

Suuren rakennuksen hiilijalanjälkilaskenta vähähiilisyyden arviointimenetelmää noudattaen

Elisa Leino

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2021
Tekniikan ala
Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikka

Tekijä(t) Leino Elisa	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 22.03.2021
	Sivumäärä 58	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Suuren rakennuksen hiilijalanjälkilaskenta vähähiilisuuden arviointimenetelmää noudattaen		
Tutkinto-ohjelma Energia- ja ympäristötekniikka		
Työn ohjaaja(t) Honkanen Hannariina, Nuutinen Marjukka		
Toimeksiantaja(t) Järvinen Ari, Lamit.fi		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö tehtiin osakeyhtiö Lamit.fi:n toimeksiantona ja sen tavoitteena oli puurakenteisen paikoitushallin elinkaaren aikainen päästöselvitys vähähiilisuuden arviointimenetelmää- ja työkalua käyttäen. Päästöselvitykseen kuuluu hiilijalanjälki, jolla kuvataan arviointikohteen elinkaaren aikana tuottamia kokonaispäästöjä sekä hiilikädenjälki, jota käytetään päästövähennyspotentiaalil ilmaisemiseen. Helsingin ja Vantaan yhteishankkeen tavoitteena oli Suomen viranomaisvaatimukset täyttävän puurakenteisen pysäköintilaitoksen kehittäminen.</p> <p>Työssä perehdyttiin Ympäristöministeriön julkaisemaan Euroopan Komission Level(s) ja EN-standardeihin pohjautuvaan vähähiilisuuden arviointimenetelmään, joka on tarkoitettu uudisrakennusten ja laajamittaisten korjausten hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen arviointiin. Työssä hyödynnettiin jo olemassa olevaa tutkimusaineistoa, jota sovellettiin uuteen kohteeseen. Opinnäytetyön tuloksina saatiin elinkaarilaskenta konkreettiselle kohteelle, vertailut betoni- ja puurakenteiden välillä sekä tietoa ja huomioita laskennan toimintaperiaatteista.</p> <p>Puu on uusiutuva raaka-aine, joka kasvaessaan myös sitoo hiilidioksidia, joten puurakentamisen lisääminen edistää osaltaan vähähiilisyyttä. Puurakenteisen paikoitushallin hiilikädenjälki huomattavasti hiilijalanjälkeä suurempi ja tällöin se kompensoi kokonaispäästöjä. Suurin osa paikoitushallin hiilijalanjäljestä syntyy ennen käyttöä, ja tulokset puu- ja betoniratkaisujen vertailussa puhuivat puurakentamisen puolesta. Arvioinnilla on tärkeä merkitys Suomen ollessa sitoutunut merkittäviin kasvihuonepäästövähennyksiin ja se tulee kehittymään tulevaisuudessa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Hiilijalanjälki, hiilikädenjälki, vähähiilisyys		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Leino Elisa	Type of publication Bachelor's thesis	Date 22.03.2021 Language of publication: Finnish
	Number of pages 58	Permission for web publication: x
Title of publication Carbon footprint calculation of a large building according to the low carbon assessment method		
Degree programme Energy- and environmental technology		
Supervisor(s) Honkanen Hannariina, Nuutinen Marjukka		
Assigned by Ari Järvinen, Lamit.fi		
Abstract <p>The thesis was commissioned by Lamit.fi and its target was to investigate the emissions of a wooden parking building during the life cycle using a low-carbon assessment method and tool. This investigation includes a carbon footprint and carbon handprint. Carbon footprint describes a total amount of greenhouse gases and carbon handprint the emission reduction potential (the emission avoided by using a product or process). This Project is working on the development of wooden parking building that complies with the Finnish standards.</p> <p>Thesis examined the low carbon assessment method based on the European Commission's level(s) method and EN standards published by the Ministry of the Environment. The assessment method is meant to be used to calculate the carbon footprint and the carbon handprint for the new buildings or major repairs.</p> <p>Thesis utilized existing research material which was used to new target. Calculation tool from Ministry of the environment was used to help the main calculation. As a result of a thesis are life cycle calculation, comparisons between concrete and wood structures as well as information and observations on the operating principles of calculation</p> <p>Wood is a renewable raw material and it also binds carbon dioxide. The use of wood could reduce the carbon footprint of construction. With a wooden parking building, the carbon handprint is considerably larger than the carbon footprint, and in this case, it compensates the total emissions. The results in the comparison of wood and concrete solutions speak in favor of wood. The assessment has significant importance when Finland is committed to reducing greenhouse gas emissions and it will develop in the future.</p>		
Keywords/tags (subjects) carbon footprint, carbon handprint, low-carbon assessment		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

Kuviot	6
Termit ja lyhenteet	7
1 Johdanto	8
1.1 Opinnäytetyön aihe	8
1.2 Lomit.fi.....	9
2 Opinnäytetyön tavoitteet ja toteutus	10
2.1 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset	10
2.2 Toteutus ja tiedonhaku	11
3 Hiilijalan- ja kädenjälki	13
3.1 Hiilijalanjälki	14
3.2 Hiilikädenjälki	15
4 Yhteiskunnan tavoitteet vähähiilisyyteen	16
4.1 Taustaa	16
4.2 Tavoitteet	17
4.3 Keinot	18
4.3.1 Hallitusohjelma.....	18
4.3.2 Vähähiilisyyden tiekartta.....	19
5 Puurakentaminen	22
5.1 Vähähiilisyyden näkökulmasta	22
5.2 Puurakentamisen ohjelma	23
6 Vähähiilisyyden arviointimenetelmä	25
6.1 Yleisesti	25
6.2 Elinkaaren vaiheet	27
6.2.1 Tuotevaihe	28
6.2.2 Rakentaminen.....	28
6.2.3 Käyttövaihe	30
6.2.4 Elinkaaren loppu	32

	5
6.2.5 Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset.....	33
7 Laskentakohde	34
8 Laskenta.....	36
8.1 Ennen käyttöä.....	36
8.1.1 Materiaalit	36
8.1.2 Talotekniikka.....	37
8.2 Käytön aikaiset päästöt	38
9 Tulokset	39
10 Ratkaisujen vertailu.....	41
11 Johtopäätökset.....	43
12 Pohdinta.....	44
12.1 Päästölaskenta.....	44
12.2 Eettisyys.....	45
Lähteet	46
Liitteet.....	49
Liite 1. Elinkaaren vaiheet.....	49
Liite 2. Arvioitavat rakennusosat (Moduuli A).....	50
Liite 3. Yhteenveto vähähiilisyden arviointimenetelmästä ja sen rajauksista....	51
Liite 4. Taulukkoarvot eri moduuleille	52
Liite 5. Taloteknisten järjestelmien päästötiedot.....	53
Liite 6. Aurinkopaneelien tuottolaskenta Aurinko-opas 2012	54
Liite 7. Ympäristöministeriön laskentatyökalun käyttöohje.....	56
Liite 8. Tulokset vähimmäisvaatimuksien mukaan	58

Kuviot

Kuvio 1. Tiedonhakuprosessi.	11
Kuvio 2. Hiilijalan- ja kädenjälki, periaate.....	13
Kuvio 3. Hiilijalanjäljen muodostuminen kerrostalossa (Tiekartta rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen vähentämiseksi valmisteilla 2016).	14
Kuvio 4. Vähähiilisyden tiekartta (Bruce-Hyrkäs n.d.)	21
Kuvio 5. Rakennuksen elinkaaren vaiheet (Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä 2019, 16).	27
Kuvio 6. Laskennallinen vaihtoväli (Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä 2019, 22)	30
Kuvio 7. Energiamuotojen päästökertoimet (Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä 2019, 48)	31
Kuvio 8. Kuva suunnitellusta paikoitushallista (Konseptin suunnittelun kehittämishanke).	35
Kuvio 9. Taloteknisten järjestelmien hiilijalanjäljen jakautuminen.....	37
Kuvio 10. Elinkaaren päästöjen jakautuminen.	39
Kuvio 11. Elinkaaren hiilikädenjäljen jakautuminen.	40
Kuvio 12. Päästöt vaiheittain (Rakennuksen hiilijalanjäljen arviointityökalu 2019).	40
Kuvio 13. Puu- ja betoniratkaisun vertailu.	42

Termit ja lyhenteet

HJJ	Hiilijalanjälki= ilmastopäästöt, jotka tuote/toiminta/palvelu aiheuttaa elinkaarensa aikana.
HKJ	Hiilikädenjälki = Tuotteen tai palvelun ilmastohyödyt eli päästövähennyspotentiaali. Aina positiivinen tekijä, mutta ilmoitetaan negatiivisena kokonaislukuna
Hiilidioksidiekvivalentti	Suure, jolla ilmastovaikutuksia kuvataan. Ilmaisee kasvihuonekaasujen määrän tietyn ajanjakson aikana.
Karbonisoituminen	Ilmiö, jossa sementin valmistuksen aikana kalkkikivestä vapautunut hiilidioksidi sitoutuu takaisin sementtikiveen.
Hiilinielu	Ilmakehästä hiilidioksidia poistava toiminta
Hiilivarasto	Ilmakehän hiili, joka on varastoitunut tuotteeseen
Hiilineutraalius	Päästöjä syntyy korkeintaan saman verran kuin niitä on mahdollista sitoa hiilinieluihin

1 Johdanto

Suomi on ilmastopöimusten ja EU:n kautta sitoutunut huomattaviin kasvihuonepäästövähennyksiin. Rakentaminen on tehokkain sektori vähentää näitä päästöjä, (Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa 2017, 8), sillä Euroopan komission mukaan rakennussektori vastaa EU:ssa n. puolta energian ja materiaalien käytöstä sekä kolmannesta veden käytöstä ja jätteen synnystä. (Mts. 12.) Suomessa se aiheuttaa noin kolmanneksen kasvihuonepäästöistä sekä 40 % energiankulutuksesta (Kuittinen & Le Roux 2017, 13).

Vuonna 2017 ympäristöministeriö julkaisi vähähiilisen rakentamisen tiekartan, jonka tavoitteena on hiilijalanjäljen huomioiminen rakentamisen ohjauksessa ja vuonna 2019 hallitusohjelmassa linjattiin, että tätä tiekartan toteuttamista tulisi nopeuttaa. Vähähiilisyyden on myös osa käynnissä olevaa kokonaisuudistusta maankäyttö- ja rakennuslaissa. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 13.)

Vähähiilisellä rakennuksella on pieni hiilijalanjälki ja suuri kädenjälki. Hiilijalanjälkeen sisältyy rakennuksen tuottamat kasvihuonepäästöt koko elinkaaren ajalta ja hiilikädenjälkeen sellaisten ilmastovaikutusten nettohyödyt, joita ei ilman kyseistä rakennushanketta syntyisi (esimerkiksi hiilinielut, hiilivarastot, ylimääräinen elinkaaren aikana tuotettu uusiutuva energia sekä tuotteiden uudelleenikäytön ja/tai kierrätyksen ansiosta aikaansaadut hyödyt). (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 32.)

1.1 Opinnäytetyön aihe

Opinnäytetyön aiheena oli hiilijalanjälkilaskelma suurelle rakennukselle, eli tässä tapauksessa puiselle paikoitushallille. Laskelma toteutettiin vähähiilisyyden arviointimenetelmän mukaisesti ja yksinkertaista laskentatyökalua (ks. Liite 7) käyttäen. Opinnäytetyössä tutkittiin elinkaarta kokonaisuutena saaden aikaan tulokset, johtopäätökset sekä havainnot ja jatkokehitystä ajatellen.

Opinnäytetyön aiheen valintaan vaikutti moni asia. Päästövähennysvaatimusten myötä aihe on tärkeä ja hyvinkin ajankohtainen. Itse laskentakohde oli myös ainutlaatuisuudessaan mielenkiintoinen ja tarjosi haasteita. Henkilökohtaisesti aihe kiinnosti, sillä se liittyi opiskelualaani ja aiempaa tietoa hiilijalanjälkilaskelmista ja kiertotalouden periaatteista löytyi. Halusin syventää aiemmin oppimaani ja tämä aihe mahdollisti siihen.

Aiheen hyödyllisyys oli yksi valintaan vaikuttanut tekijä. Opinnäytetyö tarjoaa konkreettisen hyödyn toimeksiantajalle sekä laskennan tilaajalle, mutta sillä on vaikutuksia laajemminkin. Vähähiilisyiden arvioinnin kautta voidaan vaikuttaa päästöihin ja sitä kautta myös ilmastomuutokseen. Hiilijalanjäljen ja koko päästölaskennan merkitystä täytyy saada jaettua eteenpäin. Opinnäytetyö kokoaa tietoa ja johtopäätöksiä yhteen, mikä on arviointimenetelmän kehittymisen sekä tiedon jakamisen kannalta merkittävää.

1.2 Lamit.fi

Toimeksiantajana opinnäytetyössä on vuonna 1995 perustettu osakeyhtiö Lamit.fi, joka toimii energia-alan erikoisosaajana. Lamit.fi vie yrityksiä, rakennuksia sekä prosesseja energiatehokkaammiksi toteuttamalla energiaselvityksiä, energiatodistuksia ja mittaamalla rakennusten energiankulutusta ja muita ominaisuuksia. Lämpöselvitys on Lamitin oma palvelu, joka koostuu analysointivaiheesta, urakan kilpailuttamisesta ja toimenpiteiden loppuunsaattamisesta. Eli lamit.fi tuo tietoa rakennusten korjaus-, suunnittelu-, sekä rakentamisprosesseihin niin energiatehokkuudesta, lainsäädännöstä kuin laskentamenetelmistäkin suunnittelupalveluiden ja koulutusten kautta. (Osakeyhtiö lamit.fi- erurivin kotimaista osaamista rakennusten energia- ja resurssitehokkuudesta n.d.)

2 Opinnäytetyön tavoitteet ja toteutus

2.1 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset

Opinnäytetyön tavoitteena oli päästölaskelmat puurakenteiselle paikoitushallille pääkaupunkiseudulle tuoden tietoa hiilijalan- ja kädenjäljestä sekä itse laskentamenetelmästä. Tavoitteena oli tarkastella hiililaskennan taustaa, hallituksen tavoitteita hiilineutraaliuden ja puurakentamisen suhteen sekä keinoja tavoitteiden saavuttamiseksi. Lisäksi tavoitteena oli tuoda ilmi puu- ja betoniratkaisujen eroja hiilijalanjälkeä ajatellen.

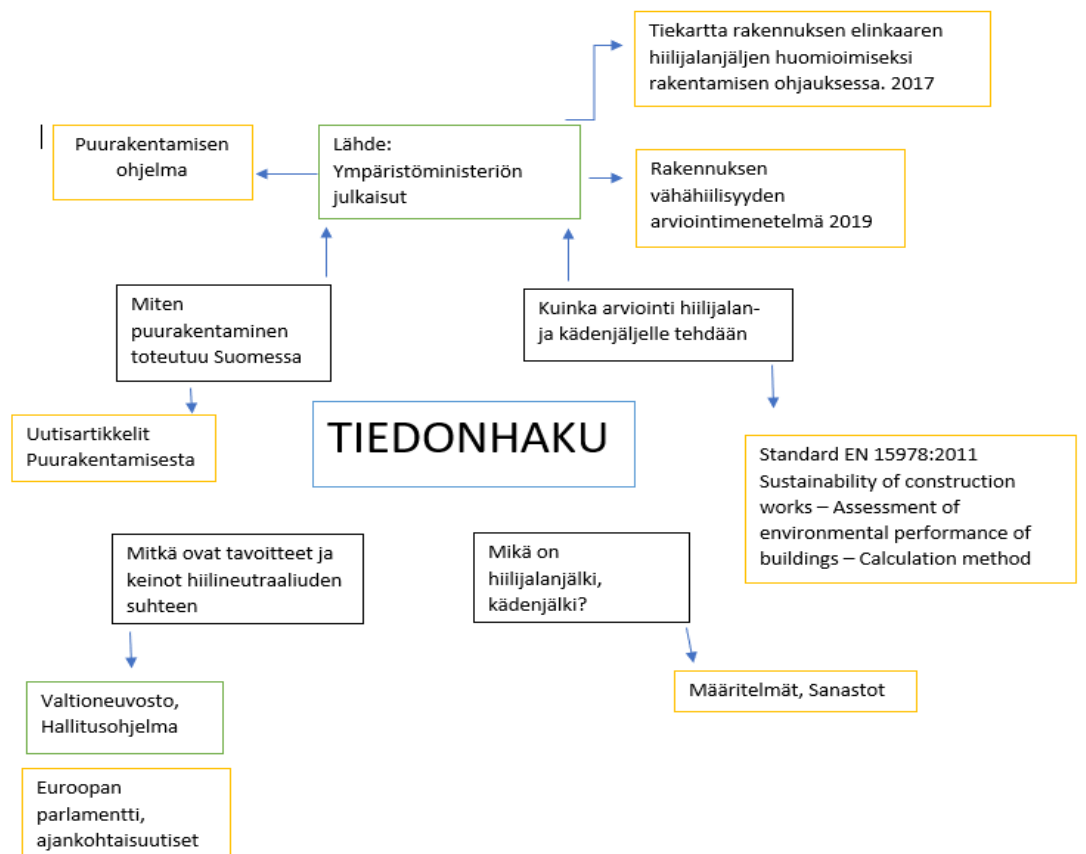
Hiilijalan- ja kädenjälki oli merkittävässä roolissa (vähähiilisyyden arviointimenetelmän näkökulmasta) ja arviointi tehtiin suurelle rakennukselle (käytännössä kuitenkin sama periaate kuin pienissä, mutta eri mittakaavassa). Laskentaan (tutkimusosio) oli konkreettinen kohde, joka rajasi aihetta ja spesifioi opinnäytetyötä siihen. Kohde oli osa Helsingin ja Vantaan yhteistä kehittämishanketta. Rajaus tehtiin siten, että tutkimusosiossa käsiteltiin ainoastaan toista yhteishankkeen kohdetta, eli tässä tapauksessa Helsingin paikoitushallia.

Opinnäytetyö rajattiin koskemaan puurakenteita, joka huomioitiin itse laskennassa, mutta myös tietoperustassa. Vähähiilisyyden arviointimenetelmä itsessäänkin toi opinnäytetyöhän rajauksia, sillä siinä on määritelty arviointiin kuuluvat sekä ulkopuolelle jätettävät osat ja toimet (ks. Liite 3). Tietoperusta tukee laskentakohdetta ja lähestyy sitä puurakentamisen ja vähähiilisyyden näkökulmasta.

Hiilijalanjälkilaskelman ollessa osana suurempaa hanketta, se rajattiin aikataulullisesti siten, että se eteni loogisesti hankkeen ja muiden suunnitelmien rinnalla. Eli työn valmistuminen suunnitellusti keväällä 2021.

2.2 Toteutus ja tiedonhaku

Työssä hyödynnetyt lähteet ja aineisto on ajankohtaista. Lähteiden valinnassa on otettu huomioon, se että aihe on pinnalla ja muutoksia tulee nopeasti. Tiedonhakua tehdessä lähteitä on siis tarkasteltu kriittisesti ja tietoperustaa varten valittu viimeisintä tietoa aiheesta tarjoavat lähteet. Päälähteenä opinnäytetyössä oli Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmä 2019, sillä siihen koko hiilijalanjälkilaskelma pohjaa. Myös muita Ympäristöministeriön julkaisuja käytettiin tietoperustan luomiseen. Nämä ovat aiheen kannalta olennaisia ja luotettavia tietolähteitä. Kuviossa 1 eritelty ajatuskartan avulla opinnäytetyön kannalta merkittäviä kysymyksiä ja tiedonlähteitä.



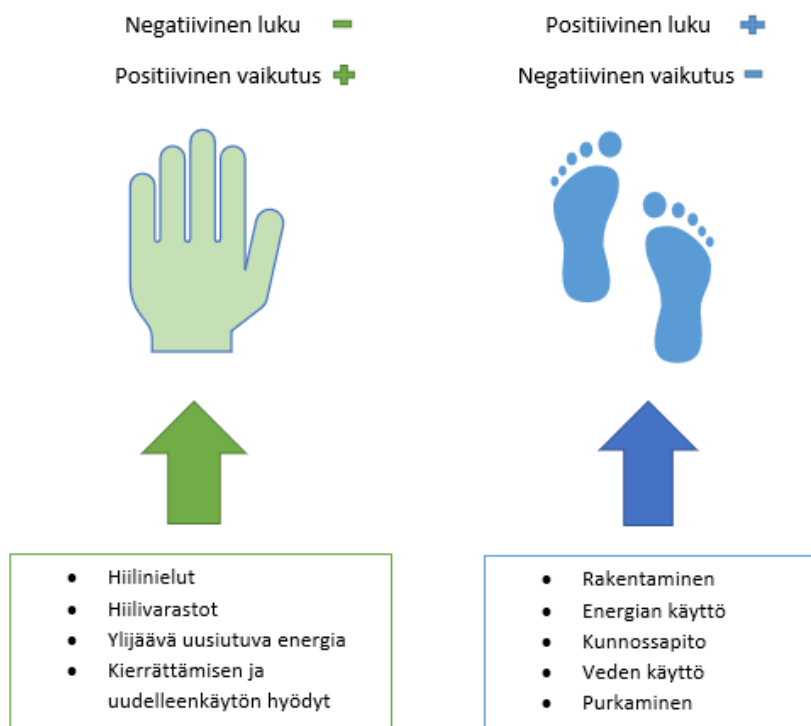
Kuvio 1. Tiedonhakuprosessi.

Työ toteutettiin kehittämistutkimuksena, sillä siinä käytetään tieteellisiä menetelmiä (Arviointimenetelmä ja standardit) ja niiden avulla tuotettiin uutta tietoa (kohteen päästötiedot). Kehittämistutkimuksessa ei tuloksia voi välttämättä yleistää, mutta muutosprosessi voidaan tehdä samoin vastaavanlaisessa kontekstissa. (Kyllönen & Hyöky 2013, 15.) Tässä opinnäytetyössä oli kyseessä tapaustutkimus, sillä tutkittavana on yksi tapaus laajemmasta ilmiöstä (Tutkijan ABC 2015). Laskentakohdetta voidaan ajatella tapauksena.

Aineistonkeruumenetelminä oli havainnointi kohteesta elinkaaren eri vaiheissa sekä aiemmat julkaisut aiheesta, pyrkien tuottamaan niistä uutta tietoa eri näkökulmien kautta. Tutkimusaineisto koostuu arviointimenetelmän liitteiden taulukkoarvoista, kansallisen päästötietokannan arvoista sekä laskennan tuloksista. Itse laskelmaa varten luotiin materiaaliluettelo tontille ja arvioituihin taloteknisiin järjestelmiin. Tutkimusaineisto oli siis pääasiassa kvantitatiivista eli määrällistä sen ollessa numeerisessa muodossa, mutta myös laadullisia aineistoja hyödynnettiin tietoperustan ja johtopäätösten luomisessa (Tutkijan ABC 2015).

3 Hiilijalan- ja kädenjälki

Rakentaminen/rakennukset aiheuttavat noin kolmasosan koko Suomen ilmastopäästöistä. Koko elinkaaren aikana syntyvät ilmastopäästöt saadaan selville laskemalla rakennukselle hiilijalanjälki. Laskennan avulla voidaan suunnitteluvaiheessa analysoida eri ratkaisujen vaikutuksia ja valita optimaalisimmat sekä päästöjen kannalta parhaimmat ratkaisut ottaen huomioon kuitenkin rakennuksen investointikustannukset. Näin ollen pysytään vaikuttamaan myös ilmastonmuutokseen. (Hiilijalanjälkilaskenta n.d.) Kun yhdistetään energia- ja hiilijalanjälkilaskenta, saadaan hyvin selville rakennuksen kokonaiskuva energiankulutuksesta, päästöistä sekä ratkaisujen vaikutuksista. (Mt.) Tuomalla hiilikädenjäljen hiilijalanjäljen rinnalle, saadaan ilmaistua päästövaikutukset laajemmin. Kuviossa 2 esitetty hiilijalanjäljen ja hiilikäden toimintaperiaate ja niihin vaikuttavat asiat.

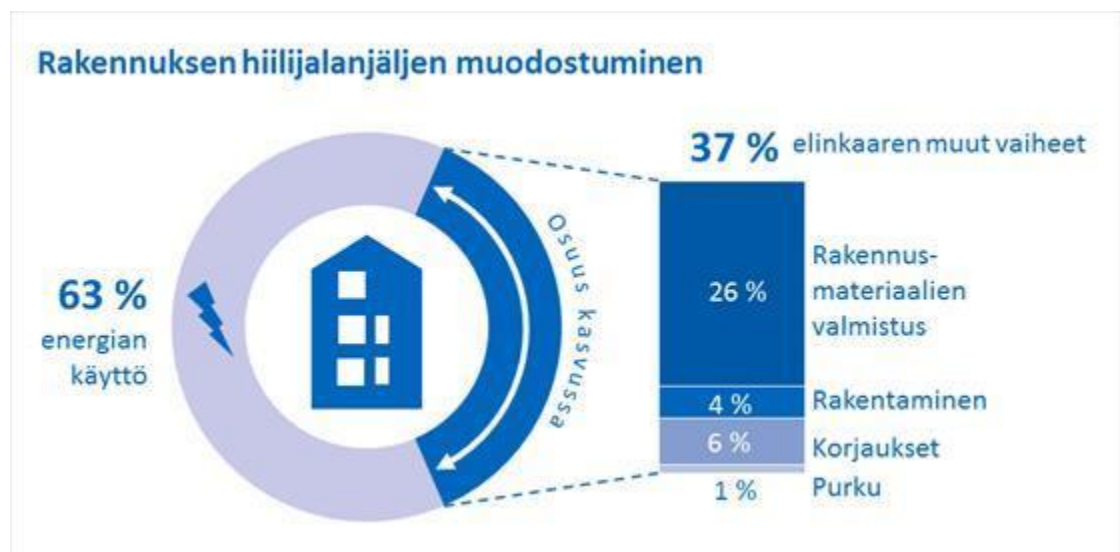


Kuvio 2. Hiilijalan- ja kädenjälki, periaate.

3.1 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjälki voidaan laskea tapahtumalle, yritykselle, organisaatiolle, yksittäiselle ihmiselle, tuotteelle tai jollekin toiminnalle. Siihen kuuluu hiilidioksidipäästöjen lisäksi myös muut ratkaisevat kasvihuonepäästöt (esimerkiksi metaani ja typpioksiduuli). Eli sillä tarkoitetaan ilmastopäästöjä, joita toiminnot ja teot aiheuttavat. (Mikä on hiilijalanjälki? N.d.)

Kaikki kulutukset aiheuttavat etenkin hiilidioksidia sisältäviä kasvihuonekaasupäästöjä. Nämä kasvihuonekaasupäästöt muunnetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO₂e) sen mukaan, kuinka suuri suhteellinen vaikutus niillä on kasvihuoneilmistöön. (Mitä tarkoittavat hiilijalanjälki, ilmastoalanjälki ja ekologinen jalanjälki? 2020.) Hiilidioksidiekvivalentti on ilmastotieteessä käytetty suure, joka kuvaa tuotettujen kasvihuonekaasujen ilmastovaikutusta (Mikä on hiilijalanjälki? N.d.). Tällä tarkoitetaan ilmastolämpenemisvaikutusta, joka aiheutuu yhdestä kilogrammasta ilmakehään päässeestä hiilidioksidista sadassa vuodessa (Mikä hiilijalanjälki? N.d.). Kuviossa 3 esitetty keskimääräisen asuinkerrostalon hiilijalanjäljen muodostuminen elinkaaren vaiheissa. Tällä hetkellä yksi suurimmista päästöjen aiheuttajista rakennuksen elinkaaren aikana on rakennuksen energiankulutus (Hiilijalanjälkilaskenta n.d.).



Kuvio 3. Hiilijalanjäljen muodostuminen kerrostalossa (Tiekartta rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen vähentämiseksi valmisteilla 2016).

3.2 Hiilikädenjälki

Hiilikädenjäljellä tarkoitetaan tuotteen, prosessin tai palvelun ilmastohyötyjä eli päästönvähennyspotentiaalia. Se korostaa myönteisiä päästövaikutuksia tulevaisuudessa ja sitä voi saada aikaan valtio, yhdistys, yritys ja yksittäinen ihminenkin. (Tulevaisuussanasto: Hiilikädenjälki n.d.)

Kädenjälki on kehittyvä ympäristömittari ja sitä käyttämällä on mahdollisuus toimia edelläkävijänä tuomalla tietoa positiivisista ympäristövaikutuksista. Siihen voidaan vaikuttaa parantamalla energiatehokkuutta, tekemällä oikeita raaka-ainevalintoja (ilmastomyönteisempiä), pienentämällä materiaalien käyttöä, parantamalla tuotteiden käytettävyyttä ja pidentämällä niiden käyttöikää sekä vähentämällä hukkaenergian määrää. Aloite hiilikädenjäljen kehittämiseksi tuli suomalaisilta yrityksiltä ja se pohjautuu standardoituihin arviointimenetelmiin. (Hiilikädenjälki: Uusi ympäristömittari tuotteiden positiivisten ilmastovaikutusten arviointiin 2018.)

Hiilikädenjälkeä voidaan käyttää esimerkiksi ohjaamaan suunnittelua tai vihreän rahoituksen ja julkisten hankintojen kriteerinä. Hiilikädenjäljen avulla ei keskitytä rakennuksen aiheuttamiin ongelmiin tai päästöihin vaan sillä etsitään, mitä hyvää hankkeilla voidaan tehdä. (Vähähiilisen rakentamisen neuvontapalvelu n.d.)

Kädenjälkeä laskettaessa summataan käyttöiän aikaiset eloperäiset hiilivarastot, hiilinielut ja elinkaaren ulkopuolisen materiaalien uudelleenkäytön, kierrätyksen sekä mahdolliset energiahyödyntämisen avulla vältettävät päästöt. Laskennassa käytetään sillä hetkellä käytössä olevaa tuotanto-, kierrätys-, tai energiateknologiaa. (Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä 2019, 36.)

Hiilikädenjälkeä ei kuulu vähentää hiilijalanjäljestä, vaan se esitetään omana erillisenä tietonaan. Hiilidioksidiekvivalentin paino jaetaan rakennuksen lämmitetyllä nettopinta-alalla (m^2) sekä arviointijakson pituudella (a). Tulos kuuluu esittää negatiivisena kokonaislukuna. (Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä 2019, 36.)

4 Yhteiskunnan tavoitteet vähähiilisyteen

4.1 Taustaa

Ilmastonmuutos, luonnon biodiversiteetin heikentyminen ja luonnonvarojen ja -ressurssien ylikulutus ovat maailman sekä ihmiskunnan suurimpia haasteita, mutta ilmastonmuutoksen hillitseminen on mahdollista. Ympäristön tila ja ihmisten huoli vaativat nopeita toimenpiteitä. Suomella on mahdollisuus olla kokoaan suurempi ilmasto- ja kehityshaasteen ratkaisija. (Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi n.d.)

Suomi on allekirjoittanut Pariisin ilmastopimuksen ja eduskuntapuolueiden yhteinen linjaus on ilmoittanut päämäärän vaativan sellaisia ilmastotoimia, että hiilineutraalius saavutetaan EU:ssa ennen vuotta 2050 (Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi n.d.). Tähän sopimukseen on sitoutunut yhteensä 195 maata. Nollapäästöjen saavuttamiseksi olisi kaikki maailman kasvihuonepäästöt pystyttävä ottamaan talteen. (Mitä Hiilineutraalius tarkoittaa ja miten se saavutetaan 2050 mennessä? 2019.)

Ilmaston lämpötilan nousu yli puolentoista asteen nopeuttaa eri lajien sukupuuttoa, saa aikaan alueiden muuttumisen elinkelvottomiksi, vaarantaa niin veden saatavuuden, ruuan tuotannon kuin koko ekosysteemin toimivuudenkin. Suomi on onnistunut vähentämään päästöjään yli 21 % vuodesta 1990 ja EU:n tavoitteet vuodelle 2020 saavutettiin etuajassa. Ilmaston lämpeneminen kuitenkin lähestyy 1,5 asteen rajaa, joten päästövähennyksiä on tiukennettava entisestään. (Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi n.d.)

4.2 Tavoitteet

Suomen kansainväliset sekä omat tavoitteet koskevat erityisesti nimenomaan kasvi-huonepäästöjä. Myös ympäristösuojelulainsäädännössä huomioidaan paikallisia ympäristövaikutuksia, joten on siis pyrittävä kehittämään toimiva sääntelykeino rakennuksien osalta päästövähennystavoitteiden tavoittamiseksi. (Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa 2017, 13.)

Hallitus pyrkii Suomen hiilineutraaliuteen vuoteen 2035 mennessä ja hiilinegatiivisuuteen sen jälkeen. Suomi tekee oman osansa maailman keskilämpötilan nousun rajoittamiseksi ja jotta EU:n hiilineutraalius tavoite saavutetaan, täytyy vuoden 2030 päästövähennysvelvoitteen tiukentua ainakin 55 % verrattuna vuoteen 1990. (Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi n.d.)

Toinen suuri tavoite hallitusohjelmassa koskee sähkön ja lämmön tuotantoa, jonka tulisi olla Suomessa miltei päästötöntä ennen vuoden 2030 loppua. Pyrkimyksenä, että Suomi olisi maailman ensimmäinen fossiilivapaa hyvinvointiyhteiskunta. Myös hiilinieluja ja -varastoja kasvatetaan sekä asumisen ja rakentamisen hiilijalanjälkeä pienennetään. (Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi n.d.)

YK:n biodiversiteettisopimuksen tavoitteiden saavuttamiseksi pysäytetään luonnon monimuotoisuuden heikkeneminen. Kiertotaloutta tulee lisätä myös luonnonvarojen ylikulutuksen hillitsemiseksi, luonnon monimuotoisuuden suojelemiseksi ja talouden kilpailukyvyyn vahvistamiseksi. Myös ilmastoystävällinen elintarvike- ja ruokapolitiikka, parempi eläinten hyvinvointi sekä ympäristönsuojelu kaivoksissa on mainittu hallitusohjelman tavoitteissa. (Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi n.d.)

4.3 Keinot

4.3.1 Hallitusohjelma

Hiilineutraaliuden saavuttamiseksi hallitus päättää tarvittavista lisätoimista. Ilmastolain ohjausvaikutusta vahvistetaan ja lakia päivitetään. Lakiin tulee hiilineutraaliuspolun kanssa yhdenmukaiset päästövähennystavoitteet vuosille 2030 ja 2040 ja siihen lisätään mukaan tavoitteet, jotka koskevat maankäyttösektoria ja hiilinielujen vahvistamista. (Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi n.d.)

Päästövähennyksiä toteutetaan sosiaalisesti ja alueellisesti huomioiden kaikki yhteiskunnan osa-alueet. Näin varmistetaan toimenpiteiden olevan kokonaisedun mukaisia ja myös kansalaisten hyväksyttävissä. Ilmasto- ja energia-asioihin keskittyvä ministeriryöryhmä valmistelee ilmastopolitiikkaa ja ilmasto-vaikutukset otetaan osaksi normaalia lainvalmistelua. (Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi n.d.)

Maankäyttösektorin ilmasto-ohjelman tulee selvittää keinot, joilla maankäytön päästöjä vähennetään ja hiilinieluja vahvistetaan. Tavoitteena on koko Suomen nettoneielun kasvu. Hiilijalanjälkeen vaikutetaan toteuttamalla toimenpidekokonaisuus, jolla parannetaan rakennuskannan energiatehokkuutta, tuetaan hiilijalanjäljen pienentämistä asumisessa ja siirtymistä päästöttömään lämmöntuotantoon. (Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi n.d.)

Jotta rakentamisen sekä asumisen hiilijalanjälkeä saataisiin vähennettyä, alan toimijoiden kanssa luodaan yhdessä hiilineutraaliuteen tähtäävä toimialakohtainen suunnitelma. Taloyhtiöille suunnataan energia-avustusjärjestelmä, jonka periaatteena on maksaa tukea suhteessa saavutettuihin energiatehokkuushyötyihin. Myös sähköautojen latausinfrastruktuurin rakentamistukea jatketaan ja energiaremonttien suunnittelukustannusten ottaminen katotalousvähennyksen piiriin selvitetään. (Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi n.d.)

Vähähiilisyiden tiekartan (ks. luku 4.3.2) toimeenpanoa jatketaan ja rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen säädösohjausta kehitetään, rakennusalan täydennyskoulutusta lisätään ja edistetään peruskorjaus- ja energiatehokkuushankkeita, joilla on energiatehokkuutta parantava vaikutus. Puurakentamista viedään eteenpäin ja kehitetään palomääräysten materiaalineutraaliutta siten, että puisten rakennusten kaksinkertaisen palosuojauksen tarve vähenee. (Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi n.d.)

4.3.2 Vähähiilisyiden tiekartta

Tällä hetkellä Suomessa ei säännellä koko elinkaaren päästöjä ja päästölaskenta on vapaaehtoista. Euroopan komissio on kuitenkin käynnistänyt vapaaehtoisen ydinindikaattorit-hankkeen (joka pyrkii yhtenäistämään rakennuksia koskevassa päätöksenteossa käytettäviä elinkaariperusteisia rakennusten kestävyyttä koskevia indikaattoreita) ja eurooppalainen standardisointi on tuottanut yhteisen laskentamenetelmän. Laskentaa tehdään kaupallisten ympäristöluokitusjärjestelmien kannustamana, mutta arviointimenetelmää voidaan käyttää myös julkisissa hankinnoissa ja vihreät rahoitusinstrumentit osaltaan kasvattavat vähäpäästöistä rakentamista. (Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa 2017, 2.)

Ympäristöministeriön julkaisussa on kolmivaiheinen tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilidioksidipäästöjen ohjaukseen, johon päästäisiin vuoteen 2025 mennessä (ks. kuvio 4). Ensimmäiseen vaiheeseen (Testaus ja menetelmä) kuuluu ohjausjärjestelmän vaikutusarviointit, laskentamallin ja päästötietokannan vieminen eteenpäin, asiantuntemus ja työkalut sekä testaus julkisten rakennushankkeiden ja yksityisenkin sektorin puolella. (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta n.d.)

Toinen (tällä hetkellä käynnissä oleva) vaihe on ohjausjärjestelmän laatiminen. Tähän vaiheeseen kuuluu valmistautuminen ja pohjustus säädösohjauksen ja mahdollisten kannusteiden suhteen, liittäminen kaavoitukseen ja energiaohjaukseen, pilottihankkeiden laajentaminen sekä valmistelu päästötietojen seurantaan ja tilastointiin. (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta n.d.)

Viimeinen eli kolmas vaihe on lopullinen ohjaus. Siihen kuuluu oletettava ilmoitusvelvollisuus ennen sitovia raja-arvoja, rakennuskannan kytkentä ohjaukseen vaihe vaiheelta sekä päästötietojen seuranta. (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta n.d.)

Suomessa käytetään ympäristöluokitus- ja arviointijärjestelmiä (LEED RTS, BREEAM, CBC Finland), joissa hiilijalanjälki- ja elinkaariarviointi on tärkeässä roolissa. Näissä luokituksissa eli sertifioinneissa tarkastellaan kokonaisvaikutusta ympäristöön. (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta n.d.)

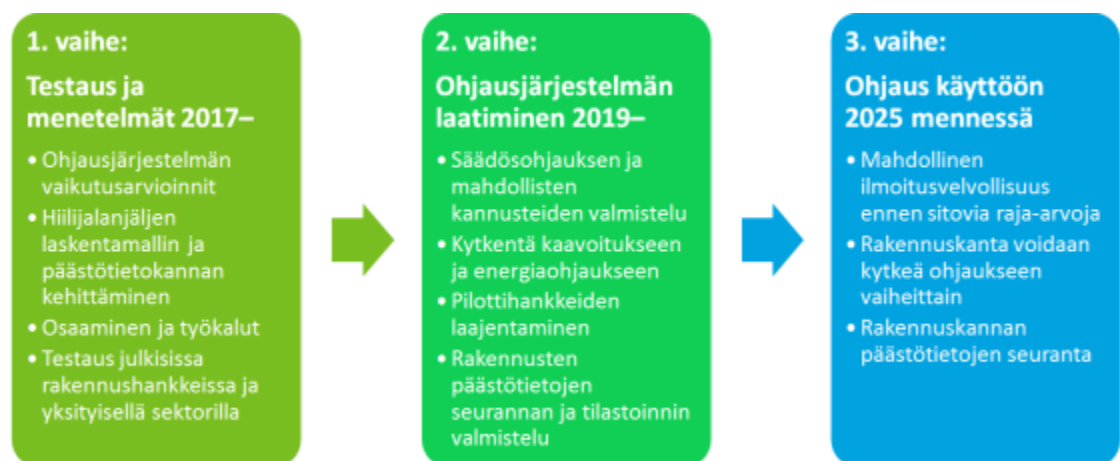
Elinkaaren hiilijalanjäljestä suurin osa koostuu tällä hetkellä käytön aikaisesta energian käytöstä, mutta tutkimukset osoittavat, että myös materiaalien osuus päästöistä on merkittävä. Voidaan olettaa, että tämä osuus myös kasvaa energiantuotannon päästöjen vähentyessä ja energiatehokkuuden kasvaessa. Tavoitteena on, että elinkaaren aikainen hiilijalanjälki otettaisiin huomioon rakentamisen ohjauksissa, jolloin sääntely koskisi myös rakennusmateriaalien kasvihuonepäästöjä. (Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa 2017, 2.)

Valtion toimesta voidaan ohjata hiilijalanjäljen vähentämiseen eri osa-alueilla ja rakennushankkeiden eri vaiheissa. Rakennusmateriaalien normiohjaukseen on siirrytty Ranskassa, Hollannissa ja Belgiassa. Vapaaehtoisuuteen pohjautuva päästöohjaus on käytössä muun muassa Sveitsissä ja Itävallassa. (Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa 2017, 2.) Jos Ranskassa tai Belgiassa markkinoi tuotetta ympäristöväättämin, veloitetaan rakennustuotevalmistajilta ympäristöseloste. Hollannissa on rakennushankkeiden materiaalien hiilijalanjäljen laskentaa veloitettu jo vuodesta 2013 kaikille yli 100 m² toimistoille ja asuinrakennuksille. (Mts. 3.)

Rakennustuotteiden CO₂-päästötietojen laatu on vaihtelevaa, mutta sääntelyn kannalta tärkeää on, että nämä tiedot noudattavat yhteistä standardia. Laskennan toimimiseksi vaaditaan myös laskentatyökalua ja osaamista. Ympäristöministeriö on julkaissut yksinkertaisen laskentatyökalun pilotointivaiheessa käytettäväksi. (Tiekartta rakennuksen elinkaaren huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa 2017, 2.)

Suomen ohjausmenetelmän tulee johtaa rakennusten elinkaaren ajalta vähähiilisiin ratkaisuihin ja sen täytyy toimia moitteettomasti, olla helppokäyttöinen, kustannustehokas sekä luotettava (Mts. 3).

Pääohjauskeino vähähiilisiin ratkaisuihin on siis elinkaaren hiilijalanjäljen sääntely, joka pohjautuu EN 12978-standardiin ja sen mukaiseen laskentamenetelmään. Ensivaiheessa menetelmä on vapaaehtoinen (nykytilanne), sitten se tulisi velvoittaa julkisille rakennushankkeille, jonka jälkeen voitaisiin siirtyä ilmoitusvelvollisuuteen. Kun tietoa kertyy, ilmoitetaan velvoittavat raja-arvot eri rakennustyypeille. Jotta toteutus toimisi, vaaditaan ohjeistusta, yhtenäisiä päästötietoja sekä osaamisen kehittämistä. (Tiekartta rakennuksen elinkaaren huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa 2017, 3.)



Kuvio 4. Vähähiilisuuden tiekartta (Bruce-Hyrkäs n.d.)

5 Puurakentaminen

5.1 Vähähiilisyiden näkökulmasta

Puurakentamisen lisäämiselle on eri syitä, mm. Suomen metsävarat, puun ekologisuus ja sen uusiutuvuus. Uusille rakennuksen innovaatioille sekä tehokkaammille järjestelmille on tarvetta. (Haapio 2013, 5.) Jarruttavia tekijöitä sen sijaan puurakentamiselle on korkeat kustannukset ja suurten yritysten muutosvastarinta (MacGilleon 2020).

Puu on raaka-aineena ainoa teollisesti merkittävä uusiutuva luonnonvara, jota käytetään myös rakentamisessa. Puun kasvaessa se sitoo hiilidioksidia ilmasta, jolloin siitä rakentaessa hiilidioksidi varastoituu rakennusmateriaaliin. Näin ollen puu toimii hiilivarastona koko rakennuksen elinkaaren ajan, kunnes rakenteet poltetaan tai ne joutuvat hajoamistilaan. (Koskela, Korhonen, Seppälä, Häkkinen & Vares 2011, 24.)

Teknologian tutkimuskeskus VTT vertasi Helsingissä rakennettuja pohjaratkaisuiltaan samanlaisia puisia sekä betonisia kerrostaloja. Vertailun ja laskelmien mukaan betonisella kerrostalolla hiilijalanjälki oli noin 75 % suurempi puuhun verrattuna. (MacGilleon 2020.)

Jos noudatetaan kestävä metsätalouden periaatteita, on oletettavissa, että korjattujen puiden tilalle muodostuu uutta puustoa. Silloin tälle pinta-alalle kasvaa saman verran puuta kuin siitä poistettiin ja puun polton/hajoamisen hiilidioksidipäästöt voidaan laskennassa olettaa nollassa. Puurakenteita käyttämällä lisätään metsäpinta-alan myötä ansaitun hiilivaraston määrää. Rakennuksien elinkaaren pituudeksi voidaan olettaa 70 vuotta, jonka aikana metsäpinta-ala on ehtinyt tuottamaan korjatun puuston verran uutta ja valtaosa alkuperäisen metsän hiilivarastoista on pystytty säilyttämään. Puurakenteiden polttaminen elinkaaren lopussa palauttaa nettohiilidioksiditaseen nollassa. (Koskela, Korhonen, Seppälä, Häkkinen & Vares 2011, 24.)

Puurakentaminen on etenkin kaupungeissa kasvussa. Kun otetaan huomioon puun kyky sitoa hiilidioksidia, voidaan puurakentamisella minimoida tehokkaasti rakennusvaiheen päästöjä. Helsinki onkin sitoutunut puurakentamisen merkittävään lisäämiseen 2030 vuoteen mennessä. (Turunen & Manninen 2020.)

5.2 Puurakentamisen ohjelma

Myös valtiotasolla halutaan edistää puurakentamista ja ympäristöministeriön puurakentamisen ohjelma pyrkiikin lisäämään puun käyttöä asuntojen, julkisten rakennusten ja suurien rakenteiden rakentamisessa (MacGilleon 2020). Puurakentamisen ohjelmalla (2016–2022) edistetään puun käyttöä lisäämällä osaamista alalla, edistämällä säädöksiä ja rakentamismääräyksiä puurakentamisen suhteen ja jakamalla paikkaansa pitävää tietoa puurakentamisesta. Ohjelman tavoite on, että puurakentaminen olisi 2020-luvulla Suomessa luontevaa. (Puurakentamisen ohjelma n.d.)

Puurakentamisen ohjelma koostuu viidestä painopisteestä. Painopisteitä ovat puun käytön kasvattaminen ja edistäminen kaupunki- sekä julkisessa rakentamisessa, suurten puurakenteiden rakentamisen lisääminen (kuten sillat ja hallit), alueellisen osaamisen kasvattaminen sekä viennin tukeminen. Näitä painopisteitä edistetään lukuisin eri keinoin. Ohjelman onnistumista arvioivia mittareita ovat mm: Puukerrostalojen asuntojen määrä, teollisen puurakentamisen osuus puurakentamisesta, puuhun perustuvien rakennustuotteiden vienti, rakennuksiin sitoutunut hiilen määrä, julkisen rakennuttajan puurakentamisen määrä sekä puun käyttö rakentamisessa. (Puurakentamisen ohjelma n.d.)

Tukiohjelmien avulla puun käyttöä edistetään myöntämällä tukea tutkimus- ja kehityshankkeille. Tukea kohdennetaan alan teemoihin, aktivoidaan sidosryhmiä ja kannustetaan myös uusia toimijoita. Avustettavien hankkeiden myötä tavoitellaan laajaa vaikuttavuutta alan kasvuun. Lisäksi julkiselle rakennuttajalle suunnataan avustushakemuksia kuntien puurakentamisen kehittämishankkeisiin (julkisen rakentamisen puun käytön edistämisen ollessa yksi painopisteistä). (Puurakentamisen ohjelma n.d.)

Kasvua ja kehitystä-puusta tukiohjelman viides hakukierros (keväällä 2021) tarjoaa mahdollisuuden kohdentaa kehityshankkeita kaikkiin aikaisempiin teemoihin, joita ovat puurakentamisen digitalisaatio ja teknologia, vähähiilinen rakentaminen, käyttäjälähtöiset ratkaisut, kiertotalous ja teolliset verkostot. Tukiohjelma pyrkii järjestämään vielä yhden avustushakukierroksen budjettinsa rajoissa kesällä 2021. (Kasvua ja kehitystä puusta-tukiohjelma n.d.)

Erityisavustuksia voivat saada hankkeet, joilla vastataan tarpeeseen kehittää puutuotteiden arvoketjua ja koulutusta nopeavaikutteisesti. Näillä hankkeilla voidaan esimerkiksi tuoda uutta tietoa tai tuottaa ratkaisuja, yhteistyö- ja toimintamalleja. (Puurakentamisen ohjelma n.d.)

6 Vähähiilisyiden arviointimenetelmä

6.1 Yleisesti

Suomen täytyy tehdä merkittäviä päästövähennyksiä ja jotta päästöjä olisi helpompi vähentää, on ne voitava jollain tapaa mitata. Siksi ympäristöministeriö julkaisi Suomen oloihin soveltuvan vähähiilisyiden arviointimenetelmän. Kyseinen arviointimenetelmä perustuu 2018 vuoden aikana alan osaajien sekä asiantuntijoiden kanssa luotuun arviointimenetelmään, jota on viety eteenpäin palautteiden pohjalta. (Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmä 2019, 11.) Yhteiset puitteet laskennalle antavat eurooppalaiset standardit, joihin myös uusin arviointimenetelmä on pohjautunut Euroopan komission Level(s)-menetelmän lisäksi (Mts. 13).

Arviointi suoritetaan koko rakennukselle ja siinä huomioidaan myös tontin rakenteet ja talotekniset järjestelmät. Siihen ei sisällytetä tontilla olevaa kasvillisuutta, maaperää tai rakentamisen aikaisia telineitä tai suojauksia. Arviointi soveltuu tehtäväksi rakennussuunnittelun aikana. (Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmä 2019, 14.) Liitteessä 3 on esitetty yhteenveto vähähiilisyiden arvioinnin rajauksista.

Vähähiilisyiden arviointia (hiilijalanjälkilaskentaa) tehdessä tarvitaan arviointimenetelmän lisäksi päästötiedot rakennustuotteista ja -prosesseista sekä työkalun päästöjen laskentaan. Ympäristöministeriö on julkaissut yksinkertaisen laskentatyökalun, joka on käytettävissä pilotointivaiheessa. (Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmä, 14-15). Yksinkertaisen laskentatyökalun käyttöohje liitteessä 7. Tätä kyseistä työkalua myös tässä opinnäytetyössä käytetään.

Arvioinnin tarkoitus määräytyy tavoitteen, laajuuden sekä käyttötarkoituksen mukaan. Jotta arviointi voidaan suorittaa, on nämä ensin määriteltävä, sovittava ja dokumentoitava standardin mukaisesti. Arvioinnin käyttötarkoitus voi olla apu päätöksentekoprojektissa (suunnitteluvaihtoehtojen vaikutus päästöihin), saavutusten esittäminen vaatimusten mukaisesti, rakennuksen ympäristötehokkuuden dokumentointi (esim. sertifiointi, ympäristösuorituskyvyn ilmoittaminen, markkinointi) tai tuki politiikan kehittämiseksi. Arvioinnin laajuus ja käyttötarkoitus määrittää käytettävän datan, mutta laskentamenetelmä pysyy samana. (SFS-EN-15978:2011,18.)

Merkittävimpiä tekijöitä laskennassa ovat energiantuotannon päästökertoimet, laskenta-ajanjaksonpituus ja lämmitysmuoto. Rakennuksen laskennallinen hiilijalanjälki voi heitellä huomattavasti näiden tekijöiden mukaan. (Rakennuksen laskennallinen hiilijalanjälki voi vaihdella huomattavasti käytettyjen laskentaoletusten mukaan 2020.)

Rakennusteollisuuden KEKRI-hankkeessa tarkastellaan ympäristöministeriön arviointimenetelmäluonnosta. Arviointimenetelmä oli lausunnolla alkukesällä 2020 ja sitä jatkokehitettiin loppuvuosi. Selvityksessä havaittiin tarve ottaa mukaan muitakin elinkaarilaatu parametrejä. Energialaskentaa, sisäilmaolosuhteita tai ratkaisujen kokonaisvaikutuksia ei voi unohtaa. Kun tavoitellaan vähähiilisyttä, on otettava huomioon myös terveellisyys, turvallisuus ja taloudellisuus. Nämä olisi siis muistettava vähähiilisyyden vaatimuksia ja raja-arvoja laatiessa. (Rakennuksen laskennallinen hiilijalanjälki voi vaihdella huomattavasti käytettyjen laskentaoletusten mukaan 2020.)

6.2 Elinkaaren vaiheet

Elinkaaren ympäristöpäästöt muodostuvat:

1. Rakentamisvaiheessa (moduuli A), johon kuuluu rakennuksen materiaalien valmistus, kuljetus sekä rakennustyömaa
2. Käyttövaiheessa (Moduuli B), johon kuuluu käyttövaiheen kunnossapito, korjausrakentaminen, energian ja veden käyttö
3. Rakennuksen elinkaaren lopussa (moduuli C), johon kuuluu purkaminen, materiaalien loppukäsittely -ja hyödyntäminen.
(Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa 2017, 13.)

Elinkaaren vaiheet on siis jaettu moduuleihin standardin EN 15643-2 mukaan (ks. kuvio 5 sekä liite 1). A-moduulit käsittelevät ennen käyttöä, B- käytön aikana ja C- käytön jälkeen tapahtuvat päästöt. Rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jäävät hyödyt ja haitat sisällytetään moduuliin D. (Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä 2019, 14.) (Liite 1)



Kuvio 5. Rakennuksen elinkaaren vaiheet (Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä 2019, 16).

Tällä hetkellä suurin osa rakennuksen hiilijalanjäljestä syntyy energiasta käytön ajalta ja siihen vaikuttaa eniten fossiilisten polttoaineiden käyttö. Kuitenkin energiatehokkuuden kasvaessa myös materiaalien ja talotekniikan tarve kasvaa, joka nostaa myös materiaalien valmistuksen, ylläpidon ja korjauksien osuutta hiilijalanjäljestä. (Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä 2019, 11.)

6.2.1 Tuotevaihe

Tuotevaihe kattaa moduulit A1-3, eli aiheutuvat päästöt ennen käyttöä. Näihin luokituu raaka-aineen hankinta (A1), kuljetus valmistukseen (A2) sekä tuotteen valmistus (A3) (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 16).

Materiaalien hiiliselvitystä tehdessä tässä moduulissa käsitellään rakennustuotteiden valmistus. Sitä varten täytyy luoda materiaaliluettelo rakennukseen, tontille ja taloteknisiin järjestelmiin suunnitelluista tuotteista. Tähän arviointiin otetaan mukaan myös mahdollinen ylijäämä tai hukka. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 19). Liitteessä 2 ympäristöministeriön luettelo arviointiin sisältyvistä rakennusosista. Materiaaliluettelon tulisi olla kattava ja mahdollisimman tarkkaan täytetty oikeiden tulosten saamiseksi.

Korjaushankkeiden määrälaskenta toteutetaan arvioimalla ainoastaan korjaukseen tarvittavat uudet tai sen yhteydessä korjattavat rakennusosat. Aikaisempia, ennen korjausta tapahtuneita elinkaaren vaiheita ei lasketa takautuvasti mukaan tähän hiilijalanjälkeen. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 19)

Rakennuksen toteutusvaiheessa uudelleen käytettävät vanhat rakennusosat ja muut työmaalta ylijääneet tuotteet jätetään tuotteiden valmistuksen tai uudelleenkäyttövalmistelun hiilijalanjälkilaskennan ulkopuolelle. Jos uudelleenkäytettävät tuotteet ovat osana jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa, voi tehdä oletuksen uudelleenkäytöstä, mutta tätä samaa oletusta ei voi kuitenkaan tehdä käyttömoduulien B3 ja 4 aikana. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 19.)

6.2.2 Rakentaminen

Rakentamisvaihe kattaa moduulit A4-5. Eli kuljetus työmaalle (A4) sekä työmaatoiminnot (A5). (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 16.) Käytännössä tässä vaiheessa ilmaistaan ne päästöt, joita arviointikohteen rakentamisen vaatimat toiminnot saavat aikaan.

Kuljetuksien hiilijalanjäljessä otetaan huomioon rakennustuotteiden, materiaalien ja maamassojen kuljetukset työmaalle sekä (arviointiin otetaan mukaan myös käytettävät välivarastot tai esivalmistuspaikat) rakennustyömaalla aiheutuvien rakennusjätteiden kuljetukset jätteenkäsittelyyn tai välivarastoihin. Rakennustuotteiden tai rakennustyöntekijöiden matkoja ei arvioida. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 25.)

Kuljetuksista aiheutuvat päästöt lasketaan molempiin suuntiin. Menomatalla kuorman täyttöasteeksi oletetaan 80 % ja paluumatkalla 0 %. Kuljetettavien maamassojen täyttöasteeksi oletetaan 100 % tontilta pois ja takaisin. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 16.)

Työmaan hiilijalanjälki pohjautuu kuluvaan ostoenergiaan ja polttoainepäästöihin. Tähän energia-arvioon sisällytetään rakennuksen, työmaan valaistuksen, kuivatuksen, lämmityksen, toimisto- ja taukotilojen käytön sekä muiden vastaavien työmaatoimien aiheuttama energiantarve. Mikäli tilat tai toiminnot palvelevat muitakin kuin laskentakohdetta, jaetaan silloin tiloista ja toiminnoista aiheutuva hiilijalanjälki suhteessa palveluiden hankkeiden bruttopinta-alaan. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 29.)

Rakennusvaiheessa käyttämättä jäämien rakennustuotteiden päästöt lasketaan osaksi rakennusvaiheen hiilijalanjälkeä. Työmaalla syntyvät jätteet, kierrätettävät tai uudelleenkäytettävät rakennustuotteet täytyy arvioida myös. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 29.)

Hiilikädenjälki rakennusvaiheessa lasketaan materiaaleihin varastoituneen eloperäisen hiilen ja mahdollisesti niihin elinkaaren aikana sitoutuva ilmakehän hiilidioksidin myötä (hiilinielut). Täytyy muistaa, että hiilikädenjälkeä ei saa miinustaa jalanjäljestä. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 32.)

6.2.3 Käyttövaihe

Käyttövaihe kattaa koko B-moduulin. Eli siihen sisältyy tuotteen käyttö rakennuksessa (B1), kunnossapito (B2), korjaukset (B3), osienvaihto (B4), laajamittaiset korjaukset (B5) sekä energian ja (B6) veden käyttö (B7). (Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä 2019, 16.)

Materiaalien osalta tässä moduulissa käsitellään rakennustuotteiden vaihdot elinkaaren aikana. Eli arvioidaan käytön aikana tapahtuva rakennustuotteiden vaihto ja niiden määrä. Huomioidaan tuotteet, joilla on rakennuksen tavoiteikä lyhyempi käyttöikä. Tuotteiden laskennallinen vaihtoväli saadaan jakamalla rakennuksen tavoiteikä tuotteen suunnitteluiällä ja miinustamalla tuloksesta kokonaisluku 1. (Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä 2019, 21). Kuviossa 6 laskennallisen vaihtovälin kaava. Vaihtotarpeen laskemiselle on myös olemassa taulukkoarvot (Liite 4). Taulukkoarvoja käytettäessä on keskiarvoille lisätty 20 % epävarmuuskerroin (Mts. 47). Hiilijalanjälki kasvaa niiden tuotteiden osalta, joiden vaihtoväli on lyhyempi kuin tavoiteikä.

$$\text{Vaihtoväli} = \left[\left(\frac{\text{Rakennuksen tavoiteikä vuosina}}{\text{Tuotteen suunnittelukäyttöikä vuosina}} \right) - 1 \right]$$

Kuvio 6. Laskennallinen vaihtoväli (Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä 2019, 22)

Kun lasketaan energialle hiilijalanjälkeä (moduuli B6), täytyy tietää laskennallinen osatoenergian kulutus. Tämä selviää energiatehokkuuden asetuksen mukaan laaditusta energiaselvityksestä. Jos tällaista ei ole kohderakennuksesta tehty, arvioidaan osatoenergiankulutus käyttäen asetuksessa annettua laskentamenetelmää.

Energian hiiliselvitykseen ei sisälly laitesähkö eikä ne tekniset järjestelmät, jotka eivät ole energiatehokkuusasetuksessa lueteltuna. (Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä 2019, 31.)

Hiilikädenjälki B-moduulissa muodostuu ylijäävästä uusiutuvasta energiasta (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 32). Voidaan laskea sähkö- tai kaukolämpöverkkoon toimitettu ylimääräinen uusiutuva energia osana kädenjälkeä. Huomioon voidaan ottaa rakennukseen, sen tontille tai rakennusta varten tontin ulkopuolelle toteutetulla järjestelmällä tuotetun uusiutuvan energian. Jos tämä laskenta toteutetaan, on kuitenkin laskettava uusiutuvan energian tuottamiseen tarvittava laitteisto osaksi hiilijalanjälkeä. (Mts. 33.) Esimerkiksi jos sähköntuotantoa tehostetaan aurinkopaneeleilla, täytyy niiden tuottama kokonaishiilijalanjälki huomioida, jotta voidaan laskea niille hiilikädenjälkeä.

Arviointi ilmoitetaan hiilidioksidikiloina. Sitä varten täytyy arvioida uusiutuvan energian määränä vuosittain, joka kerrotaan ilmoitetuilla päästökertoimilla (ks. kuvio 7). Päästökertoimet tulevat muuttumaan tulevina vuosina. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 33.) Energiamuotojen päästökertoimet esitetty muodossa gCO₂/kWh (Mts. 48).

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	2110	2120
Sähkö	121	57	30	18	14	7	4	2	1	1	0
Kaukolämpö	130	93	63	37	33	22	15	10	7	4	3
Kaukojäähdytys	130	93	63	37	33	22	15	10	7	4	3
Fossiiliset polttoaineet	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
Uusiutuvat polttoaineet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Kuvio 7. Energiamuotojen päästökertoimet (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 48)

6.2.4 Elinkaaren loppu

Tähän elinkaaren vaiheeseen kuuluvat kaikki käytön jälkeiset päästöt (moduuli C). Näitä ovat purkaminen (C1), kuljetus jatkokäsittelyyn (C2) sekä purkujätteen käsittely (C3) ja loppusijoitus (C4). (Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmä 2019, 16.)

Materiaalitarkastelussa tässä moduulissa lasketaan päästöt jätteenkäsittelylle ja loppusijoitukselle. Tässä laskennassa voidaan käyttää valmiita taulukkoarvoja (Liite 4) tai laskea materiaaliyhteisöille jätteenkäsittelyn ja loppusijoituksen hiilijalanjäljen. Arviointiin sisältyy siis rakennuksen purkuvaiheessa syntyvien jätemateriaalien määrä. Täytyy olettaa, että vaikka elinkaaren aikana tapahtuisi vaihtoja tai korjauksia, materiaaleja on sama määrä kuin valmistusvaiheessa. (Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmä 2019, 23.)

Korjaushankkeiden hiilijalanjälkilaskentaa tehdessä täytyy ottaa huomioon jo ennen hanketta tontilla olleet materiaalit. Jos kyseessä on siirrettäväksi suunniteltu väliaikainen rakennus, erotellaan siirrosta aiheutuvat jätteet ja uudelleenkäytettävät rakennusosat toisistaan ja arvioidaan hiilijalanjäljessä ainoastaan siirtojätteet. (Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmä 2019, 23.)

Purkutyömaan hiilijalanjälki lasketaan käytetyn ostoenergian sekä polttoaineiden päästöjen pohjalta, huomioiden kertoimien tulevaisuuden päästövähennykset (Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmä 2019, 30). Energiamuotojen päästökerroimet- ja vähennykset kuviossa 7.

Kuljetuksiin elinkaaren lopussa (moduuli C2) kuuluu kaikki kuljetukset purkupaikalta aina uudelleenkäyttöön, kierrätykseen ja jatkokäsittelyyn (myös välivarastointi tai jatkokäsittelypaikat). Hiilijalanjälki lasketaan jokaiselle kuljetusmuodolle erikseen ja jokaiselle eri kuljetusmuodolle sekä polttoaineelle on olemassa omat tyypilliset päästökerroimensa. (Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmä 2019, 26.)

Kuljetusetäisyydet lasketaan niiden jätteenkäsittely-, kierrätys-, ja uudelleenkäsittelylaitosten mukaan, jotka arviointihetkellä ovat olemassa. Laskentaan voi sisältyä peräkkäisiä kuljetuksia, mikäli niitä vaaditaan. (Mts. 26.)

Elinkaaren lopun vaiheen hiilikädenjälki muodostuu materiaaleihin varastoituneen eloperäisen hiilen sekä materiaaleihin elinkaaren aikana sitoutuvan ilmakehän hiilidioksidin myötä. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 32). Samaan tapaan kuin moduuleissa A ja B.

6.2.5 Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset

Mikäli materiaaleja hyödynnetään energiana, siitä aiheutuvat ympäristöhaitat kuuluvat elinkaaren ulkopuolisiin vaikutuksiin ja hyödyt taas osaksi hiilikädenjälkeä. Kun kierrätettävät materiaalit ja rakennustuotteet eivät ole enää jätettä, oletetaan niiden kelpaavan uudelleenkäyttöön eli joko materiaalikierrätykseen tai energiahyödyntämiseen. Näin ollen ne ovat arviointikohteen systeemirajojen ulkopuolella ja sijoittuvat moduuliin D. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 50.) Jos jätteenkierrätyksen jälkeen tapahtuvasta prosessoinnista ja kuljetuksista aiheutuu kasvihuonepäästöjä, ne luokitellaan rasiitteina moduuliin D, siihen asti, että niiden vaadittavat tekniset tai toiminnalliset ominaisuudet vastaavat korvattavien tuotteiden ominaisuuksia. (Mts. 51.)

Elinkaaren ulkopuolisina vaikutuksien kautta syntyvän hiilikädenjäljen laskennassa huomioidaan rakennusosien uudelleenkäyttö tai materiaalien kierrätyksen kautta vältetyt kasvihuonepäästöt. Tällöin arvioidaan uudelleenkäytettävien rakennusosien ja kierrätettävien materiaalien määrät ja lasketaan niiden nettokasvihuonepäästöt nettomääräisten materiaali- ja energiavirtojen perusteella. Arviointiin voidaan sisällyttää vain ne rakennusosat, jotka on arvioitu mukaan hiilijalanjälkeä laskettaessa. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 33.)

7 Laskentakohde

Tässä opinnäytetyössä laskettiin hiilijalan- ja kädenjälki eli tehtiin niin sanottu hiiliselvitys pääkaupunkiseudulle rakennettavalle uudiskohteelle. Kyseessä on puurakenteinen paikoitushalli ja näin ollen suuri rakennus. Päästölaskelmat ovat osa puurakenteisen pysäköintilaitoksen kehittämishanketta, jolla edistetään puurakentamista esimerkin kautta levittämällä tietoa sen mahdollisuuksista. Hiilijalanjäljen voitiin olettaa olevan suhteellisen suuri, koska lämmitetty nettoala on kohteessa pieni ja määrätty tuloksien ilmoitusmuoto on $\text{KgCO}_2\text{e/lämmitetty nettoala/a}$.

Aikaisemmin Suomessa ei ole tehty tämänkaltaista pysäköintilaitosta, sillä niiden rakentaminen ei ole ollut mahdollista paloturvallisuusnormien vuoksi. Tämä hanke osoittaa siis myös sen, että parkkihallin voi rakentaa paloturvallisesti ilman levysuojauksia. (Parkkitalot valjastetaan pian hiilitalkoisiin – yhteishankkeessa suunnitteilla puurakenteinen pysäköintirakennus 2020).

Paikoitushalliin on suunnitteilla viherkatot sekä aurinkopaneelit sähköntuotantoon. Viherkasvillisuuden vaikutusta ei kuitenkaan huomaa hiilitarkastelussa, sillä kasvillisuutta tontilla/rakennuksessa ei vähähiilisyden arviointimenetelmässä oteta huomioon (Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä 2019, 19). Järjestelmä suunniteltiin niin puiseksi kuin paloturvallisuusmääräysten puitteissa on mahdollista ja puun käytön toivottiin nostavan hiilikädenjälkeä niin, että ja kohde sitoisi enemmän hiiltä kuin sen rakentaminen päästää ilmakehään. (Parkkitalot valjastetaan pian hiilitalkoisiin – yhteishankkeessa suunnitteilla puurakenteinen pysäköintirakennus 2020).

Hankkeessa huomioidaan myös kiertotalous suunnittelemalla parkkitalot niin, että ne ovat tarvittaessa siirrettävissä ja muunnettavissa muuhun käyttöön (Parkkitalot valjastetaan pian hiilitalkoisiin – yhteishankkeessa suunnitteilla puurakenteinen pysäköintirakennus 2020.). Tämä taas vähentää osaltaan käytön jälkeistä C-moduulin hiilijalanjälkeä.



Kuvio 8. Kuvaa suunnitellusta paikoitushallista (Konseptin suunnittelun kehittämishanke).

Kuviossa 8 suunnittelukuvaa kehittämishankkeen paikoitushallista. Betonirakenteet (maalaiset rakenteet) eivät tässä tapauksessa kuuluneet suunnittelualueeseen, vaan arviointi keskittyi puurakenteisiin ja mahdolliset betoniosat jätettiin tarkoituksellisesti arvioinnista pois. Laskenta-ajanjaksona oli 50 vuotta ja laskenta tehtiin yksinkertaistettua menetelmää käyttäen. Koska kyseessä on parkkihalli eikä lämmityksen tarvetta ole, lämmitettävä nettoala on 0 m^2 . Laskennan vaatiessa esitystapaa $\text{KgCO}_2\text{e/lämmitetty nettoala/a}$, oli käytössä arvo 1 m^2 sen vaikutuksien minimoimiseksi ja vertailun mahdollistamiseksi.

8 Laskenta

8.1 Ennen käyttöä

8.1.1 Materiaalit

Kun lasketaan päästöjä ennen käyttöä, laskennassa olennainen osa on materiaaliluettelo, sillä sen pohjalta lasketaan koko A1-3 moduulien hiilijalanjälki. Materiaaliluettelo on tärkeässä osassa ja se pitäisi pyrkiä täyttämään mahdollisimman tarkoin.

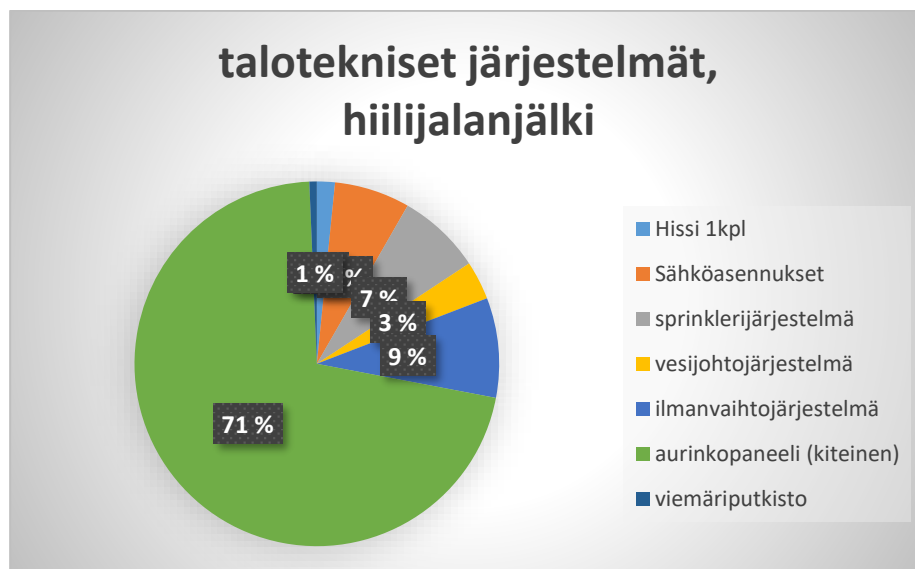
Yksinkertaista laskentaohjelmaa käyttäessä tulee taulukkoon määrittää kaikki rakennukseen käytettävät ja suunnitellut rakenteet. Rakentamisjärjestelmä koostuu sisäkäisistä moduulijärjestelmistä ja runkojärjestelmänä toimii massiivipuinen pilaripalkkijärjestelmä. Pystyrakenteet ovat liimapuupalkkeja ja kansilaattojen liittorakenteen muodostavat liimapuupalkit ja CLT-laatat. Materiaaliluetteloa varten käytössä oli osakomponenttilista, joten puurakenteiden hiiliselvitys järjestelmän perusosien tarkastelulla: kaarevaa ja suoraa nurkkaa, suoraa välisosaa sekä LE-paikkaa kohti. Materiaalien kokonaismäärät saatiin näiden perusosien kautta koko paikoitushallille.

Suurimmaksi osaksi materiaalit ovat CLT-levyä tai liimapuuta. Myös julkisivuverhoilussa käytössä puupintainen verhoilumateriaali. Lattiat suojataan elastomeeripinnoitteella (kulumkestävää polyuretaania). Liimapuun päästökertoimet ovat pilareille sekä palkeille 0,356 (hiilijalanjälki) ja -1,63 (hiilikädenjälki). CLT:n hieman vähemmän; 0,21 sekä -1,55. Päästökertoimet perustuvat VTT:n eri lähteistä kokoamiin ja arvioimiin tuloksiin. (Vähähiilisyiden laskentatyökalu 2019.) Koska paikoitushallissa tulee olemaan huomattava määrä näitä materiaaleja, voi jo päästökertoimista olettaa hiilikädenjäljen kasvavan suureksi.

8.1.2 Talotekniikka

Koska paikoitushallin suunnittelu oli varhaisessa vaiheessa, käytettiin ympäristöministeriön taloteknisten järjestelmien päästötietoja (ks. liite 5). Talotekniikan osiin sisällytettiin hissit, sähköasennukset, sprinklerijärjestelmä, vesijohtojärjestelmä, ilmanvaihtojärjestelmä, aurinkopaneelit sekä viemäriputkisto (ks. kuvio 9). Näitä laskiessa käytettiin kerrosalaa, koska lämmitettyä alaa ei tässä kohteessa käytännössä ole. Näin tehdessä täytyy kerrosala jakaa ensin jakajalla 1,18 ja kertoa sitten päästökerroimilla.

Kohteessa on hissi, joka aiheuttaa hiilijalanjälkeä ohjearvojen mukaan 7585 kgCO₂e/kpl. Aurinkopaneeleja oletettiin tässä laskennassa asennettavan 1400 m² alueelle, jolloin syntyy hiilijalanjälkeä 338800 kgCO₂e ja ne aiheuttavat taloteknisistä järjestelmistä suurimman päästökuorman. Kiteiset aurinkopaneelit ovat kuitenkin ainoa tekijä, joilla myös positiivinen päästövaikutus.



Kuvio 9. Taloteknisten järjestelmien hiilijalanjäljen jakautuminen.

8.2 Käytön aikaiset päästöt

Käytön aikaiset päästöt ovat paikoitushallille sen kokoon nähden pienet. Lämmityksen tarvetta ei ole ja hiilijalanjälki koostuu oikeastaan vain sähkön kulutuksesta ja materiaalien korjauksista sekä vaihdoista. Sähkön arvioitu tarve kohteelle on 100 000 kWh/a. Energian käytön päästöt muodostuvat energiamuotojen päästötietojen perusteella automaattisesti ja nämä päästökertoimet eivät ole muutettavissa (Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalu 2019).

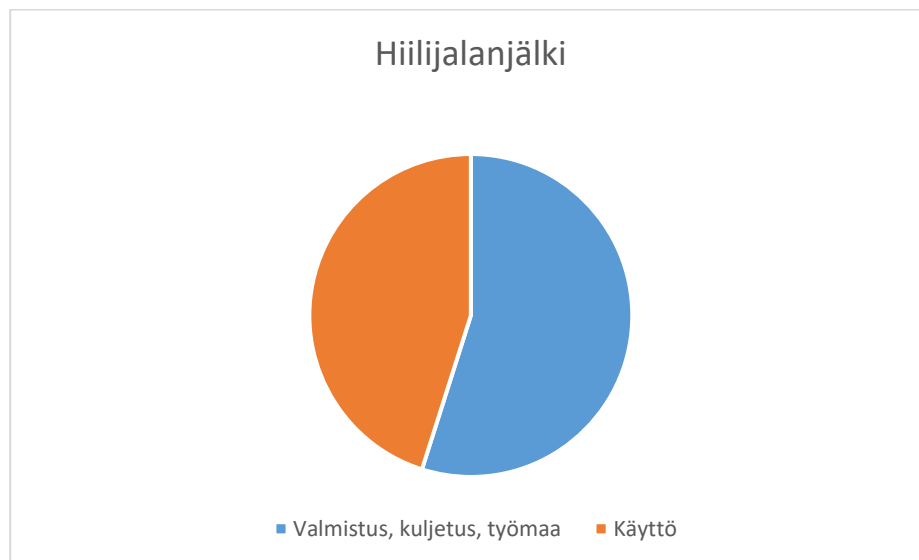
Korjauksien ja osien vaihdon tarve muodostuu materiaaliluettelosta, kaikille materiaaleille on määritelty käyttöikä ja tarvittavat vaihdot muodostuivat niiden mukaan. Tämän kohteen arvioidut vaihtoja/korjauksia vaativat kohteet ovat ilmanvaihtojärjestelmät, aurinkopaneelit ja sähköasennukset, sillä niiden arvioitu käyttöikä laskenta-ajanjaksoa lyhyempi.

Asennettavat aurinkopaneelit ovat kiteisiä ja niitä asennetaan katolle ja seinille. Ne tuottavat kokonaisuudessaan noin 133087 kWh/a, joka huomioitiin uusiutuvan energian tuomana hiilikädenjälkenä. Aurinkopaneelit ovat kallistuskulmaltaan 30–90 astetta ja On-Grid-järjestelmä (paneelit, vaihtosuuntaajat ja lisälaitteet). Ne kiinnitetään etelän suuntaan varjostukset huomioiden. Kohteessa on viherkatto, joten asennus tulee sovittaa sen kanssa yhteen. Oletettiin yhden paneelin olevan 1,6 m² (1,5 m² -2 m²) ja hyötysuhteeksi 13 %. Aurinkopaneelien arvioitu tuotto laskettiin Aurinko-opaan 2012 ohjeen mukaan (ks. Liite 6).

9 Tulokset

Puurakenteiden ansiosta hiilikädenjälki nousi jalanjälkeä huomattavasti suuremmaksi, eli laskelmat vastaavat tavoitetulosta. Lopputuloksena siis hiilijalanjälkeä kokonaisuudessaan syntyi 1461 tCO₂e ja hiilikädenjälkeä -2116 tCO₂e. Käytön aikaiset päästöt muodostuivat sähkön käytöstä sekä kunnossapidosta, jolloin hiilijalanjälkeä muodostuu yhteensä 13044 kgCO₂e/m²/a. Aurinkopaneelit nostivat hiilikädenjälkeä siten että sitä muodostuu moduulissa B -5882 kgCO₂e/m²/a.

Moduulissa A aiheutui hiilijalanjälkeä 16173 kgCO₂e/m²/a ja hiilikädenjälkeä -36443 kgCO₂e/m²/a (nettoalan arvona 1, arviointijakso 50 vuotta). Materiaaleilla (valmistus) päästövaikutus hiilidioksidiekvivalentteina: hiilijalanjälki: 808 645 kgCO₂e ja kädenjälki -1822123 kgCO₂e. Näitä arvoja tarkastellessa tärkeintä huomioida näiden kahden mittarin välinen suhde. Vaikka suurimmat päästöt syntyivät tässä moduulissa, on hiilikädenjälkikin suuri. Hiilikädenjäljen merkitys ja tärkeys kokonaiskuvan luomisessa tuli siis esiin tuloksien tarkastelussa.



Kuvio 10. Elinkaaren päästöjen jakautuminen.

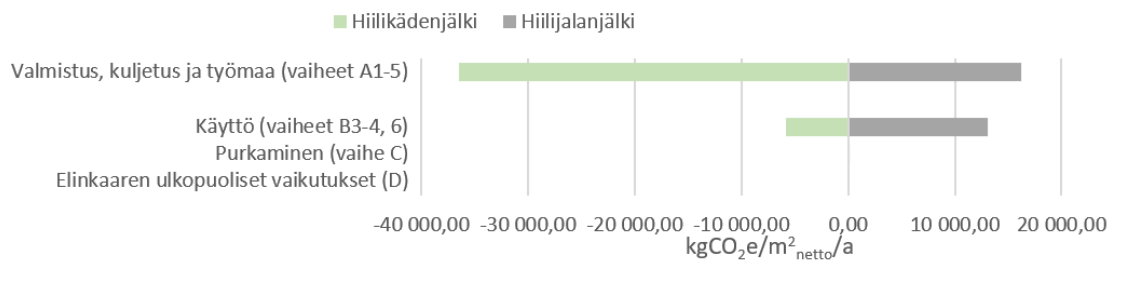
Kuviossa 10 esitetty moduulin A aiheuttama hiilijalanjälki suhteessa moduulin B aiheuttamiin. Käytön jälkeiset päästöt ovat todella pienet (siirrettävyys, uudelleenkäyttö) ja ne laskettiin suoraan ohjearvoista, jolloin tässä kokoluokassa niillä ei ole juurikaan painoarvoa.



Kuvio 11. Elinkaaren hiilikädenjäljen jakautuminen.

Hiilikädenjäljen jakautuminen toteutui hyvin oletettavasti (ks. kuvio 11). Puumateriaalit nostivat sitä osaltaan hyvin paljon ja käytön kädenjälkeen vaikuttivat aurinkopaneelien tuotto. Kuviossa 12 sekä hiilijalan- että kädenjälki ja niiden suhde esitetty elinkaaren vaiheille.

Kuljetuksilla ja työmaalla oli tässä pieni osuus, sillä niiden laskenta on toteutettu taulukkoarvojen mukaan, jotka ilmoitetaan nettoalaa kohti. Liitteessä 8 ilmaista tuloksen rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän vähimmäisvaatimusten mukaan.



Kuvio 12. Päästöt vaiheittain (Rakennuksen hiilijalanjäljen arviointityökalu 2019).

10 Ratkaisujen vertailu

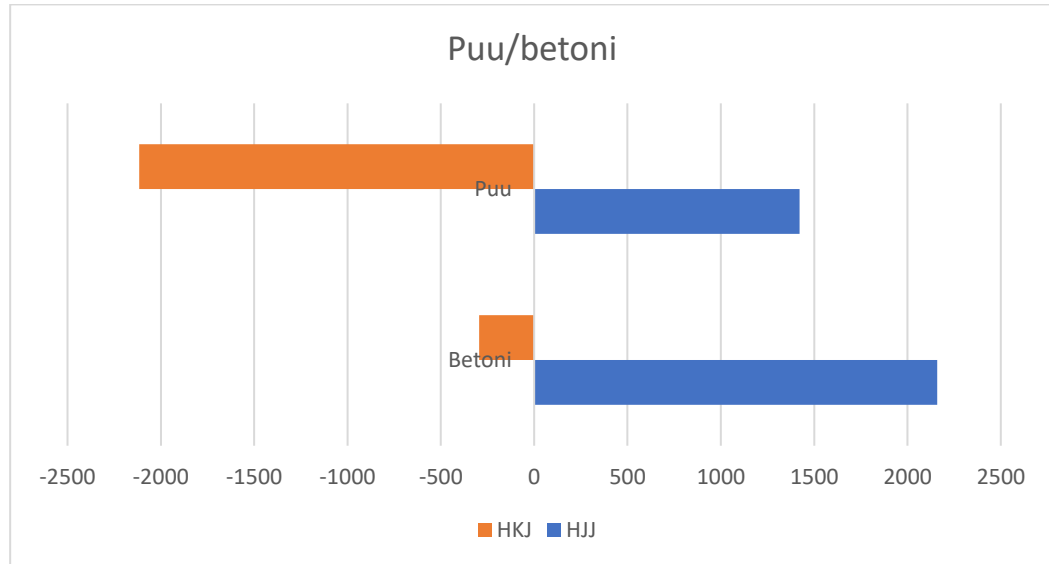
Kohteelle suoritettiin myös betonivertailu, joka tehtiin hyvin suurpiirteisesti eli siinä ei otettu lainkaan huomioon rakennusteknisiä eroja. Yleensä eroja tasoittaa energian hiilijalanjälki, mutta tässä kohteessa sen vaikutus on pienempi.

Vertailussa tehtiin oletus, että betonia tarvitaan noin 20 % vähemmän. Betonilla kuitenkin laskennassa käytettävät kg-määrät suuremmat sen ominaistiheyden takia. Vertailussa ei otettu betonin karbonisoitumisen hiilinielua huomioon. Sen voisi laskea osaksi hiilikädenjälkeä, mutta silloin täytyisi ottaa huomioon myös karbonisoitumisesta johtuvat korjaukset hiilijalanjäljen laskennassa. Karbonisoituminen lasketaan kaikille moduuleille erikseen standardin EN 16757 liitteen BB mukaisesti. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 32)

Mitä huokoisempaa betoni on, sitä enemmän se sitoo käytön aikana hiilidioksidia. Karbonisoituminen sitoo takaisin noin 20–40 % prosenttia kalkkikivestä irronneesta hiilidioksidista rakennuksen 70-vuotisen käyttöiän aikana ja 60–80 % jos betoni tämän jälkeen murskataan ja käytetään uudelleen esimerkiksi tierakenteissa. Suurimmat ilmastohyödyt siis sijoittuvat vasta käytön jälkeiseen vaiheeseen. (Koskela, Korhonen, Seppälä, Häkkinen & Vares 2011, 23–24.)

Karbonisoitumisen huomioon ottamisella olisi ollut siis nostava vaikutus hiilikädenjälkeen, mutta myös betoniratkaisun hiilijalanjälki olisi suurempi. Täytyy myös ottaa huomioon, että todellisuudessa puurakenteinen parkkihallikin sisältää jonkin verran betonirakenteita, niitä ei vain ole otettu tässä tarkastelussa huomioon.

Ilman karbonisoitumisen vaikutusta tulokset puhuivat puurakentamisen puolesta (ks. kuvio 13). Nämä erot johtuvat suoraan materiaaleista, sillä laskennassa käytettiin samoja taloteknisiä järjestelmiä ja energian arvoja. Puulla hiilikädenjälki (HKJ) paljon suurempi sen hiilivarastona toimisen ansiosta.



Kuvio 13. Puu- ja betoniratkaisun vertailu.

11 Johtopäätökset

Laskennan edetessä tuli eteen yksinkertaisen laskentaohjelman epätarkkuus. Kun kokonaismassat syötettiin laskentaohjelmaan, oli tuloksena eri hiilijalan- ja kädenjälki kuin mitä saatiin laskemalla kokonaishiilijalanjäljet yksittäisten komponenttien hiilijalanjälkiarvoa käyttämällä. Päädyttiin käyttämään laskentaohjelman antamia hiiliarvoja, sillä se minimoi inhimilliset virheet tuloksesta.

Vaikka yleensä B-moduulin eli käytön aikaiset päästöt ovat suurimmat, toi tämä laskentakohde ilmi materiaalien merkitystä päästöjen syntymisessä. Se siis vahvisti vähähiilisyyden tiekartan oletusta (ks. luku 4.3.2) siitä, että energiankäytön päästöjen pienentyessä materiaalien osuus kasvaa.

Tuloksia katsellessa on huomioitava myös materiaaliluettelon ”vajavaisuus”, sillä vain merkittävimmät komponentit ja pilarit sekä palkit oli huomioitu. Jos enemmän komponentteja ja pienempiä osia olisi otettu osaksi arviointia, sekä hiilijalan- että kädenjälki olisi noussut. Koska kyseessä on puurakenteinen halli, ei vajavaisuudella loppu-tarkastelussa ole niin suuri merkitys, jos tarkastellaan tuloksia kokonaisuutena (puurakenteiden hiilikädenjäljen ansiosta: vaikka materiaaleja enemmän, hiilijalanjäljen ja kädenjäljen välinen suhde pysyy samana). Aika paljon laskenta eteni ohje- ja taulukkoarvojen mukaan, mikä tässä hankevaiheessa ja yksinkertaista laskentamenetelmää käytettäessä kylläkin ymmärrettävää.

Lämmitetyllä nettoalalla on laskennassa aika suuri merkitys. Tällaisessa laskentakoh-teessa se on melko hankala määrittää. Tuloksien suuruuteen vaikuttaa siis paljon se, että kohteessa ei käytännössä ole lämmitettyä nettoalaa ollenkaan, mutta laskennan kannalta sitä ei ole mahdollista määrittää nolaksi. Jos pyrkii lähelle 0, desimaalit se-koittavat laskentatulosta, joten asetin arvoksi 1. Moduulin B taulukkoarvot (Liite 4) on myös ilmoitettu lämmitettyä nettoalaa kohti. Tällaiset tekijät tekevät vertailun eri laskentakohteiden välillä hieman hankalaksi.

12 Pohdinta

12.1 Päästölaskenta

Näinkin mittavassa hankkeessa päästölaskelmat ovat tärkeä kokonaisuus, sillä niiden ansiosta syntyvät päästöt nähdään tarkemmin ja niihin voidaan vaikuttaa. Tulevaisuudessa niiden merkitys kasvaa ja puurakentaminenkin tulee kehittymään. Ei tulisi pyrkiä hankkimaan halvinta mahdollista, vaan tarkasteltava kokonaispäästöjä. Eli päästölaskenta tulee mittarina nousemaan kustannuksien rinnalle.

Vähähiilisyiden arviointimenetelmä on mielestäni hyvässä vaiheessa, mutta siinä on myös paljon kehittymisen varaa. Jatkoa ajatellen olisi hyvä, jos arviointia saataisiin kehitettyä, etenkin yhtenäistettyä niin, että vertailu olisi helppoa ja luotettavaa. Arviointimenetelmää tulisi laajentaa, päästökertoimia täsmentää ja pyrkiä vähentämään yksittäisten tekijöitä, joilla liiallinen vaikutus kokonaistuloksiin. Silloin päästölaskelmien roolia ja merkitystäkin voitaisiin kasvattaa.

Kehitystä päästötietokannassa on tapahtunut jo tämänkin laskennan jälkeen, sillä maaliskuussa 2021 on julkaistu uusi päästötietokantapalvelu, jonka tarkoituksena on tarjota puolueetonta dataa Suomessa käytettävien rakennustuotteiden ilmastovaikutuksista (hiilijalan- ja kädenjälki, materiaalitehokkuus, kierrätettävyyys). Näillä tiedoilla on pystytty yhdenmukaistamaan päästölaskentaa ja helpottamaan vähähiilisten rakennuksien suunnittelua. (Rakentamisen päästöjä voidaan nyt vertailla- uusi päästötietokanta luo perustan vähähiilisen rakentamisen säädösohjaukselle 2021.) Nopeat toimet ja kehitys ovat siis nähtävissä päästölaskennan sekä päästötietokannan osalta ja asiaa viedään jatkuvasti eteenpäin.

Hiilijalan - ja kädenjäljen hahmottaminen voi olla asiaan perehtymättömälle haastavaa hahmottaa kädenjäljen vaikutuksen ollessa positiivinen, vaikka se tulee ilmoittaa negatiivisena kokonaislukuna. Vaikka hiilikädenjälki on käsitteenä ja mittarina uusi, todettiin laskelmienkin myötä sen tärkeys kokonaiskuvan luomisessa, etenkin suurissa rakennuksissa.

Jos esitettäisiin pelkkä hiilijalanjälki, voisi se antaa yksin väärän kuvan päästöistä. Päästölaskennan sekä kiertotalouden kehittyminen vaatii rohkeutta, asiantuntijoiden kouluttautumista, laajaa tiedottamista ja ennen kaikkea yhteistä panostusta ja kiinnostusta asiaan.

Laskennan tulokset tukivat ennustettuja, tietoperustassakin esitettyjä puurakentamisen hyötyjä. Laskentakohteen kaltaisen suuren rakennuksen rakentaminen vähähiilisesti auttaa ilmastonmuutoksen ehkäisyssä. Arviointia tehdessä täytyi miettiä tapauskohtaisesti ja oppia ajatella rakennusta kokonaisuudessaan elinkaaren tasolla. Hanke itsessään vaikuttaa hiilipäästöihin positiivisella tavalla edistäen suomalaista osaamista puurakentamisessa, joten oli mukava olla mukana.

12.2 Eettisyys

Opinnäytetyö toteutettiin eettisiä periaatteita noudattaen. Työssä ei käsitelty henkilötietoja, eikä arkaluonteisia tietoja, jotka vaatisivat anonymisointia. Aineistoon ei myöskään sisälly salassa pidettäviä osia ja suorat kaavat on jätetty tarkoituksellisesti opinnäytetyöhön sisällyttämättä. Lähteiden (myös kuvat) käyttö sekä lähdeviittaukset on tehty asianmukaisesti ja tekijänoikeudet huomioon ottaen. Opinnäytetyö tarkistetaan plagioinnin varalta plagioinnintunnistusjärjestelmän avulla.

Aineistonhallinta on tehty suunnitelmallisesti ja aineistot ovat nimetty niin että löytäminen ja käsittely helppoa. Tiedostoihin ei pääse tekovaiheessa ulkopuoliset käsiksi ja turvallinen siirto ohjaajalle sekä toimeksiantajalle on turvattu. Eli vaikka opinnäytetyö ei sisällä arkaluonteisia henkilötietoja, on silti tiedonhallinta sekä -siirto turvattu. Erillisiä resursseja opinnäytetyön aineistonhallinnassa ei vaadittu.

Opinnäytetyö julkaistaan julkisena ja tästä on myös toimeksiantaja tietoinen. Muut työhön liittyneet aineistot jäävät ainoastaan toimeksiantajalle.

Lähteet

Bruce-Hyrkäs, T. N.d. Ympäristöministeriön Vähähiilisen rakentamisen pilotointi avattu ja arviointimenetelmä julkaistu. One Click, LCA.

<https://www.oneclicklca.com/ymparistoministerion-vahahiilisen-rakentamisen-pilotointi-avattu-ja-arviointimenetelma-julkaistu/>

Haapio, A. 2013. Puurakentamisen tulevaisuuden näkymät. Haastattelututkimus. Helsinki: VTT. Viitattu 4.1.2020

<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2013/T141.pdf>

Heimonen, I. 2011. Aurinkolämmön- ja sähkön energiantuoton laskennan opas. Viitattu 18.2.2021

https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Aurinko-Laskentaopas-2012_ver23082011-F4F73E83_56AF_4112_AD7B_0E1F1804D38B-30750.pdf/c6be6102-7bf6-17ae-17b0-d54c2cd99d83/Aurinko-Laskentaopas-2012_ver23082011-F4F73E83_56AF_4112_AD7B_0E1F1804D38B-30750.pdf?t=1603260207096

Hiilijalanjälkilaskenta. N.d. Insinööritoimisto Vesitaito Oy. Viitattu 12.11.2020

<https://vesitaito.fi/hiilijalanjalkilaskenta/>

Hiilikädenjälki. N.d. Määritelmä Sitran tulevaisuussanastossa. Viitattu 12.11.2020

<https://www.sitra.fi/tulevaisuussanasto/hiilikadenjalki/>

Hiilikädenjälki: Uusi ympäristömittari tuotteiden positiivisten ilmastovaikutusten arviointiin. 2018. VTT:n lehdistötiedote. Viitattu 19.12.2020

<https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/hiilikadenjalki-uusi-ymparistomittari-tuotteiden-positiivisten>

Hiilineutraali ja monimuotoisuuden turvaava Suomi. N.d. Valtioneuvosto: "Suomella on hyvät mahdollisuudet kestävä kehityksen mukaiseen ekologiseen jälleenrakentamiseen". Viitattu 23.2.2021.

<https://valtioneuvosto.fi/marinin-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-ja-luonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi>

Hyöky, A & Kyllönen, E. 2013. Lukuhöperöksi kasvamassa-Lukupassimateriaalin kehittäminen esiopetukseen. Kasvatustieteen pro gradututkielma, Oulun yliopisto. Viitattu 12.3.2021

https://www.ouka.fi/c/document_library/get_file?uuid=23e10170-d394-414d-8102-791bf4ac3fd4&groupId=112792

Kasvua ja kehitystä puusta-tukiohjelma. N.d. Ympäristöministeriö, puurakentaminen. Viitattu 10.3.2021

<https://ym.fi/kasvua-ja-kehitysta-puusta-tukiohjelma>

Koskela S, Korhonen M, Seppälä J, Häkkinen T & Vares S. 2011. Materiaalinäkökulma rakennusten ympäristöarvioinnissa. Viitattu 10.3.2021
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39687/SYKEra_16_2011_alkuperainen.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Kuittinen M, Le Roux S. 2017. Vähähiilisen rakentamisen hankintakriteerit. Ympäristöministeriön julkaisu, Helsinki: Ympäristöministeriö. Viitattu 8.1.2021.
https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80654/YO_2017_Vahahiilisen_rakentamisen_hankintakriteerit.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MacGilleon T. 2020. Betonisen kerrostalon hiilijalanjälki on jopa 75 % isompi kuin puusemen-puukerrostaloja rakennetaan nyt erityisesti Tampereella. Uutinen Yle.fi sivuilla. Viitattu 23.2.2021.
<https://yle.fi/uutiset/3-11179130>.

Mikä hiilijalanjälki? N.d. Insinööritoimisto Vesitaito Oy. Viitattu 12.11.2020
<https://vesitaito.fi/mika-hiilijalanjalki/>

Mikä on hiilijalanjälki? N.d. Loiste.fi. Viitattu 11.11.2020
<https://www.loiste.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/ilmastoystavallinen-yritys/hiilijalanjalan-hyvittaminen/mika>

Mitä hiilineutraalius tarkoittaa ja miten se saavutetaan 2050 mennessä? 2019. Viitattu 23.2.2021
<https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20190926STO62270/mita-hiilineutraalius-tarκοittaa-ja-miten-se-saavutetaan-2050-menessa>

Mitä tarkoittavat hiilijalanjälki, ilmastojalanjälki ja ekologinen jalanjälki? 2020. Artikkelin Vattenfallin sivulla. Viitattu 6.11.2020.
<https://energyplaza.vattenfall.fi/blogi/mita-tarκοittavat-hiilijalanjalki-ilmastojalanjalki-ja-ekologinen-jalanjalki>

Osakeyhtiö lamit.fi- erurivin kotimaista osaamista rakennusten energia- ja resurssitehokkuudesta. N.d. Lamit.fi: yritys. Viitattu 17.12.2020 <https://www.lamit.fi/yritys/>

Parkkitalot valjastetaan pian hiilitalkoisiin – yhteishankkeessa suunnitteilla puurakenteinen pysäköintirakennus. 2020. Uutta Helsinkiä, Uutinen. Viitattu 18.2.2021
<https://www.uuttahelsinki.fi/fi/uutiset/2020-03-04/parkkitalot-valjastetaan-pian-hiilitalkoisiin-yhteishankkeessa-suunnitteilla>
Puurakentamisen ohjelma. Puurakentamisesta ympäristöministeriön sivuilla. N.d. Viitattu 23.2.2021.
<https://ym.fi/puurakentaminen>

Rakennuksen laskennallinen hiilijalanjälki voi vaihdella huomattavasti käytettyjen laskentaoletusten mukaan. 2020. Rakennuslehti. Viitattu 18.2.2021.
<https://www.rakennuslehti.fi/2020/09/rakennuksen-laskennallinen-hiilijalanjalki-voi-vaihdella-huomattavasti-kaytettyjen-laskentaoletusten-mukaan/>

Rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmä. 2019. Ympäristöministeriö. Helsinki. Viitattu 6.11.2020
https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisyys_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rakennuksen vähähiilisyys laskentatyökalu. 2019. Ympäristöministeriön julkaisu, Viitattu 18.2.2021. <https://www.ym.fi/download/noname/%7BD4EE18D2-E07C-48A2-88A5-D266705A0498%7D/149235>

Rakentamisen päästöjä voidaan nyt vertailla- uusi päästötietokanta luo perustan vähähiilisen rakentamisen säädösohjaukselle. 2021. Ympäristöministeriön tiedote. Viitattu 14.3.2021
<https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/rakentamisen-paastoja-voidaan-nyt-vertailla-uusi-paastotietokanta-luo-perustan-vahahiilisen-rakentamisen-saadsohjaukselle>

Standard EN 15978:2011 Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method. Viitattu 14.11.2020.
<https://janet.finna.fi>, SFS Online.

Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. 2017. Bionova Oy. Viitattu 19.11.2020.
https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D-129197.pdf/1f3642e1-5d58-8265-40c1-337deeab782d/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D-129197.pdf?t=1603260760602

Tiekartta rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen vähentämiseksi valmisteilla. 2016. Ympäristö.fi. Ympäristöhallinnan tiedote. Viitattu 22.3.2021
[https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Tiekartta_rakennusmateriaalien_hiilijala\(40813\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Tiekartta_rakennusmateriaalien_hiilijala(40813))

Turunen A, Manninen R. 2020. Helsingin sanomat, MieliPide: Puurakentaminen on erinomainen rakentamistapa tiiviissä kaupungissa. Viitattu 10.3.2021
<https://www.hs.fi/mielipide/art-2000007619758.html>

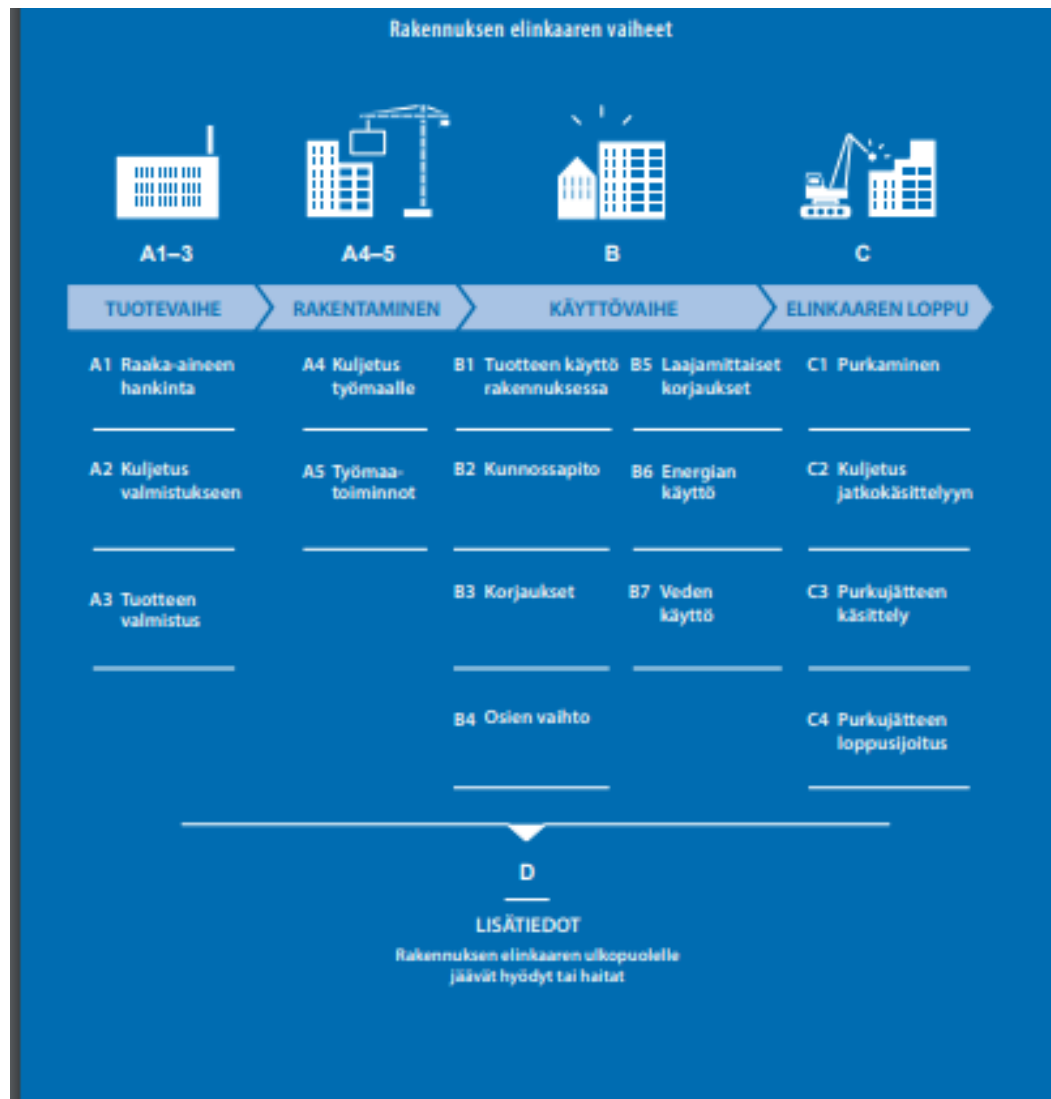
Tutkijan ABC. 2015. RajatOn. Viitattu 12.3.2021
<https://rajatontatiedekasvatusta.wordpress.com/tutkijan-abc/>

Vähähiilisen rakentamisen neuvontapalvelu. Mikä on hiilikädenjäljen merkitys, jos se ilmoitetaan erillisenä lisätietona eikä se pienennä hiilijalanjälkeä? N.d. Elinkaarilaskenta, usein kysytyt kysymykset. Viitattu 6.11.2020.
<https://elinkaarilaskenta.fi/>

Vähähiilisen rakentamisen tiekartta. N.d. Ympäristöministeriön verkkojulkaisu tiekarttaan liittyen. Viitattu 19.11.2020
<https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta>

Liitteet

Liite 1. Elinkaaren vaiheet



Liite 2. Arvioitavat rakennusosat (Moduuli A)

Taulukko 1. Arvioitavat rakennusosat.

	Sisältyy arviointiin	Ei sisälly arviointiin
Tontti	+ Maaosat + Tuennat ja vahvistukset + Päällysteet + Alueen rakenteet	- Alueen varusteet - Kasvillisuus - Kasvillisuuden, maaperän tai vesistöjen muutoksista aiheutuvat ilmastovaikutukset
Kantavat rakenteet	+ Perustukset + Alapohjat + Runko + Julkisivut, ovet ja ikkunat + Ulkotasot + Kattorakenteet	- Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumaukset ja muut kiinnikkeet
Täydentävät rakenteet	+ Väliseinät ja ovet + Portaat + Pintarakenteet + Tyypilliset kiintokalusteet + Hormit ja tulisijat + Tilaelementit	- Pintamateriaalit ja listat - Pintakäsittelyt ja maalaukset - Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumaukset ja muut kiinnikkeet
Talotekniikka	+ Lämmitysjärjestelmät + Vesi- ja viemärijärjestelmät + Ilmastointijärjestelmät + Jäähdytysjärjestelmät + Sprinklerit + Sähköjärjestelmät + Hissit	- Tietotekniset järjestelmät - Taloautomaatio - Varavirtajärjestelmät - Liukuportaat - Erilliset koneet ja laitteet
Työmaa	+ Työmaalla kulutettu energia	- Telineet, suojaukset - Väliaikaiset rakenteet, muotit ja tekniset laitteet - Työmaatilojen elinkaari - Työmaan henkilöliikenne

Liite 3. Yhteenvedo vähähiilisyiden arviointimenetelmästä ja sen rajauksista

Taulukko 2. Yhteenvedo vähähiilisyiden arvioinnin menetelmästä ja rajauksista.

Arvioitavat hankkeet	Uudisrakentaminen, laajamittaiset korjaukset	
Arvioitavat rakennustyytit	1–2 Asuinrakennus 3 Toimisto ja terveyskeskus 4 Liikerakennus, teatteri, kirjasto, museo 5 Majoitusliikerakennus, hotelli, asuntola, palvelutalo, vanhainkoti, hoitolaitos 6 Opetusrakennus ja päiväkotit 7 Liikuntahalli (lukuun ottamatta uimahallia ja jäähallia) 8 Sairaala 9 Muu rakennus	
Arvioitavat rakennusosat	<i>Arvioidaan</i>	<i>Ei arvioida</i>
Tontti	Maatyöt, tuennat ja vahvistukset, päällysteet, alueen rakenteet	Alueen varusteet, kasvillisuus, maaperä ja vesistöt
Kantavat rakenteet	Perustukset, alapohjat, runko, julkisivut, ovet ja ikkunat, ulkotasot, vesikatot	Erilliset kiinnikkeet
Täydentävät rakenteet	Väliseinät, ovet, portaat, pintarakenteet, kiintokalusteet, hormit ja tulisijat, tilallementit	Listat, pintamateriaalit ja -käsittelyt, erilliset kiinnikkeet
Talotekniikka	Energiajärjestelmät, vesi- ja viemärijärjestelmät, ilmastointijärjestelmät, sähkön jakelu- ja käyttöjärjestelmät, aurinkopaneelit ja -keräimet, hissit	Tietotekniset järjestelmät, varavirta, liukuportaat, erilliset koneet ja laitteet
Työmaa	Kulutettu energia	Telineet ja suojaukset, väliaikaiset rakenteet, muotit, työmaatilojen elinkaari, työmaan henkilöliikenne
Arviointijakso	50 vuotta tai tavoitekäyttöikä (jos käytetty suunnittelun lähtökohtana)	
Vertailuyksikkö	1 m ² rakennuksen lämmitettyä nettoalaa / vuosi	

Liite 4. Taulukkoarvot eri moduuleille

Tyypilliset päästöt (kgCO ₂ e/m ²)		
A1–3 Valmistus		<i>(lasketaan aina hankekohtaisin tiedoin)</i>
A4 Kuljetus työmaalle	10,20	Keskimääräinen kuljetusetäisyys Suomessa
A5 Uudisrakennustyömaan toiminnot	27,30	Työmaan energian ja polttonesteiden kulutus
B3–4 Korjausten energiankulutus ¹²	2,16	Materiaalien valmistus arvioitava erikseen
B6 Energian käyttö		<i>(lasketaan aina hankekohtaisin tiedoin)</i>
C1 Purkutyömaan toiminnot	7,80	Työmaan energian ja polttonesteiden kulutus
C2 Kuljetus jatkokäsittelyyn	10,20	Keskimääräinen kuljetusetäisyys Suomessa
C3–4 Jätteenkäsittely ja loppusijoitus	15,60	
Yhteensä	73,26	kgCO₂e/m²

Liite 5. Taloteknisten järjestelmien päästötiedot

Liite 2. Taloteknisten järjestelmien päästötietoja

Tavanomaisia järjestelmiä (pinta-ali tiedot ilmoitettu rakennuksen huonealaa kohti)	
Hissi	7 585,00 kg CO ₂ /kpl
Sähköasennukset ja kaapeloinnit	5,28 kg CO ₂ /m ²
Sprinklerijärjestelmä	5,85 kg CO ₂ /m ²
Vesi- ja viemäri-laitteistot (pinta-ali tiedot ilmoitettu rakennuksen huonealaa kohti)	
Vesijohtojärjestelmä	2,70 kg CO ₂ /m ²
Viemäriputkisto	0,52 kg CO ₂ /m ²
Lämmitys-järjestelmä (pinta-ali tiedot ilmoitettu rakennuksen huonealaa kohti)	
Patteriverkosto	6,67 kg CO ₂ /m ²
Lämmönjakokeskus	0,53 kg CO ₂ /m ²
Ilmanvaihtojärjestelmä ¹⁰	6,97 kg CO ₂ /m ²
Aurinkopaneelit (pinta-ali tiedot ilmoitettu aurinkopaneelin keräinpinta-alaa kohti)	
Kiteinen aurinkopaneeli	242,00 kg CO ₂ /m ²
Ohutkalvopaneeli	67,00 kg CO ₂ /m ²
Verkkoinvertteri	22,00 kg CO ₂ /kpl

Liite 6. Aurinkopaneelien tuottolaskenta Aurinko-opas 2012

4.2 Laskentamenetelmän kuvaus

Aurinkosähkökennojen tuottama sähköenergia lasketaan kaavalla (11)

$$E_{s,pv,out} = \frac{E_{sol} \cdot P_{maks} \cdot F_{käyttö}}{I_{ref}} \quad (11)$$

jossa
 E_{sol} on vuosittainen säteilyenergia, joka kohdistuu aurinkosähkökennoihin [kWh/m²,a]
 P_{maks} aurinkosähkökennojen tuottama maksimi sähköteho, jonka kennosto tuottaa referenssisäteilytilanteessa ($I_{ref}=1$ kW/m², referenssilämpötilassa 25 °C) [kW]
 $F_{käyttö}$ käyttötilanteen toimivuuskerroin [-]
 I_{ref} referenssisäteilytilanne [1 kW/m²]

Kennostoon kohdistuva auringonsäteilyn energia vuoden aikana lasketaan kaavalla (12)

$$E_{sol} = E_{sol,hor} \cdot F_{asento} \quad (12)$$

jossa
 $E_{sol,hor}$ on rakennuksen sijaintipaikasta riippuva vaakatasolle osuvan auringonsäteilyn kokonaisenergian määrä vuodessa [kWh/m²,a]. Taulukosta 3.

F_{asento} aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin [-].

Aurinkosähkökennojen tuottama maksimi sähköteho P_{max} on laitteen testattu teho standardiolosuhteissa. Menetelmä on kuvattu standardissa SFS-EN 61829. Mikäli testattua tulosta ei ole käytettävissä, lasketaan P_{max} kaavasta (13).

$$P_{max} = K_{max} \cdot A \quad (13)$$

jossa
 K_{max} on huipputehokerroin, joka riippuu aurinkosähkökennon tyypistä [kW/m²]. Taulukosta 10.
 A aurinkosähkökennon pinta-ala (ilman kehystä)

Aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin F_{asento} lasketaan kaavalla (14)

$$F_{\text{asento}} = F_1 F_2 \quad (14)$$

jossa F_1 on ilmansuunnan mukainen kerroin
 F_2 on kallistuksen mukainen kerroin

Taulukko 8. F_1 on ilmansuunnan mukainen kerroin (-).

Suuntaus	F_1
etelä/kaakko/lounas	1
itä/länsi	0,8
pohjoinen/koillinen/luode	0,6

Taulukko 9. F_2 on kallistuksen mukainen kerroin (-)

Kallistus- Kulma	Kerroin
<30°	1
30°...70°	1,2
>70°	1

Taulukko 10. Huipputehokerroin K_{max} , joka riippuu aurinkosähkökennon tyypistä (kW/m^2).

Aurinkosähkökennon tyyppi	Huipputehokerroin K_{max} kW/m^2
piipohjaiset yksikiteiset kennot *	0,12...0,18
piipohjaiset monikiteiset kennot *	0,10...0,16
ohutkalvo kiteetön pii kennot	0,04...0,08
muut ohutkalvotekniikalla toteutetut kennot	0,035
Ohutkalvotekniikalla toteutettu CuInGaSe ₂ kenno	0,105
Ohutkalvotekniikalla toteutettu CdTe kenno	0,095
* pakkaustiheys >80 %	

Taulukko 11. Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{\text{käyttö}}[-]$

Aurinkokennon asennustapa	Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{\text{käyttö}}[-]$
Tuulettamaton moduli	0,70
Hieman tuuletettu moduli	0,75
Voimakkaasti tuuletettava tai koneellisesti tuuletettu moduli	0,80

Liite 7. Ympäristöministeriön laskentatyökalun käyttöohje

Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalu

Luonnos hiilijalanjäljen arvioinnin testausta varten 9.12.2019



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

Käyttöohje

Tämä arviointityökalun luonnosversio on tarkoitettu rakennusten hiilijalanjäljen laskentamenetelmän testausta varten. Työkalua ja sen liitteenä olevia päästötietoja kehitetään testauksen jälkeen.

Avoimen työkalun tarkoituksena on tukea ja edistää elinkaarilaskennan käyttöä rakennushankkeen valmistelussa, suunnittelussa, rakentamisessa ja rakennusten käytön aikana. Tämä työkalu on tarkoitettu rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen arviointiin ensisijaisesti silloin, kun käytetään ympäristöministeriön yksinkertaistettua arviointimenetelmää. Työkalua voidaan käyttää myös tarkennetulla arviointimenetelmällä tehtyjen laskelmien raportointiin. Arvioinnit voi tehdä myös muilla soveltuvilla työkaluilla.

Työkalun sisältö

Työkalun eri välilehdillä kerätään tietoa hankkeesta ja sen elinkaarivaikutuksista seuraavasti:

Yhteenveto: Kohteen perustiedot ja arvioinnin tulokset

Materiaaliluettelo: Rakennuksessa käytettyjen materiaalien luettelointi

Valmistu, kuljetus, työmaa (A): Valmistuksen, kuljetuksen ja rakentamisen päästöt

Käyttö (B): Korjausten ja energiankulutuksen arviointi

Elinkaaren loppu (C+D): Purkamisen ja jätteiden käsittelyn arviointi

Tietojen laatu: Käytetyn lähtötiedon luotettavuuden arviointi

Materiaalitien päästötiedot: Työkalussa käytettävien hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen kertoimet

Laskentatietojen syöttäminen

Syötä tiedot harmaisiin soluihin

Työkaluun syötetään tietoja harmaalla pohjalla oleviin soluihin. Muut solut ovat lukittuja.

Valmiit taulukkoarvot sinisissä soluissa

Yksinkertaistetussa menetelmässä suurin osa laskennan tiedoista tulee pinta-alaan perustuvista taulukkoarvoista. Tällaiset kohdat työkalussa on esitetty vaaleansinisellä värillä, eikä niitä voi muokata.

Tarkempia tietoja voi syöttää vihreisiin soluihin

Jos haluat korvata taulukkoarvoja tarkemmilla hankekohtaisilla tiedoilla, syötä nämä tiedot vihreisiin soluihin. Taulukkoarvon vieressä olevaa "korvaa taulukkoarvot" -nappia painamalla aukeaa uusi tietokenttä tätä varten. Vaalean vihreisiin soluihin syötetyt arvot korvaavat oletuksena olevat taulukkoarvot. Muista toimittaa liitteenä kirjallinen selvitys, mihin tietoihin tarkentavat laskelmasi perustuvat.

Korvaa taulukkoarvot
tarkemmilla tiedoilla

Käyttöoikeus ja vastuuvapaus

Työkalu on tehty yhteistyössä Green Building Council Finland (GBC) kanssa. Työkalu on käytettävissä veloituksetta. Työkalun luonnosversio on tarkoitettu ainoastaan arvioinnin testausta varten.

Ympäristöministeriö tai GBC ei vastaa mistään vahingoista, jotka mahdollisesti aiheutuvat arviointityökalun käyttäjälle tai muulla taholle arviointityökalua käytettäessä tai muuten sovellettaessa siinä olevia tietoja, toimintamalleja tai esimerkkejä.



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

Liite 8. Tulokset vähimmäisvaatimuksien mukaan

Rakennuskohteen tiedot	
Osoite	Kuninkaantammi, Helsinki
Rakennustyyppi	Paikoitushalli (muu rakennus)

Tekniset tiedot	
Kerrosala	8169 brm ²
Kellarikerrosten lukumäärä	1
Pääasiallinen runkomateriaali	Puu
Laskennallinen ostoenergian kulutus	100 000 Kwh/a

Elinkaariarviointi		
Päästövaikutukset ennen käyttöä	hiilijalanjälki 16173	hiilikädenjälki -36443 (kgCO ₂ e/m ² /a)
Päästövaikutukset käytön aikana	hiilijalanjälki 13044	hiilikädenjälki -5882 (kgCo ₂ e/m ² /a)
Päästövaikutukset käytön jälkeen	ei purkuvaiheen päästöjä, taulukkoarvojen mukaan 0,7 kgCO ₂ e/m ² /a	
Hiilijalanjälki	1461 tnCO ₂ e	29218 kgCO ₂ e/m ² /a
Hiilikädenjälki	-2116	-42324

Arvioinnissa käytetyt tiedot	
Laatija	Elisa Leino
Koulutus	Energia- ja ympäristötekniikan insinööri
Laadinnan päivämäärä	9.2.2021
Taulukkoarvoja	A, B, C
Tarkempia laskelmia	B
Arvioinnin tekovaihe	Rakennuslupa
Käytetyt laskentaohjelmat	Vähähiilisyyden arviointimenetelmä ja Ympäristöministeriön pilottivaiheen yksinkertainen laskentaohjelma
Tietojen luotettavuus	Huomiona laskelmiin vaikuttava lämmitetty nettoala, jonka arvona käytetty 1 (ei voi asettaa 0). Tämä arvo muuttaa tuloksia
	Vain puurakenteet huomioitu