkoituksena on tiedon, osaamisen ja uusien liiketoimintamenetelmien lisääminen. Ajatuksena on luoda toimintaympäristö, missä rakennusjäte on arvokas resurssi, eikä vain jäännösainesta. (Rakennusteollisuus, f.)

Kansallinen materiaalitehokkuusohjelma tähtää kestäväan kasvuun. Tarkoituksena on parantaa Suomen kilpailukykyä. Resurssi- ja materiaalitehokkaan talouden sekä kestävien kulutus- ja tuotantotapojen soveltaminen ovat näitä keinoja. Tarkoituksena on luoda kannusteita ja poistaa esteitä tehokkaan materiaalituotannon tueksi myös yritystoiminnassa. Pyrkimyksenä on, että talouskasvu nousisi, luonnonvarojen viisas käyttö lisääntyisi ja haitalliset ympäristövaikutukset minimoitaisiin. (Rakennusteollisuus, b.)

Euroopan unionin antama jätedirektiivi ja jätelainsäädäntö velvoittaa jäsenvaltiot tehostamaan jätteen kierrätystä. Ensisijaisesti on tarkoitus vähentää jätteen syntymistä. Jäte tulisi hyödyntää tai uudelleen käyttää. Viimeisenä vaihtoehtona tulisi jäte polttaa tai viedä kaatopaikalle. Suomessa tavoite on saavuttaa 70 % kierrätysaste materiaalikierrätyksenä vuonna 2020. Talonrakentaminen on suurimpia luonnonvarojen kuluttajia Suomessa. (Rakennusteollisuus, a.)

Järkeviä ratkaisuja todella tarvitaan, jotta hiilijalanjälki pienenesi. Esimerkkinä voidaan käyttää vaipparakennetta, jolla saataisiin parannettua energiatehokkuutta ja parannettua asumismukavuutta. (Vatanen, 21.)

3.2 Puu rakennusmateriaalina elinkaarilaskennassa

Suuri vaikutus ympäristölle on, millä materiaalilla ympäristöä rakennetaan. Ulkoseinän ympäristövertailussa huomattiin, että jos kaikki Euroopassa olevat asunnot rakennettaisiin puusta betonin sijaan, laskisi luonnonvarojen kulutus 70 %, energian kulutuksesta vähentyisi 40 % ja hiilidioksidipäästöistä 60 %.

Ulkoseinärakenteita vertaillen on huomattu, että hiilidioksidipäästöjen varastoituminen on hyvin poikkeavaa eri materiaalien välillä. Vertailussa huomattiin, että ympäristön kannalta puu oli paras vaihtoehto sitomaan hiilidioksidia ja betonielementtirakenne huonoin. (Metsäteollisuus 2010,7.)

3.3 Rakennusmateriaalien elinkaari

Materiaalien kierrätettävyyttä voidaan arvioida rakennushankkeen elinkaaren aikana. Ensin tulisi laatia luettelo rakennushankkeessa käytettävistä materiaaleista. Tämän jälkeen arvioidaan, mitä materiaaleja tulisi uusia käytön aikana. Elinkaarenloppua ajatellen tulee myös huomioida materiaalien kierrätys tai loppusijoituspaikka. (Ympäristöministeriö 2019, b.)

Materiaalien paino kerrotaan materiaalikohtaisella päästökertoimella ja siitä saadaan summaksi hiilijalanjälki (Kuittinen 2019, 17).

4 KONSEPTISSA KOLME KÄYTETTY LASKENTATEKIJÄT

Seuraavissa kappaleissa 4-5 käsitellään elinkaariarviointilaskennassa käytettyjä laskentatekijöitä, jotka saivat parhaimmat tulokset. Elinkaarilaskentaa varten luotiin kolme ominaisuuksiltaan erilaista konseptia, joiden avulla laskentatekijöitä vertailtiin. Konseptissa 3 käytettyihin runko- ja pintamateriaaleihin sekä energiamuotoon tutustutaan syvemmin. Lisäksi perehdytään hirsirakentamisen maailmän ajankohtaisiin aiheisiin. Nämä materiaalit esitellään siksi, että ne olivat vähiten ympäristöä kuormittavia konsepteja vertaillen.

4.1 Runkorakenteena hirsi

Hirsirakenteista voidaan puhua silloin, kun puhutaan paksusta kokopuisesta rakennustarvikkeesta, joka on veistämällä, höyläämällä tai sorvaamalla valmistettu. Valmistusmateriaalina käytetään yleisesti kuusta tai mäntyä. (Puuinfo Oy, a.) Hirrestä rakennetaan erikokoisia ja erilaisiin käyttötarkoituksiin tarkoitettuja rakennuksia. Yleisimpiä ovat omakotitalot ja loma-asunnot, mutta myöskin koulut ja päiväkodit ovat olleet selvästi esillä hirsirakentamisessa. Hirsirakentamisessa on huomioitava jo suunnitteluvaiheessa rakenteen painuminen sekä puun eläminen. Hirsirakenteesta saadaan tehtyä energiatehokkaita, tiiviitä, paloturvallisia sekä äänieristykseltään tehokkaita rakennuksia. Myöskin sisäilman laatua pidetään hirsirakentamisen etuna. (Puuinfo, b.)

Hirren muoto voi vaihdella pyöreästä kulmikkaaseen. Lisäksi hirsyä voidaan valmistaa puusoirosta liimaamalla sekä myöskin massiivipuusta. Hirrestä voidaan rakentaa rakennuksen kantavat seinäosat ja myöskin kantamattomat, jos tarve vaatii. Hirret voidaan sijoittaa vaakasuuntaisesti ja ne liitetään toisiinsa salvoksilla. Toinen tapa on sijoittaa hirret pystysuunnassa, jolloin etuna on niiden painumattomuus. (Puuinfo, a.)

4.1.1 Hirsipintojen kestävyys

Hirren pinnan pitkäaikaiskestävyyteen ja hirsipinnan suojaamisella on suuri merkitys hirren säilyvyydessä. Hirren kosteus on eniten säilyvyyteen vaikuttava tekijä. Lisäksi ultra-violettivalo ja sienikasvustot vaikuttavat myös hirren säilyvyyteen. Hirsisaumojen tuulettuvuuteen ja kuivumiseen tulee myöskin kiinnittää huomiota. Hirsipinnat voidaan käsitellä ja suojata kemiallisesti tai pinnoittamalla. Mekaanisesti myöskin saadaan suojattua, jolloin hirsi peitetään lautaverhoilulla. Verhous suojaa hirren pintaa, joten sillä saadaan hirrelle lisää kulutus pintaa ja enemmän elinikää. Lisäksi verhous on helposti korjattavissa tai uusittavissa olevaa materiaalia, jolloin koko rakennetta ei tarvitse uusia. (Puuinfo, b.)

Hirsirakenteissa tapahtuva halkeilu johtuu puun luonnollisista ominaisuuksista sekä jännitteistä, jonka kuivuminen saa aikaan. Halkeilu on lähinnä esteettinen ongelma, mutta sillä on sisätiloissa kosteuden kannalta myönteinen vaikutus. Se tasaa sisäilman kosteutta, missä diffuusio tapahtuu, kun hygroskooppinen puuaineen ja sisäilman kosteuspinta-ala kasvaa. Pinta-ala vaikuttaa hirren kykyyn sitoa ja luovuttaa kosteutta ilmaan. (Puuinfo, b.)

4.1.2 Hirsirakenteiden energiatehokkuus

Energiatehokkuus hirsirakenteiselta pientalolta on laadittu lukuarvo ns. energialuku. Energialuku riippuu rakennuksen koosta. Esimerkiksi lämmitetyn korkeintaan 120 m² pientalon E-luku saa olla 229 kwh/m² vuodessa. Isommissa kuin 600 m² rakennuksissa E-luku saa olla korkeintaan 155 kwh/m² vuodessa. Näiden välillä olevat rakennukset 120 - 600 m² pientalot lasketaan omalla kaavalla. Nämä määräykset eivät kuitenkaan koske alle 50 m² lämmitettyjä rakennuksia. Näitä ovat esimerkiksi loma-asunnot, joihin ei ole suunniteltu ympärivuotista lämmitysjärjestelmää käytettäväksi. Hirsiseinän vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään lämmönläpäisykertoimena 0,40 W/(m² K) kun hirren paksuuden oletetaan olevan 180 mm. Loma-asunnoissa käytetään 0,80 W/(m² K) kun hirren vä-

himmäispaksuuden oletetaan olevan 130 mm. U-arvo voidaan määrittää puuinfon U-laskurilla. Jotta U-arvovaatimus $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ täyttyy, pitää täysihirsisen seinän olla keskipaksuudeltaan vähintään 180 mm. Eristetyillä hirsirakenteilla voidaan saavuttaa usein $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ U-arvo. (Puuinfo, b.)

On muistettava, että vaikka energiatehokkuuden laskeminen onkin ollut jo pidempään rakentamisessa mukana energiatodistuksen myötä, niin E-lukulaskenta ei ota kuitenkaan suoranaisesti kantaa hiilijalanjälkeen. Kertoimet, joita käytetään E-lukulaskennassa ovat eri ostoenergialle käytettyjä primäärienergiankulutukseen pohjautuvia kertoimia. Sähköntuotannon ominaispäästöjen huomattavan pientymisen myötä tämä on seurausta lisääntyneeseen eroon energiankäytön E-luvun ja hiilijalanjäljen välille. (Huuhtanen 2020.)

4.1.3 Hirsirakentaminen Suomessa

Suomessa hirsirakentamisen osaaminen on kehittynyt huippuunsa. Erinomainen raaka-aine, hirsiperinteen suunnittelutaito sekä teknologiaosaaminen ovat nostaneet maailmalla Suomen hirsirakentamisen laatujohtajaksi. Maailmassa käytetään suomalaisia hirsirakentamisen laatuksiteereitä mallina laatuvaatimuksille. Suomessa ollaan ylpeitä hirsirakentamisen osaamisesta ja sen lisäksi Suomi on teollisesti tuotettujen hirsitalojen johtavin viejämaa. Hirsirakentaminen on osa suomalaista taloutta, sillä työvoima ja kaikki rakentamiseen valmistettavat osat tehdään Suomessa. Hirsitehtaat ovat pienillä paikkakunnilla merkittäviä työllistäjiä. Hirsitalojen saatavuus on nykyisin Suomessa hyvin laajaa ja malleja on saatavilla niin maalle kuin kaupunkiinkin sopivina vaihtoehtoina. Perinteisiä, moderneja ja mittatilaustyönä saatavia kokonaisuuksia on hyvin laaja kirjo tarjolla. (Hirsitaloteollisuus, b.)

Suomessa vanhin pystyssä oleva hirsirakennus on 1400-luvulta oleva Pyhän Henrikin saarnahuone Kokemäellä. Tänä päivänä samalla tavalla tehty hirsirakennus voisi olla pystyssä vielä 500 vuoden kuluttuakin. (Hirsitaloteollisuus, b.)

Hirsirakentamisen kehitys on pääsääntöisesti kehittynyt käsityön tuloksena, mutta nykyisin teollinen valmistus vakioi laadun ja mahdollistaa tehokkaan rakentamisen.

4.1.4 Hirsirakennuksen kestävä kehitys ja elinkaari

Nykyisin saadaan todella mittatarkkoja ja tasalaatuisia tuotteita. Teollinen valmistus mahdollistaa nopean rakentamisen, kustannustehokuuden ja toimitusvarmuuden. Hirsirakentamisen tuotantoketjussa syntyy sivutuotteena energiajätettä. Tuotannossa syntyvästä purusta ja hakkeesta saadaan aikaan uusiutuvaa energiaa. Tämä pienentää hiilijalanjälkeä sekä lisäksi sillä voidaan korvata tuontien energiaa. Näin ollen hirrentuotanto on energiaomavaraista. (Hirsitaloteollisuus, b.)

Hirsitaloteollisuus ry on tilannut arkkitehti SAFA Matti Alasaarelta tutkimuksen koskien hirsiseinän elinkaaritarkastelua. Tutkimuksessa selviää, että hiilidioksidi päästöjä on mahdollista vähentää lisäämällä puun käyttöä rakentamisessa. Vaikkakin lamellihirsien valmistuksessa käytetään fossiilista polttoainetta, on kulutus kuitenkin huomattavasti pienempää kuin muiden rakennusmateriaalien valmistuksessa. Puu on 100 % uusiutuva luonnonvara ja sen vuoksi erottuu edukseen luonnonvarojen kulutuksen osalta. Hirsi toimii hiilidioksidivarastona sen koko elinkaaren ajan. Elinkaaren lopussa hirsi voidaan kierrättää uudestaan esimerkiksi hirsiseinänä tai uudelleen käsittelyn jälkeen sahatavarana. (Hirsitaloteollisuus, a.)

Tutkimuksessa selvisi, että 180 m² hirsirakenteinen omakotitalon ulkoseinien hiilinielu on arvioltaan 24 tonnia hiilidioksidia. Kasvihuonekaasupäästöjen arvioidaan olevan 2,5 tonnia hirsiseinien valmistuksen ja 50 vuoden kunnossapidon aikana. Neliometriä kohden tämä tekisi 17 kg kasvihuonepäästöjä loppusijoitukseen saakka. Vertailun vuoksi tutkimuksessa oli käytetty täysitiivistä kohdetta, jonka päästöksi oli saatu 82 kg neliometriä kohden. Hirsiseinästä muodostuu hiilinielu, kun huomioidaan seinärakenteeseen sitoutuvan hiilen määrä. Valmistuk-

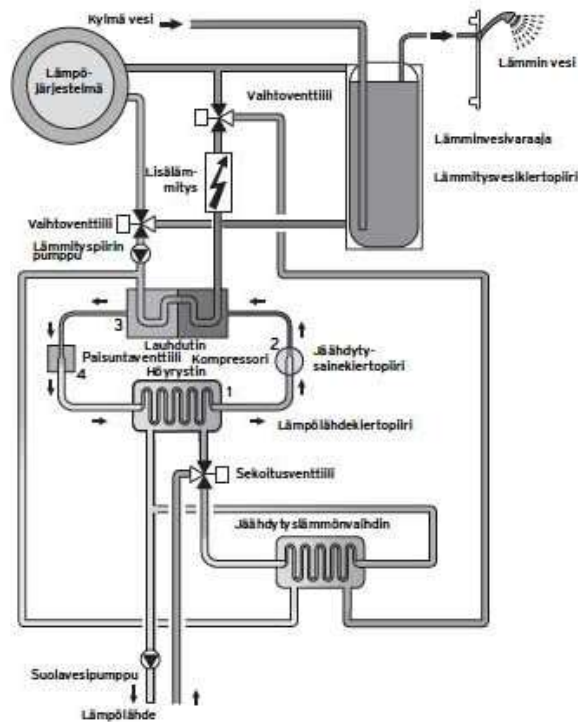
sessä syntyvien hiilidioksidipäästöjen arvioidaan olevan vain kymmenesosa suhteessa seinärakenteeseen sitoutuvaan hiilimäärään. Näin ollen hirren elinkaaren ajan tämä hiilimäärä on ilmakehästä pois. (Hirsitaloteollisuus, a.)

4.2 Maalämpö energiamuotona

Maalämpö tulee aurinkoenergiasta, joko maaperästä tai vesistöihin sitoutuneesta energiasta. Kesäisin aurinkoenergia sitoutuu maaperään, kallioihin sekä vesistöihin. Maalämpö kerätään talteen maahan poratusta kaivosta, maapiiristä tai veden asennettavista keruuputkistoista. (Maalampo, c.)

4.2.1 Maalämmön toimintaperiaate

Maalämpöpumput käyttävät samaa tekniikkaa mitä käytetään esimerkiksi jääkaapeissa. Toimintaperiaate on, että maalämpö siirtää maassa olevan lämmön rakennukseen, kun taas jääkaapissa lämpö siirtyy huoneilmaan. Käytännössä siis maalämpöpumpun putkistossa kiertää jäätymätön neste, ja tästä lämmönkeruupiiristä saatu lämpö höyrystää kylmäaineen, joka taas kiertää lämpöpumpussa. Kompressorin avulla nostetaan kylmäaineen painetta sen lämpötilan nostamiseksi. Kylmäaine luovuttaa lämpöä lämmönjakeluverkkoon sekä lämpimään käyttöveteen lauhtuessaan jälleen nesteeksi. (Maalampo, b.)



Kuvio 1. Kuvio lainattu maalämpö sivustolta (Maalampo, b)

4.2.2 Maalämmön energiatehokkuus

Maalämpöpumppu on energiatehokas ratkaisu, koska neljän kilowatin tuottamiseen se käyttää vain yhden kilowatin energiaa. Energiakustannuksissa maalämmön hyödyntämisellä tehdään selvää säästöä. Lisäksi energiakustannukset ovat alhaiset vuodesta toiseen. (Maalampo, b.)

Maalämpöä voidaan hyödyntää myös kesällä. Kesäaikaan kun talot lämpenevät voidaan maalämpöä käyttää käänteisesti, jolloin se lämmön sijaan jäähdyttääkin huoneilmaa. Tämä on kustannustehokas ja ympäristöystävällinen tapa jäähdyttää taloa. (Maalampo, a.)

Investoinneiltaan maalämpöpumppu on kallein vaihtoehto verrattuna sähköön ja kaukolämpöön, mutta lämpökertoimeltaan erinomainen lämpöpumpputyyppeihin. Talviaikaan maalämpöpumppu on tehokkain muihin lämpöpumpputyyppeihin verrattuna. Maalämpö vaatii kunnan tai kaupungin teknisestä toimesta toimenpideluvan, jotta sellainen voidaan tontille asentaa. Mitoitus voidaan toteuttaa niin,

että maalämpöpumppu tuottaa energiaa rakennuksen lämmitysjärjestelmän ja käyttöveden lämmityksen tarpeisiin ilman sähkövarausta.

4.2.3 Maalämmön elinkaari

Maalämpöjärjestelmän elinkaareksi on arvioitu 15 – 30 vuotta. Kuitenkin tämän aikavälin aikana joudutaan uusimaan erilaisia komponentteja laitteistoon. Maalämmön osalta on arvioitu, että niissä olevat kompressorit kestävät noin 10 -15 vuotta, jonka jälkeen ne tulee uusia. (Energiatehokas koti 2020.)

4.2.4 Ajankohtaista maalämmöstä

Nykyisen yhteiskuntamme ilmastokriisitilanteen vuoksi moni taho on joutunut miettimään uusia ratkaisuja tulevaisuuden energiamuotojen osalta. Tavoitteena on lisätä yhteiskuntamme resilienssiä ja turvata sen toiminta. Kriisitilanteissa energiaomavaraisuus on avaintekijänä turvaamassa toimintojemme toimimisen. (Green Building Council Finland ry 2021, a.)

Maalämpö ja maaviileä ovat jo olemassa olevaa teknologiaa, joka on osoitettu toimivaksi. Tätä voidaan kutsua myös nimellä geoenergia. Geoenergia on hiili-neutraali energiamuoto. Jos esimerkiksi maalämpöpumpun toimintaan käytettäisiin uusiutuvaa sähköä, olisi se energiamuotona täysin hiilineutraali. Vaikka geoenergia kuluttaakin sähköä, on sen lisääntynyt käyttö vähentänyt sähkön kulu- tusta sekä kantaverkon kuormitusta. (Sulpu ry 2021.)

Geoenergiasta ei synny päästöjä, sillä se on jo olemassa siellä, missä sitä tarvi- taan. Monet energiamuodot vaativat toimivan logistiikkaketjun, minkä seurauk- sena syntyy päästöjä. Myös toimituksessa saattaa olla vaikeuksia maailmantilan- teen vuoksi. Geoenergian tuotantoon eivät vaikuta negatiivisesti esimerkiksi myrskyt, tulvat, infrastruktuuri tai kuivuus. Tätä energiamuotoa voitaisiin myös hyödyntää ruuantuotannossa, esimerkiksi kasvihuoneiden lämmityksessä. Maa- lämpöä kehitetään koko ajan eteenpäin ja tämän takia sitä voidaan käyttää ny- kyisin suurissakin kohteissa. Kehityksen tavoitteena on, että geoenergialla voitai- siin kustannustehokkaasti ja hiilineutraalisti lämmittää julkiset rakennukset sekä kerrostalot. Elinkaaren huomioiminen tarkoittaisi myös rakennusaikaisen lämmi- tyksen toteuttamista geoenergialla.

Geoenergian suosio on lisääntynyt niin yksityisellä kuin julkisellakin puolella. Suomen kallioperässä riittää kyllä potentiaalia ja tämä voisi taata tulevaisuuden energiatarvetta omalta osaltaan. (Green Building Council Finland ry 2021, a.)

5 OPINNÄYTETYÖSSÄ KÄYTETTY ONE CLICK LCA -OHJELMISTO

One Click LCA -ohjelmistoa on hyödynnetty tässä opinnäytetyössä hiilipäästöjen laskentaosiossa. Ohjelmistosta oli saatavana opiskelijalle kokeiluversio Bionovalta, jota käytettiin tässä opinnäytetyössä.

5.1 Rakennusprojektin elinkaarilaskenta One Click LCA -ohjelmistolla

One Click LCA -ohjelmisto on automatisoitu elinkaariarviointiohjelmisto, jonka avulla voidaan laskea ja vähentää rakennushankkeiden ympäristövaikutuksia. Ohjelmiston avulla voidaan suunnitella vähähiilisiä hankkeita ja saavuttaa sertifiointipisteitä. Ohjelmisto tukee EN- ja ISO-standardeja sekä yli 40 sertifikaattia. (OneClickLCA 2021b.)

Ohjelmistoon syötetään arvioitavan kohteen erilaiset katto-, runko- ja alapohjarakenteet, ulkoverhouksen materiaali, rakennuksen bruttoala, kerrosten lukumäärä ja rakennustyyppi. Ohjelmaan määritellään myös lämmitysjärjestelmä ja sen energiankulutus. Laskettavaksi elinkaariajanjaksoksi määritetään 50 vuotta, joka on yleinen minimi rakennuksen suunnitelluksi kestoiksi tavanomaisissa rakennuksissa. (Lehtinen 2016, 11.)

Ohjelmassa on erilaisia työkaluja, joiden avulla voidaan laskea mm. rakennusten elinkaariarviointi. Tällä työkalulla suunnitellaan vähähiilisiä rakennuksia ja määritellään hankittavat materiaalit. Ohjelma antaa tuloksena määritetyn rakennuksen energialuokan sekä tarkemman määrän hiilidioksidipäästöille per neliö. Tuloksena saadaan myös prosenttiosuudet sitoutuneelle hiilelle eri rakenneosissa sekä materiaalien hiilijalanjäljelle.

Sertifiointityökalulla pystytään myös selvittämään sertifiointijärjestelmästä saatava pisteiden määrä. Vähentääksesi hiilipäästöjä voidaan ohjelmiston avulla optimoida myöskin jo varhaista suunnittelua. Elinkaarikustannustyökalulla voidaan etsiä ekologisin sekä kustannustasokkain ratkaisu. Rakentamisen kiertotaloustyökalulla voidaan seurata, määrittää ja tehdä täydelliseksi materiaalien kierrot. (OneClickLCA 2021a.)

5.2 Rakennuskonseptien laskentatietojen määrittelyt

Ohjelmaan syötettiin ensimmäiseksi Konsepti 1, joka on puurunkoinen, sähkölämmitteinen, puu-ulkoverhouksellinen ja bruttoalaltaan 150 m² yhdessä kerroksessa oleva pientalo. Laskentajaksoksi määritettiin 50 vuotta ja sähkön vuosikulutukseksi 20 000 kWh.

Toiseksi ohjelmaan syötettiin Konsepti 2, joka on betonirunkoinen, kaukolämmiteinen, eristerappaus-ulkoverhouksellinen ja bruttoalaltaan 150 m² yhdessä kerroksessa oleva pientalo. Laskentajaksoksi määritettiin 50 vuotta sekä sähkön vuosikulutukseksi 7500 kWh ja kaukolämmönkulutukseksi 12 500 kWh.

Kolmanneksi ohjelmaan syötettiin Konsepti 3, joka on hirsirunkoinen, maalämpölämmitteinen ja bruttoalaltaan 150 m² yhdessä kerroksessa oleva pientalo. Laskentajaksoksi määritimme 50 vuotta ja sähkön vuosikulutukseksi 15 000 kWh.

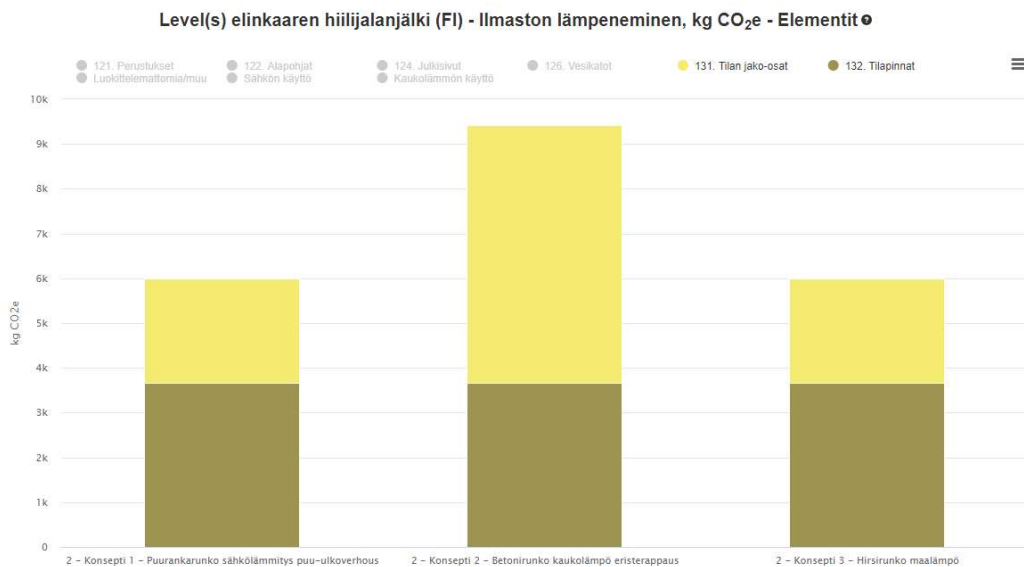
Näiden tietojen pohjalta lähdettiin vertailemaan One Click LCA -ohjelmiston LCA -ohjelmiston avulla näitä rakennetyyppejä ja eri lämmitysmuotoja.

6 KONSEPTIEN VERTAILU

Tässä osiossa vertaillaan konsepteja tilan jako-osien ja tilapintojen, elementtien ja elinkaarivaiheiden, suunnitteluvaiheen, kokonaiskuvan, energian, materiaalien elinkaaripäästöjen vertailuarvoja. Lisäksi tarkastellaan sähkön käyttöä ja GWP ja BIO-CO₂ varastoa. Työssä tarkastellaan myös tarkemmin konseptia 3, kiertotalouden näkökulmasta.

6.1 Tilan jako-osat ja tilapinnat

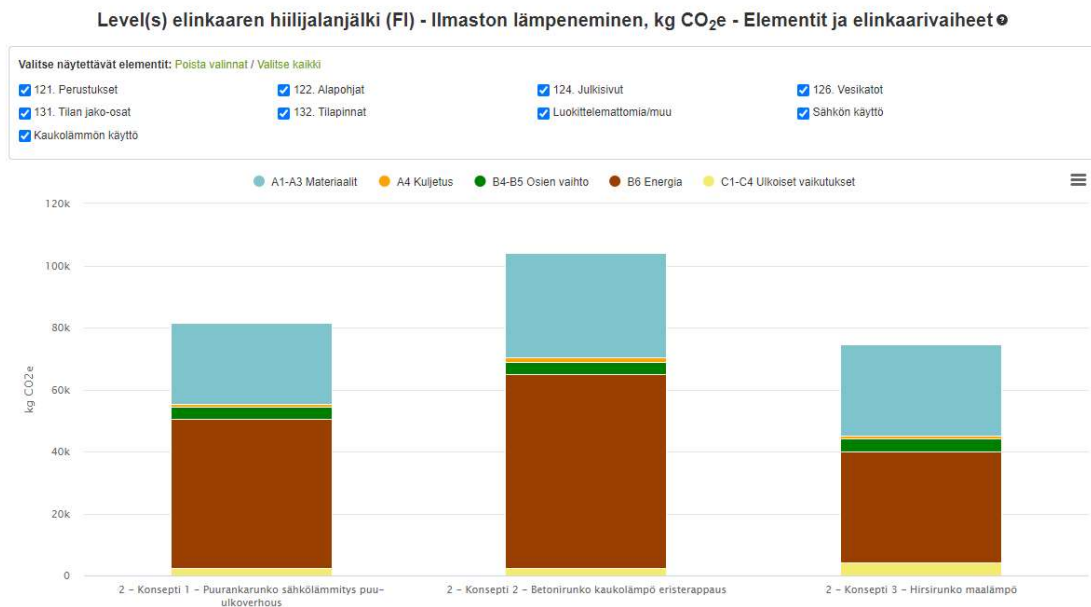
Tilan jako-osaa tarkasteltaessa konsepti 2 on eniten hiilijalanjälkeä tuottava osa. Tilapinnat ovat eri konsepteja vertaillessa tilapintojen osalta hyvin samankaltaisen kaikissa konsepteissa päästöjen suhteen.



Kuvio 2. Tilan jako-osat ja tilapinnat

6.2 Elementit ja elinkaarivaiheet

Rakennuselementtejä ja elinkaarivaiheita tarkasteltaessa huomataan, että konsepti 2 on hiilijalanjäljeltään eniten päästöjä tuottava vaihtoehto. Eniten konseptiin vaikuttavat materiaalin valinta ja energiankulutus. Konsepti 3 on vähiten päästöjä tuottava kokonaisuus. Tässä osiossa vertailussa on huomioitu materiaalit, kuljetus, osien vaihto, kuluva energia sekä ulkoiset vaikutukset rakennuselementtien ja niiden elinkaarivaiheita.



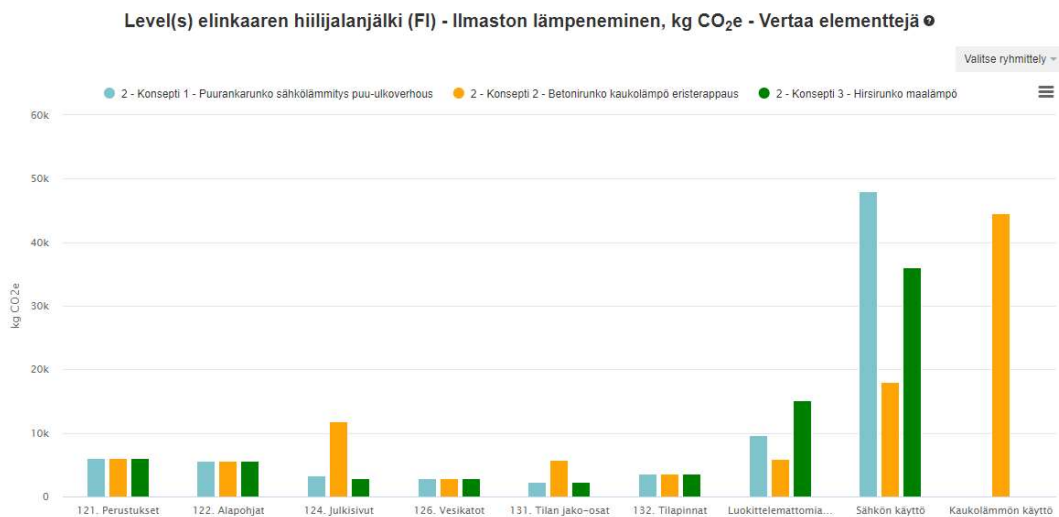
Kuvio 3. Elementit ja elinkaarivaiheet

6.3 Suunnitteluvaihe

Suunnitteluvaihetta tarkasteltaessa huomataan, että konsepti 2 on eniten päästöjä tuottava vaihtoehto 104 201 kgCO₂e. Konsepti 1 on toisella sijalla ja arvoksi saadaan 81 473 kgCO₂e. Konsepti 3 sijoittuu päästöjen suhteen vähiten tuottavaksi arvoltaan 74 465 kgCO₂e.

6.4 Kokonaiskuva

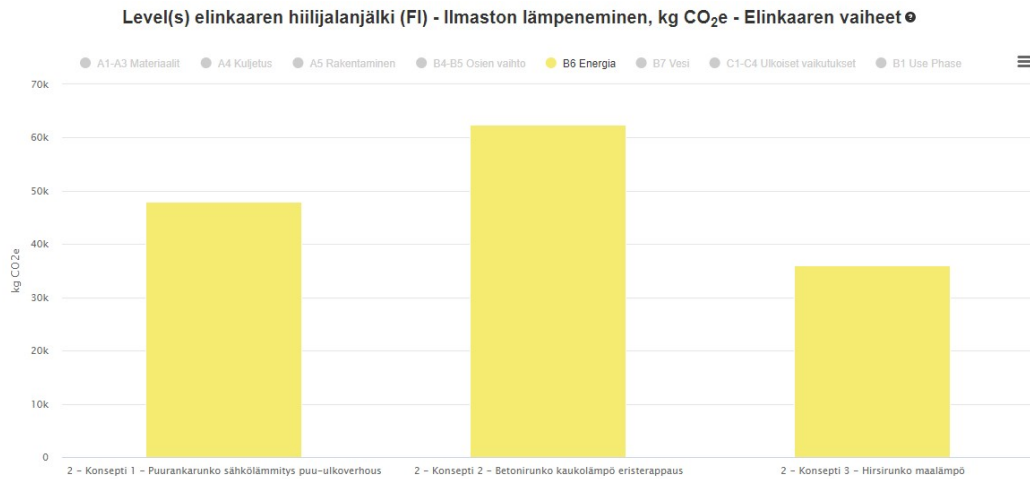
Kokonaiskuvan hahmottamisen helpottamiseksi laitoimme tähän vertailun vuoksi hyvin kokonaisuutta kuvaavan pylväikön. Tästä voidaan huomata, että perustukset, alapohjat, vesikatot sekä tilapinnat ovat lähtökohtaisesti samalla viivalla. Julkisivua muuttaessa kuitenkin voidaan jo huomata, että se vaikuttaa hiilijalanjälkeen niin, että konsepti 2 on merkittävimmin päästöjä tuottava vaihtoehto, verrattuna konsepteihin 1 ja 3. Tilan jako-osissa voidaan huomata sama ilmiö. Luokittelemattomissa osissa on kuitenkin päinvastainen tilanne. Konsepti 3 on eniten päästöjä tuottava ja konsepti 2 onkin vähiten. Sähkön käyttöä tarkastellaan kohdassa 6.7 tarkemmin. Kaiken tämän jälkeen viimeiseksi jää kaukolämpö, mikä oli konseptissa 2. Huomaamme että hiilijalanjälki on suhteessa muihin korkein lämmitysmuodoista.



Kuvio 4. Rakenneosien hiilijalanjäljen kokonaiskuva

6.5 Energia

Energiaa kuvaavaa hiilijalanjälki taulukkoa tarkasteltaessa huomataan, että konsepti 2 on eniten energiaa kuluttava vaihtoehto. Konsepti 1 on toisella sijalla ja konsepti 3 on vähiten kuluttava vaihtoehto.



Kuvio 5. Energiaa kuvaava hiilijalanjälki

6.6 Materiaalien elinkaaripäästöjen vertailuarvoja.

Materiaalien elinkaaripäästöjen vertailuarvot on laskettu 50 vuoden pituudelle. Näissä on otettu huomioon materiaalienpäästöt. Lisäksi vertailussa on otettu huomioon materiaalien kuljetukset, osien vaihdot on huomioitu koko elinkaaren ajalta sekä elinkaaren loppu.

Päästöissä ei ole otettu huomioon elinkaaren ulkopuolisia kierrätysvaikutuksia. Päästöt on laskettu bruttosisäpinta-alaa kohden, käyttäjän laskentamenetelmän mukaisella karakterisointi mallilla.

Konseptia 1 tarkasteltaessa päästään B luokkaan. Tarkempi arvo 251 kgCO₂e/m².

Materiaalien hiilijalanjälki elinkaaren aikana on 77 %, kuljetuksista 3 %, osien vaihdoksi on laskettu 13 % ja ulkoisiin vaikutuksiin 7 %.

Sitoutuneen hiilen osuus puolestaan on seuraavanlainen: perustukset ja maanlaiset rakenteet 20 %. Pystyrakenteet ja julkisivu 21 %. Vaakarakenteet: pohjat, katot ja palkit 49 %. Muut rakenteet ja materiaalit 10 %.



Kuvio 6. Materiaalien elinkaaripäästöjen vertailuarvot konseptissa 1

Konseptia 2 tarkasteltaessa päästään C luokkaan. Tarkempi arvo 326 kgCO₂e/m².

Materiaalien hiilijalanjälki elinkaaren aikana on 79 %, kuljetuksista 3 %, osien vaihdoksi on laskettu 12 % ja ulkoisiin vaikutuksiin 6 %.

Sitoutuneen hiilen osuus puolestaan on seuraavanlainen: perustukset ja maan-
alaiset rakenteet 15 %. Pystyrakenteissa ja julkisivuissa sitoutunutta hiiltä on 40 % ja vaakarakenteissa: pohjat, katot ja palkit 37 %. Muissa rakenteissa ja materiaaleissa sitoutunutta hiiltä on yhteensä 8 %.



Kuvio 7. Materiaalien elinkaaripäästöjen vertailuarvot konseptissa 2

Konseptia 3 tarkasteltaessa päästään C luokkaan. Tarkempi arvo 294 kgCO₂e/m².

Materiaalien hiilijalanjälki elinkaaren aikana on 76 %, kuljetuksista 2 %, osien vaihdoksi on laskettu 10 % ja ulkoisiin vaikutuksiin 11 %.

Sitoutuneen hiilen osuus puolestaan on seuraavanlainen: perustukset ja maan-
alaiset rakenteet 18 %. Pystyrakenteissa ja julkisivussa sitoutunutta hiiltä on 32
% ja vaakarakenteissa: pohjat, katot ja palkit 42 %. Muissa rakenteissa ja mate-
riaaleissa sitoutunutta hiiltä on yhteensä 9 %.



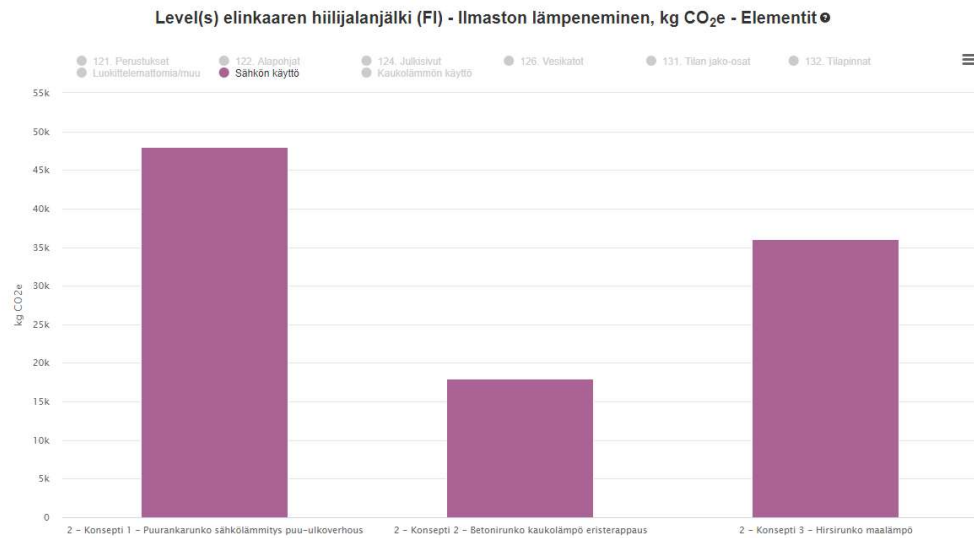
Kuvio 8. Materiaalien elinkaari päästöjen vertailuarvot konseptissa 3

Konsepteja tarkkailtaessa vain konsepti 1 pääsee parempaan B luokkaan. Materiaalien hiilijalanjälki elinkaaren aikana olevaa osiota tarkasteltaessa on konsepti 2 suurin kuluttaja luvulla 79 %, kuljetuksista konsepti 1 ja 2 ovat 3 % päästöluokassa, osien vaihdoksi suurimpaan kulutukseen nousee konsepti 1 lasketulla arvolla 13 % ja ulkoisiin vaikutuksiin korkeimmalle sijalle nousee konsepti 3 päästöjen määräksi tuli 11 %.

Sitoutuneen hiilen osuus puolestaan on seuraavanlainen: perustukset ja maan-
alaiset rakenteet konseptissa 1 sitoo eniten hiiltä vertailtaessa eri konseptien vä-
lillä. Arvoksi saadaan 20 %. Pystyrakenteet ja julkisivuja vertailtaessa konsepti 2
sitoo eniten hiiltä. Arvoksi saadaan 40 %. Vaakarakenteita verratessa (pohjat,
katot ja palkit) konsepti 1 on 49 %. Muissa rakenteissa ja materiaaleissa konsepti
1 on myös eniten hiiltä sitova rakenne arvolla 10 %.

6.7 Sähkön käyttö

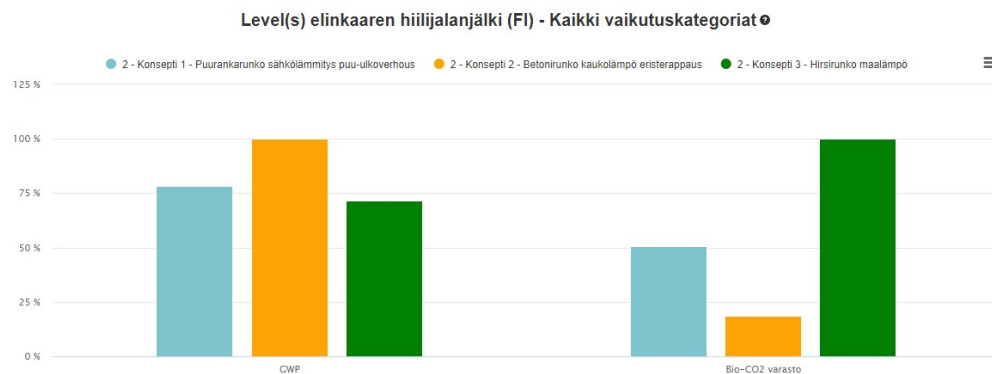
Sähkön käyttöä kuvaavassa hiilijalanjälki taulukossa huomataan, että sähköä käytetään eniten konseptissa 1 ja toisella sijalla on konsepti 3. Sähköä vähiten kuluttava konsepti on siis konsepti 2. Tässä on kuitenkin huomioitava, että lämmityskulut tulee huomioida eri kohdassa, jotta päästään oikeaan käsitykseen sähkön käytön suhteen.



Kuvio 9. Sähkön käyttöä kuvaava hiilijalanjälki

6.8 GWP ja BIO-CO2 varasto

Elinkaaren hiilijalanjäljen tehokkuudessa on nähtävissä suhteellisen suuria eroja eri konseptien välillä. Vasemmanpuoleinen pylväikön GWP kuvaa ilmaston lämpenemisen ja oikeanpuoleinen Bio-CO2 varasto hiilivarastoarvoja/sitoutunutta hiiltä. Ilmaston lämpenemisen kannalta konsepti 2 on ilmastoa ns. lämmittävin ja konsepti 3 vähiten lämmittävä. Hiilivarastoa tarkastellessa konsepti 3 on hiiltä sitovin vaihtoehto ja konsepti 2 vähiten sitova. Eli ilmaston kannalta järkevin vaihtoehto tässä kohtaa olisi konsepti 3, joka on hirsirunkoinen ja maalämmöllä varustettu kohde.



Kuvio 10. GWP ja Bio-CO2 varasto

	CO2	KgCO2e/m2/vuosi	Hiilen sosiaaliset kustannukset
Konsepti 1.	81 tonnia CO2e	12,53	4074 €
Konsepti 2.	104 tonnia CO2e	16,03	5210 €
Konsepti 3.	74 tonnia CO2e	11,46	3723 €

Kuvio 11. Yhteenveto sitoutuneen hiilen määristä konsepteissa 1-3

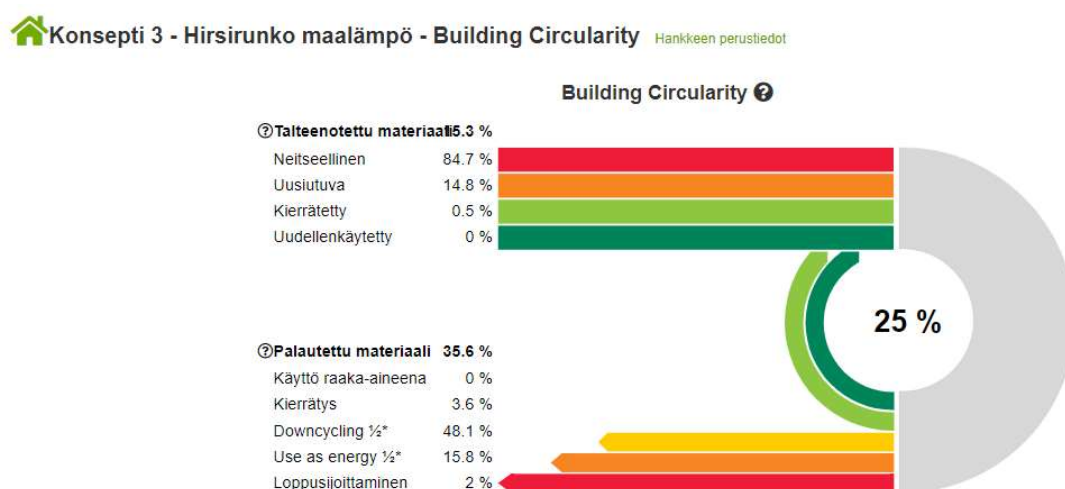
Kierrätettävyys/uudelleen käyttö on suurin konseptissa 3 arvoksi tuli 25 % ja konsepteilla 1 ja 2 arvo oli 21 %.

	Ilmastonlämpeneminen	Hiilivarasto
Konsepti 1	8,15 E4	1,93 E4
Konsepti 2	1,04 E5	7,02 E3
Konsepti 3	7,45 E4	3,8 E4

Kuvio 12. Ilmastonlämpeneminen ja hiilivarastot konsepteissa 1-3 Standardin EN 15978 mukaan

6.9 Konsepti 3 tarkempi tarkastelu kiertotalouden näkökulmasta

Konsepti 3 on kiertotalouden näkökulmasta ajateltuna näistä konsepteista parhaiten kierrätettävissä oleva konsepti. Kiertotalouspisteet kuvaavat materiaalien kokonaiskiertoa, kohteen alusta, käytöstä ja käyttöään päättymiseen. Laskenta perustuu talteen otettujen materiaalien keskiarvona ja palautettuina materiaaleina. Laskenta perustuu massapohjaiseen laskentaan, ilman materiaalinpainoa.



Kuvio 13. Konsepti kolmen lähempi tarkastelu kierrätettävyyden näkökulmasta

Uudelleen käytettävää materiaalia on yhteensä 196 tonnia. Nesteellisiä näistä on 166 tonnia, uusiutuvaa 29 tonnia ja kierrätettyä 1 tonni.

Building Circularity - Uudelleenkäytettävät materiaalit

Tulosluokka	Yhteensä tonnia	Neitseellinen tonnia	Uusiutuva tonnia	Kierrätetty tonnia	Uudellenkäytetty tonnia	
Materiaalit	116	90	25	1	0	Yksityiskohdat
Maa, maamassat ja kivet	60	60	0	0	0	Yksityiskohdat
Rakennustyömaa - materiaalien hävikki	8	4	4	0	0	Yksityiskohdat
Osien vaihto ja peruskorjaukset	12	12	0	0	0	Yksityiskohdat
Yhteensä	196	166	29	1	0	Yksityiskohdat

Kuvio 14. Uudelleen käytettävät materiaalit

Palautettavaa materiaalia kuvataan alla olevassa kuvaajassa. Kierrätys tonneja tulee yhteensä 7 tonnia ja 94 tonnia Downcycling-materiaaleja. Downcycling-materiaaleilla tarkoitetaan talteen otettujen materiaalien muuttamista vähemmän arvokkaiksi tai niiden osien myöhemmää hyödyntämistä. Käyttöenergiana kierrätysmateriaaleja syntyy yhteensä 31 tonnia ja loppusijoitus materiaalia syntyy yhteensä 4 tonnia.

Building Circularity - Palautettavat materiaalit

Tulosluokka	Käyttö raaka-aineena tonnia	Kierrätys tonnia	Downcycling tonnia	Käyttö energiana tonnia	Loppusijoittaminen tonnia
Materiaalit		6	81	26	3 Yksityiskohdat
Maa, maamassat ja kivet					Pilota tyhjät
Rakennustyömaa - materiaalien häviö		0	3	4	0 Yksityiskohdat
Osien vaihto ja peruskorjaukset		0	10	1	0 Yksityiskohdat
Yhteensä		7	94	31	4 Yksityiskohdat

Kuvio 15. Palautettavat materiaalit

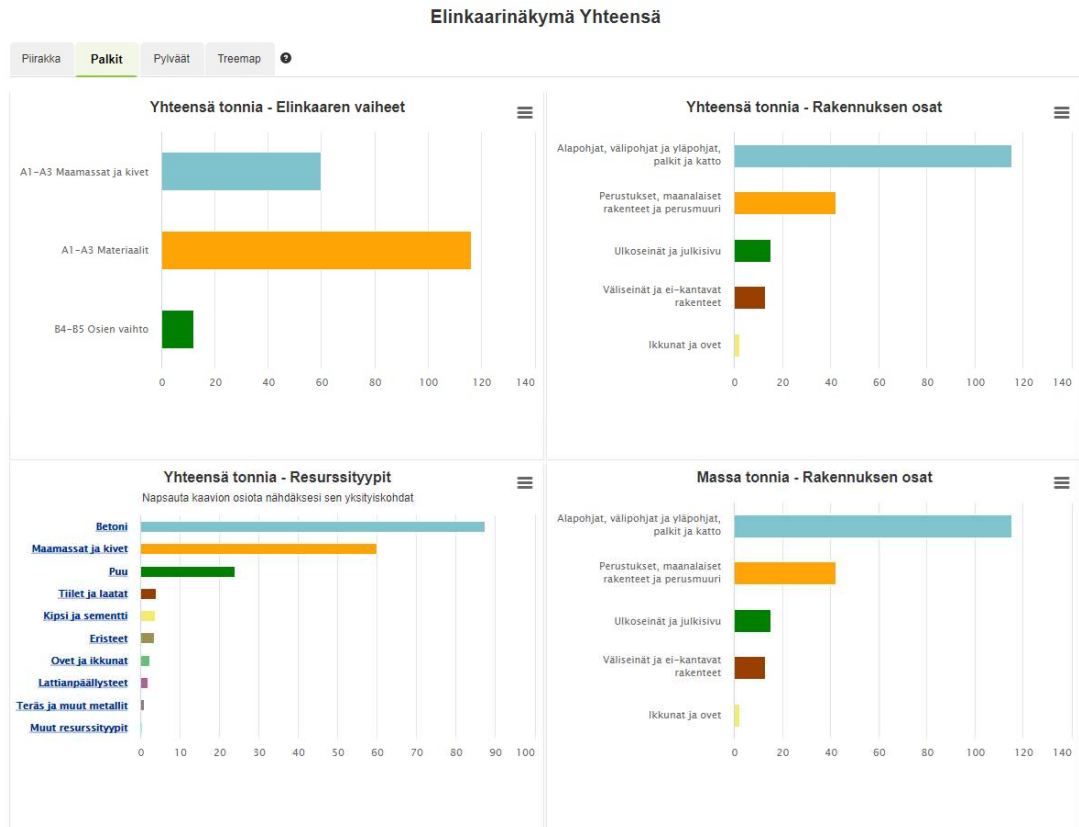
Kuvio 16 kuvaa keskeisiä materiaaleja. Eniten massaa kertyy betonista, jota on 79 tonnia. Toiseksi eniten tulee maasta ja massoista, jota on 60 tonnia. Kolmanneksi eniten puuta ja biogeenistä 24 tonnia. Nesteellisimpiä ovat betoni, tiilet ja keramiikka sekä maa ja maamassat. Uudelleen käytettävää materiaalia ovat metallit joista 82 % voidaan käyttää uudelleen. Puu ja biogeeniset materiaalit voidaan kierrättää lähes kokonaan 99 %. Loppusijoitus prosentit ovat suurimpia kipsipohjaisen (3 %) ja eristeen (83 %) käytössä. Downcycling ja käyttöenergiana 100 % ovat betoni, tiilet ja keramiikka sekä puu ja biogeeninen materiaali. Kierrätys ja käyttö raaka-aineena on suurinta metalleissa 100 % ja kipsipohjaisissa 97 %. Eniten palautettavia materiaaleja ovat metallit ja kipsipohjaiset materiaalit. Kiertoon menevistä eniten saivat prosentteja metallit 91 % ja puu/biogeeninen materiaali 74 %.

Building Circularity - Keskeiset materiaalityhmitt

Tulosluokka	Yhteensä tonnia	Neitseellinen %	Uudelleenkäytettävät materiaalit %	Loppusijoittaminen %	Downcycling ja Käyttö energiana %	Kierrätys ja Käyttö raaka-aineena %	Palautettavat materiaalit %	Kierto %
Betoni	79	100	0		100		50	25 Yksityiskohdat
Metallit	1	18	82			100	100	91 Yksityiskohdat
Tiilet ja keramiikka	2	100	0		100		50	25 Yksityiskohdat
Kipsipohjainen	4	97	3	3		97	97	50 Yksityiskohdat
Eristeet	4	91	9	83	17		9	9 Yksityiskohdat
Lasi								Pilola tyhjät
Puu ja biogeeninen	24	1	99		100		50	74 Yksityiskohdat
Maa ja maamassat	60	100	0					0 Yksityiskohdat
Muut materiaalit	3	75	25	6	30	64	79	52 Yksityiskohdat

Kuvio16. Keskeiset materiaalityhmitt

Kuvio 17 kuvaa elinkaarinäkymää. Elinkaaren vaiheista materiaalit ovat selvästi suurin osa lähes 116 tonnia. Rakennusosista suurimman luvun saa alapohjista, välipohjista ja yläpohjista sekä kattomateriaaleista ja palkeista noin 115 tonnia. Resurssityypeistä korkeimmaksi luvuksi tulee Betoni 87 tonnia. Rakennusosista vähiten ikkunat ja ovet 2,3 tonnia.

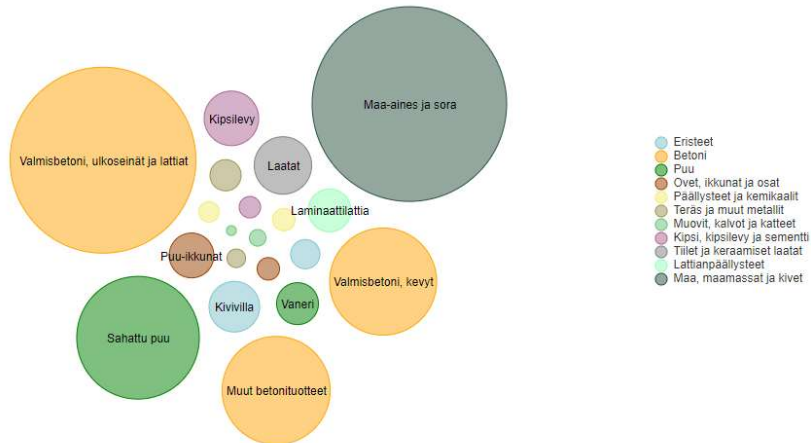


Kuvio 17. Elinkaarinäkymien yhteenveto

Kuvio 18 kuvaa elinkaaren kokonaisvaikutusta resurssien tyypin ja alatyypin mukaan. Kuplakaaviossa isoin kupla kuvaa suurinta ja pienin kupla vähimmäistä massan määrää. Maa-aines ja sora ovat suurin, 60 tonnia ja pienintä kuplaa edustavat tekstiilit ja tapetit.

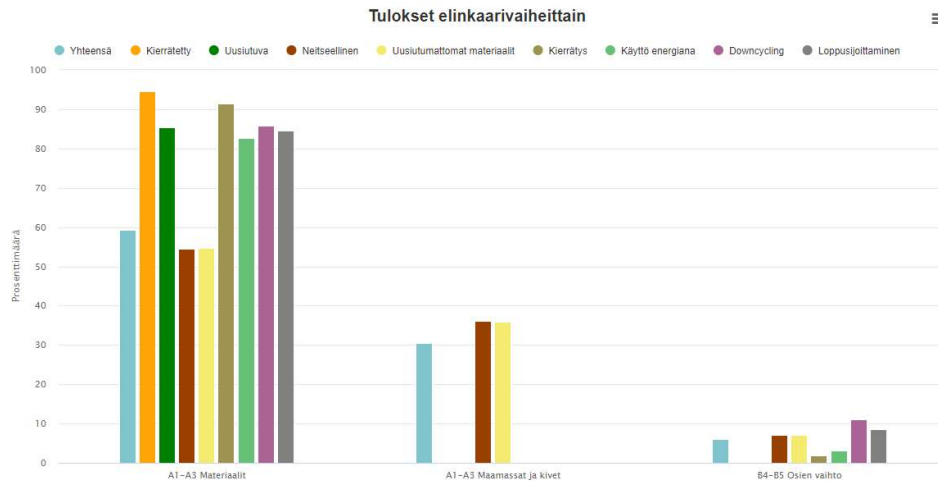
Kuplakaavio, elinkaaren kokonaisvaikutus resurssien tyypin ja alatyypin mukaan, Yhteensä

Korosta vaikutukset osoittamalla hiirtä kaavion tai selitteiden yli



Kuvio 18. Elinkaaren kokonaisvaikutukset kuplakaaviona

Kuva 19 kuvaa tuloksien elinkaaret vaiheittain. Värikoodit kuvaavat kierrätettävyyttä, uusiutuvuutta, nesteellisyyttä, uusiutumattomia materiaaleja, kierrätystä, käyttöenergiaa, downcycling ja loppusijoittamista. Pylväiköissä on mainittu mitä kukin kuvaa. Ensimmäisenä on materiaalit. Toisena on maamassat ja kivet, sekä kolmantena osien vaihto.



Kuvio 19. Tulokset elinkaarivaiheittain

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Päästöjä vertailtaessa tilapinnat, perustukset, alapohjat sekä vesikatot olivat yhdenvertaisia kaikissa kolmessa konseptissa.

Konsepti 1 oli tilan jako-osassa yhdenvertainen konseptin 3 kanssa. Elementit ja elinkaarivaiheita tarkasteltaessa todettiin, että tämä konsepti jää konseptin 2 ja konseptin 3 väliin. Suunnitteluvaiheessa todettiin, että tämä konsepti jäävän konseptin 2 ja konseptin 3 väliin. Kokonaiskuvaa tarkasteltaessa huomataan, että julkisivua tarkastelussa tämän konseptin olevan lähes saman vertainen konseptin 3 kanssa. Luokittelemattomissa osissa todetaan, että tämä konsepti sijoittuu konseptin 2 ja konsepti 3 väliin. Energia vertailussa huomattiin tämän konseptin jäävän konseptin 2 ja konsepti 3 väliin. Materiaalien elinkaaripäästöjen vertailuarvoissa tämä konsepti pääsi luokkaan B. Sitoutuneen hiilen määrä vertailussa tämä konsepti on eniten sitova perustuksen ja maanalaisten sekä vaaka- ja muiden rakenteiden osalta. Sähköä käytetään tässä konseptissa eniten. Ilmaston lämpenemisen kannalta tämä konsepti jää konseptin 2 ja konseptin 3 välille. Hiiltä sitovassa tarkastelussa todettiin tämän konseptin olevan konseptin 2 ja konseptin 3 välillä oleva vaihtoehto.

Konsepti 2 oli tilan jako-osassa eniten hiilijalanjälkeä tuottava osa. Elementit ja elinkaarivaiheita tarkasteltaessa todettiin, että tämä konsepti on eniten päästöjä tuottava vaihtoehto. Suunnitteluvaiheessa todettiin, että tämä konsepti on eniten päästöjä tuottava vaihtoehto. Kokonaiskuvaa tarkasteltaessa huomataan, että julkisivua tarkastelussa tämän konseptin olevan negatiivisimmin vaikuttava vaihtoehto. Luokittelemattomissa osissa todetaan, että tämä konsepti on vähiten päästöjä tuottava. Kaukolämmitys tässä kohteessa on suhteessa suuri verrattuna muihin lämmitysmuotoihin nähden. Energia vertailussa huomattiin tämän konseptin olevan eniten kuluttava vaihtoehto. Materiaalien elinkaaripäästöjen vertailuarvoissa tämä konsepti pääsi luokkaan C. Sitoutuneen hiilen määrä vertailussa tämä konsepti on pystyrakenteiden ja julkisivujen vertailussa eniten sitova kon-

septi. Sähköä käytetään tässä konseptissa vähiten. Ilmaston lämpenemisen kannalta tämä on lämmittävin vaihtoehto. Hiiltä sitovassa tarkastelussa todettiin tämän konseptin olevan vähiten sitova konsepti.

Konsepti 3 oli tilan jako-osassa yhdenvertainen konseptin 1 kanssa. Elementit ja elinkaarivaiheita tarkasteltaessa todettiin, että tämä konsepti on vähiten päästöjä tuottava kokonaisuus. Suunnitteluvaiheessa todettiin, että tämä konsepti on vähiten päästöjä tuottava. Kokonaiskuvaa tarkasteltaessa huomataan, että julkisivua tarkastelussa tämän konseptin olevan lähes saman vertainen konsepti 1 kanssa. Luokittelemattomissa osissa todetaan, että tämä konsepti on eniten päästöjä tuottava. Energiavertailussa huomattiin tämän konseptin olevan vähiten kuluttava vaihtoehto. Materiaalien elinkaaripäästöjen vertailuarvoissa tämä konsepti pääsi luokkaan C. Sähkön käytössä tämä konsepti jää konseptin 1 ja konseptin 2 välille. Ilmaston lämpenemisen kannalta tämä konsepti on vähiten lämmittävä vaihtoehto. Hiiltä sitovassa tarkastelussa todettiin tämän konseptin olevan hiiltä sitovin konsepti.

Yhteenvedossa todettiin, että konsepti 3 on päästöjen sekä sitoutuneen hiilen ja kierrätettävyyden kannalta parhain vaihtoehto. Toiseksi sijoittui konsepti 1 ja kolmanneksi konsepti 2.

8 POHDINTA

Opinnäytetyössä asetetut tavoitteet onnistuttiin saavuttamaan suunnitelmien mukaisesti. Työssä tutkittiin kolmea erilaista pientalokonseptia ja niiden rakentamisen elinkaarivaikutuksia. Työ aloitettiin elinkaariarviointien suorittamisen, rakennuksen hiilijalanjäljen laskennan ja materiaalien kiertotalouden periaatteisiin tutustumalla. Seuraavaksi luotujen konseptien materiaali- ja energiatekijät syötettiin One Click LCA -ohjelmistoon. Tuloksena saatiin erilaisia taulukoita, joista analysoitiin eri tekijöiden ympäristövaikutuksia elinkaaren ajalla. Saatuja tuloksia verrattiin rakennuksen materiaalien, ympäristövaikutusten ja elinkaaren energiatehokkuuden näkökulmasta. Näin muodostettiin käsitys rakennushankkeen kestävydestä. Konseptien kautta tarkasteltiin, millaisia elinkaarivaikutuksia on puurunkoisen, betonirunkoisen ja hirsirunkoisen pientalon välillä. Lisäksi huomioitiin käytetty lämmönlähde ja arvioitiin energian kulutusta ohjelmistoa hyödyntäen. Työskentely eteni järjestelmällisesti ja aikaan saatiin selkeät johtopäätökset, sillä tietoperustaa oli tarjolla laajasti erilaisista lähteistä. Työssä syvennyttiin hirsirakentamiseen ja maalämpöön, jotta saatiin kokonaiskuva näistä materiaaleista ja toimintaperiaatteista. Mielenkiintoista olisi ollut tutkia konseptia 3 esimerkiksi eri lämmönlähteiden näkökulmasta, miten ne olisivat vaikuttaneet hirsirunkoisessa konseptissa. Työssä katsottiin kuitenkin, että materiaalin kierrätettävyyden näkökulma olisi parempi vaihtoehto, jotta saataisiin hyvä käsitys siitä, miten ne sijoituvat elinkaaren loppupäässä. Molempien näkökulmien käsittely taas olisi kasvattanut työtä liian laajaksi. Käytetyn ohjelman avulla luotiin käsitys siitä, mitkä materiaalit ovat hiilijalanjälkeä ajateltuna mahdollisimman hyviä ja mitkä taas huonoja vaihtoehtoja. Ohjelman käyttö oli suhteellisen helppoa, kun siihen tutustui tarkemmin. Hirsirungon nouseminen tuloksissa parhaimmaksi vaihtoehdoksi ei tullut yllätyksenä. Maalämmön vähäiset elinkaaren ympäristövaikutukset sen sijaan yllättivät positiivisesti. Uskomme, että tulevaisuudessa puu-/hirsirakentaminen tulee olemaan isossa roolissa eri rakennushankkeissa sen ympäristöystävällisyyden sekä toimivuuden ja terveellisyydenkin vuoksi. Tulevaisuudessa maalämpö tulee olemaan yksi iso ratkaiseva tekijä energiatehokkuudessa sekä energiaomavaraisuudessa. Kokonaisuutena hyvin mielenkiintoinen ja ajankohtainen aihe.

LÄHTEET

Energiatehokas koti 2020. Lämmitysjärjestelmien elinkaari. Viitattu 31.3.2022 https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/lammitysjarjestelmien_elinkaari.

Laki rakennuksen energiatodistuksesta 18.1.2013/50.

Green Building Council Finland ry. a. Maalämpö osana energiariippumattomuutta ja yhteiskuntamme kriisinhallintaa. 2021. Viitattu 5.4.2022 <https://figbc.fi/maalampo-osana-energiariippumattomuutta-ja-yhteiskuntamme-kriisinhallintaa>.

Green Building Council Finland ry. b. Rakennusten elinkaarimittarit-kahdeksan mittaria kestävään kiinteistöjohtamiseen. Viitattu 31.1.2022 <https://figbc.fi/elinkaarimittarit/>.

Hirsitaloteollisuus ry. 2009, a. Hirsitalon ympäristövaikutukset suotuisia. Viitattu 31.3.2022 <https://www.hirsikoti.fi/fi/media/tuore-tutkimus-hirsiseinan-elinkaaresta-kertoo-hirsitalon-ymparistovaikutukset-suotuisia>.

Hirsitaloteollisuus ry. b. Tietoa tuhannen vuoden takaa. Viitattu 30.3.2022 <https://www.hirsikoti.fi/fi/hirsirakentaminen>.

Huhtanen, J. Rakentamisen ilmastovaikutusten vähentäminen on mahdollista nykykeinoin. 2020. Viitattu 6.4.2022 <https://figbc.fi/rakentamisen-ilmastovaikutusten-vahentaminen-on-mahdollista-nykykeinoin>.

Kuittinen, M. 2019. Rakennusfysiikka 2019. Viitattu 31.1.2022 <https://www.ril.fi/media/2019/koulutus/rakennusfysiikka-2019/rakennusfysiikan-paivat-2019-10-30-kuittinen.pdf>.

Lehtinen, T. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakenteiden lujuus ja vakaus. 2016. Helsinki. Ympäristöministeriön asetus 477/2014 kantavista rakenteista 8§ Suunniteltu käyttöikä.

Maalampo. Maakylmä-ekologinen tapa jäähdyttää. Viitattu 31.3.2022 <http://www.maalampo.fi/artikkelit/maakylma-on-ekologinen-tapa-jaahdyttaa>.

-b. Maalämpöpumppu on energiatehokas. Viitattu 31.3.2022 <http://www.maalampo.fi/artikkelit/miksi-valitsisin-maalammon>.

-c. Mitä maalämpö on. Viitattu 31.3.2022 <http://www.maalampo.fi/artikkelit/mita-maalampo-on>.

Metsäteollisuus 2010. puurakentaminen. Puurakentaminen on ratkaisu. Viitattu 2.2.2022 <https://docplayer.fi/4513683-Puurakentaminen-on-ratkaisu-puurakentaminen.html>.

One Click LCA. 2021, a. Rakennus ja infrastruktuurihankkeisiin. Viitattu 7.3.2022 <https://www.oneclicklca.com/fi/rakennushankkeisiin>.

-2021, b. Viitattu 7.3.2022 <https://www.oneclicklca.com/fi>.

Poikajärvi, M. 2018. Kohti ympäristöystävällistä rakentamista. Rovaniemi. Lapin ammattikorkeakoulu. Sarja B. Tutkimusraportit ja kokoomateokset 3/2018. Viitattu 2.2.2022 <https://www.lapinamk.fi/loader.aspx?id=9a5ba0cf-348f-4e64-ac7c-eb3a346b0d3b>.

Puuinfo Oy. 2020. Hirsirakentamisen määrittäminen. Viitattu 23.3.2022 <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/hirsirakentamisen-maaritelmia>.

-2020b. Ominaispiirteitä. Viitattu 23.3.2022 <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/ominaispiirteita>.

Rakennusteollisuus RT ry. a. Jätedirektiivi ja jätelainsäädäntö. Viitattu 5.2.2021 <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Rakentamisen-materiaalitehokkuus/Jatedirektiivi-ja-lainsaadannon-kokonaisuudistus>.

Rakennusteollisuus RT ry. b. Kansallinen materiaalitehokkuusohjelma tähtää kestäväan kasvuun. Viitattu 5.2.2021 <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Rakentamisen-materiaalitehokkuus/Kansallinen-materiaalitehokkuusohjelma>.

Rakennusteollisuus RT ry. c. Kestävärakentaminen on vastuullista rakentamista. Viitattu 31.1.2022 <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Kestava-rakentaminen>.

Rakennusteollisuus RT ry. d. Materiaalitehokkuus säästää kustannuksia ja vähentää haitallisia ympäristövaikutuksia. Viitattu 5.2.2021 <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Rakentamisen-materiaalitehokkuus>.

Rakennusteollisuus RT ry. e. Rakennuksen elinkaari kestävän rakentamisen lähtökohtana. Viitattu 2.2.2021 <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Kestava-rakentaminen/Rakennuksen-elinkaari>.

Rakennusteollisuus RT ry. f. Rakentamisen materiaalitehokkuuden toimenpideohjelma. Viitattu 5.2.2021 <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Rakentamisen-materiaalitehokkuus/Rakentamisen-materiaalitehokkuuden-toimenpideohjelma>.

Rakennusteollisuus RT ry. g. Ympäristöluokitukset tekevät kiinteistöistä vertailukelpoisia. Viitattu 2.2.2021 <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Rakentaminen-ja-vaaralliset-aineet/Ymparistoluokitukset>.

Rakennusteollisuus RT ry. h. Ympäristövaikutusten ja kestävän rakentamisen arviointistandardit ja luokitukset. Viitattu 3.2.2021 <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Rakentaminen-ja-vaaralliset-aineet>.

Rakennustieto Oy 2017. Elinkaariasiantuntijan tehtäväluettelo elink18. RT 10-11291. Viitattu 2.2.2022 <https://kortistot-rakennustieto-fi.ez.lapinamk.fi/resource/juha/content/1435#page=1>.

Sulpu ry. Suomen huippusähkötehtäville olisi satoja megawatteja korkeampi ilman miljoonaa lämpöpumppua ja tuleva lämmityssektorin sähköistäminen ilman lämpöpumppuja olisi ihan eri kokoluokan haaste. 2021. Viitattu 5.4.2022 <https://www.sulpu.fi/suomen-huippusahkotehontarve-olisi-satoja-megawatteja-korkeampi-ilman-miljoonaa-lampopumppua-ja-tuleva-lammityssektorin-sahkoistaminen-ilman-lampopumppuja-olisi-ihan-eri-kokoluokan-haaste>.

Vahnen, R. & Soimakallio, H. 2013. RIL 216-2013 Rakenteiden ja rakennusten elinkaaren hallinta. Helsinki. Tammerprint.

Vatanen M. Rakennusten elinkaari mittarit. Lapin amk luentoaineisto. Viitattu 2.2.2022 https://moodle.eoppimispalvelut.fi/pluginfile.php/996913/mod_resource/content/2/Kest%C3%A4v%C3%A4%20rakentaminen%20-%20yleistieto.pdf.

Vattenfall. Energialuokat. Viitattu 9.4.2022 <https://www.vattenfall.fi/energianeuvonta/asu-energiatohokkaasti/omakotitalo/omakotitalon-ostaminen/omakotitalon-energialuokka>.

WWF. Ilmastomuutos. Viitattu 7.3.2022 <https://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos>.

Ympäristöministeriö 2019, a. Maankäyttö ja rakentaminen. Viitattu 2.2.2021 https://www.ym.fi/fi/maankaytto_ja_rakentaminen/Kansainvalinen_yhteisty/Levels__Rakennusten_resurssitehokkuuden_yhteiset_EUmittarit.

Ympäristöministeriö 2019, b. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22. Helsinki. Viitattu 2.2.2022 https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisyyden_arviointimenetelma.pdf.