

# **Hiilidioksidipäästöt infrahankkeessa ja niiden vaikutus kustannuksiin**

Janika Niemi

Opinnäytetyö

Toukokuu 2019

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Niemi, Janika	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2019
	Sivumäärä 36	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Hiilidioksidipäästöt infrahankkeessa ja niiden vaikutus kustannuksiin</b>		
Tutkinto-ohjelma Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		
Työn ohjaaja(t) Leppä-aho Jaakko Haapamaa Hannu		
Toimeksiantaja(t) FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Suunnittelutoimistoissa puhutaan paljon hyvän tarjouksen tekemisestä ja tarjouskilpailun voittamisesta. Suomessa on tällä hetkellä vain muutama yritys, jotka tarjoavat päästölaskelmia ja elinkaariarviointia asiakkailleen. Ympäristövaikutusten hallinta on suuressa osassa tulevaisuuden rakentamista ja asiakkaat vaativat ympäristövaikutusten huomioonottamista yhä enemmän.</p> <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana on FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy. Työn lopputuloksena luotiin vertailu, josta selviävät katurakentamisessa eniten käytettyjen rakennemateriaalien päästöt, rakennusvaiheen kustannukset, sekä niiden riippuvuus toisiinsa. Työn lopputuloksena tavoiteltiin selkeää kuva siitä, millä tekijöillä on eniten vaikutusta kasvihuonekaasujen synnystä ja kuinka nämä näkyvät kustannuksissa.</p> <p>Työssä perehdyttiin Bionovan One Click LCA- laskentaohjelmaan, tutkittiin katusaneeraushankkeen elinkaarta sekä laskettiin hankkeen hiilijalanjälki. Kustannusarviota verrattiin laskennallisiin päästöihin ja tätä kautta luotiin vertailu päästöjen ja kustannusten välillä.</p> <p>Opinnäytetyön myötä tehtyjen vertailulaskelmien mukaan voidaan todeta hankkeessa toteutuneen rakennemallin olevan kustannustehokkain ja ympäristöystävällisin valinta toteuttaa kadun saneeraus annetuilla vaihtoehdoilla. Tulosten pohjalta voidaan suositella hyödyntämään enemmän standardisoituja ympäristövaikutus- ja elinkaarimittareita hankkeiden suunnittelussa ja urakasuunnittelutarjouksissa. Näin saadaan monipuolisempi ja nykyaikaisempi ote suunnitteluun, sillä tuloksilla voi olla merkittäviäkin vaikutuksia materiaalivalintaan. Paneutumalla hankkeen elinkaareen jo suunnitteluvaiheessa, voidaan tehdä kustannustehokkaita ja kestävästä rakentamista edistäviä ratkaisuja.</p>		
<p>Avainsanat (<a href="#">asiasanat</a>) CO2-päästöt, ympäristöoikeus, materiaalitehokkuus, kustannustehokkuus, hiilijalanjälki, elinkaari, resurssiviisaus, kiertotalous, kestävä rakentaminen, infrarakentaminen</p>		

Author(s) Niemi, Janika	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2019
	Number of pages 36	Language of publication: Finnish
		Permission for web publication: x
Title of publication <b>Carbon dioxide emissions in an infra projects and their impact on expenses</b>		
Degree programme Civil Engineering		
Supervisor(s) Leppä-aho Jaakko Haapamaa Hannu		
Assigned by FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy		
Abstract  <p>In engineering offices, the submitting of a good tender and the winning of bidding competition are often discussed. In Finland, there are currently only a few companies offering emission calculations and life cycle evaluation to their clients. The management of environmental effects, to a large extent, is part of building in the future with clients demanding that more and more attention is paid to environmental effects.</p> <p>The thesis was assigned by FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy. The thesis resulted in a comparison that shows the emissions of the most frequently used structural materials in street building, construction stage expenses and their interdependence. The ultimate goal of the study was to provide a clear picture of the factors with the biggest effect on generating greenhouse gases and how they reflect on expenses.</p> <p>In the study the calculator software Bionova One Click LCA was familiarized with the life cycle of the street renovation project is examined and the carbon footprint is calculated. The expenditure evaluation was compared with the calculated emissions, thus contrasting emissions and expenses. The comparative calculations made for this study verify the statement that the structural model implemented within the project is the most cost-efficient and environmentally friendly choice to carry out the street renovation by using the available alternatives. Based on the results it can be recommended that more standardized environmental effect and life cycle indicators are to be used in planning projects and when preparing bidding competition tenders concerning contracts. This would help to adopt a more versatile and modern approach towards planning, for the results may also have important effects on the choice of materials. By focusing on the life cycle of the project already at the planning stage, it will be possible to reach solutions contributing to sustainable construction and to more cost-efficiency.</p>		
Keywords ( <a href="#">subjects</a> ) CO2 emissions, environmental law, material efficiency, cost efficiency, carbon footprint, life cycle, resource wisdom, circular economy, sustainable construction, infrastructure construction		

# Sisältö

<b>Käytetyt termit .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Johdanto .....</b>	<b>5</b>
1.1 Lähtökohdat ja tausta .....	5
1.2 Tutkimusongelma .....	7
1.3 Työn tavoite .....	7
<b>2 Ympäristöystävällinen rakentaminen .....</b>	<b>8</b>
2.1 Hiilijalanjälki .....	8
2.2 Elinkaariarviointi (LCA) .....	9
<b>3 Standardit .....</b>	<b>11</b>
<b>4 OneClick LCA .....</b>	<b>17</b>
<b>5 Case Martikaisentien saneeraus.....</b>	<b>19</b>
<b>6 Vertailun lähtökohdat.....</b>	<b>21</b>
6.1 Kustannukset .....	23
6.2 Päästöt .....	25
<b>7 Yhteenveto.....</b>	<b>29</b>
7.1 Työn tulos .....	29
7.2 Päästö- ja kustannusvertailu .....	30
7.3 Johtopäätökset ja ohjeet tulevaisuudelle .....	32
<b>Lähteet .....</b>	<b>34</b>

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Suomen kasvihuonekaasupäästöjen kehitys sektoreittain.....	9
Kuvio 2. Päästötavoitteiden vaikutukset hankkeen kilpailuprosessin eri vaiheissa. ...	11
Kuvio 3. Kuvakaappaus One Click LCA- laskentatyökalusta ja esimerkkilaskusta.....	18
Kuvio 4. Poikkileikkauskuva, josta nähdään moreenikerroksen syvyys kairausten perusteella.....	19
Kuvio 5. Rakennepoikkileikkaus Martikaisentien rakenteesta. ....	21
Kuvio 6. Kustannusarvio normaalirakenteesta. ....	23
Kuvio 7. Kustannusarvio vaahtolasirakenteesta. ....	24
Kuvio 8. Kustannusarvio vaahtobitumistabiloinnista.....	24
Kuvio 9. CEN/TC 350-standardien elinkaarimalli. ....	25
Kuvio 10. Hiilidioksidipäästöjen vertailukaavio vaihtoehtoisilla rakenteilla (CO <sub>2</sub> -ekvivalenttitonnia). ....	27
Kuvio 11. Normaalirakenteen päästöjakauma koko elinkaaren ajalta. ....	27
Kuvio 12. Vaahtolasirakenteen päästöjakauma koko elinkaaren ajalta. ....	28
Kuvio 13. Vaahtobitumistabiloinnin päästöjakauma koko elinkaaren ajalta. ....	28
Kuvio 14. Hiilidioksidipäästöjen alenema suhteessa kustannuksiin. ....	31
Taulukko 1. CEN/TC 350-standardien mukaiset elinkaaren vaiheet.....	26
Taulukko 2. Päästölaskelmien ja kustannusarvioiden tulokset.....	29

## Käytetyt termit

### **Kasvihuonekaasupäästöintensiivisyys**

Tuote tai palvelu vapauttaa voimakkaasti hiilidioksidia ilmakehään.

### **Elinkaariarviointi (LCA)**

Elinkaariarviointi on menetelmä tuotteiden ja palveluiden ympäristöarviointia varten, joka kattaa niiden elinkaaren raaka-aineiden louhinnasta jätteiden käsittelyyn. (Elinkaariarviointi, jalanjäljet ja panos-tuotosmalli 2013.)

### **Ympäristöoikeus**

Oikeudenala, joka sääntelee ympäristön ja luonnon käyttöä sekä ympäristön- ja luonnonsuojelua. (Wikipedia n.d.).

### **Kustannustehokkuus**

Maksimaalinen tuotos käytettyihin resursseihin nähden.

### **Resurssiviisaus**

Kyky hyödyntää erilaisia resursseja (luonnonvarat, raaka-aineet, energia, tuotteet ja palvelut ja aika) harkitusti ja hyvinvointia sekä kestävästä kehitystä edistävällä tavalla.

### **Kiertotalous**

Maksimoidaan tuotteiden, komponenttien ja materiaalien sekä niiden arvon kiertoa taloudessa mahdollisimman pitkään. Tuotanto sekä kulutus synnyttävät mahdollisimman vähän hukkaa ja jätettä.

### **Kestävä kehitys**

Kehitystä nykyisessä yhteiskunnassa ilman myönnytyksiä tulevien sukupolvien kustannuksella. Tärkeimpiä huomioon otettavia tekijöitä ovat luonnonvarojen riittävyys sekä köyhyys.

**CO2-ekv**

Hiilidioksidiekvivalentti, joka kertoo ilmastoa lämmittävien kasvihuonekaasujen vaikutukset yhteenlaskettuna. (Wikipedia n.d.).

# 1 Johdanto

Rakennetulla ympäristöllä on vuosi vuodelta merkittävämpi rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä. Infrahankkeissa useat rakennusmateriaalit ovat kasvihuonekaasupäästöintensiivisiä valmistuksen ja tarvittavan kuljetuksen johdosta.

Hiilidioksidin vähentäminen on monen yrityksen uusin visio. Strategiana on vähentää toimitusketjun ja loppukäyttäjien hiiltä sekä sen vaikutuksia. Hiilidioksidin vähentäminen tunnustetaan arvokkaaksi ja se vaikuttaa päätöksentekoon monella tasolla, kuten suunnitelmien ja mallien laajuuteen.

Yksinkertainen ja johdonmukainen viestintä auttaa tiedostamaan hiilen määrää suunnitelluissa hankkeissa. Uusi kulttuuri kehittyy ja muutos näkyy ensimmäisenä johtokäyttäytymisessä, jota voidaan nähdä uusien säädösten ja asetusten myötä. (Deighton & Fallon 2013, 31).

Pohjoismaiden edelläkävijöitä päästölaskentavaatimusten hyödyntämisessä ovat Trafikverket Ruotissa sekä Statsbygg Norjassa. Molemmat vaativat elinkaariarvioinnin arviointia sekä ympäristöselosteita toteutettavilta hankkeilta. (Pasanen & Miilumäki 2017, 3).

Suomessa on alettu toimia säädösten tiukentamiseksi ja meneillään on useita projekteja, joista tunnetuimpia ovat UUMA3-ohjelma sekä tuleva MASA-asetus. (UUMA-ohjelma 2018; Liesegang 2018).

## 1.1 Lähtökohdat ja tausta

Suunnittelutoimistot kilpailevat lähes poikkeuksetta projekteista laadittujen tarjousten perusteella. Suomessa on tällä hetkellä vain muutama yritys, jotka tarjoavat päästölaskelmia ja elinkaariarviointia asiakkailleen. Ympäristövaikutusten hallinta on suuressa osassa tulevaisuuden rakentamista ja asiakkaat vaativat ympäristövaikutusten huomioonottamista yhä enemmän.

Kustannus- ja päästötietojen esittäminen osana suunnitelmia tuovat tärkeää lisäinformaatiota päätöksenteon tueksi. Se mahdollistaa esimerkiksi hankkeiden ja toteutusvaihtoehtojen vertailun eri näkökulmista, esimerkiksi ympäristövaikutusperusteisesti, sekä niiden arvottamisen päätöksentekoa varten. Kustannus- ja päästötietojen liittäminen osaksi tieto- ja yhdistelmämallia tarjoaa mahdollisuuden esittää eri järjestelmissä tuotettua tietoa kootusti ja visuaalisesti. (Pasanen, Sipari & Bruce-Hyrkäs 2018, 3).

FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy (FCG) tarjoaa laajasti yhdyskuntasuunnittelua, talo- ja korjausrakentamista, vesihuollon suunnittelua sekä ympäristökonsultointia. Liiketoiminta muodostuu infra- ja aluesuunnittelusta, kiinteistöistä ja talotekniikasta, ympäristöstä ja energiasta sekä vesihuollosta. Alueisiin kuuluu lisäksi useampia toimialoja, kuten katu-, tie- ja liikennesuunnittelu.

Suunnitteluliiketoiminta on suurin FCG:n liiketoimintaryhmä ja henkilöstöä on Helsingin lisäksi myös kymmenessä alueellisessa toimipaikassa eri puolilla Suomea. Henkilöstö tekee projekteissa yhteistyötä verkostomaisesti, jotta varmistetaan monipuolinen asiantuntemus. Suunnittelutoiminnassa tehdään tiivistä yhteistyötä asiakkaiden ja kattavan asiantuntijaverkoston kanssa. Suunnittelussa hyödynnetään tietomallintamista aina kun se on mahdollista. (FCG Suunnittelu ja tekniikka n.d.).

Jyväskylän aluepäälliköltä tuli idea infrahankkeen päästöjen laskemisesta. Yrityksen on tarkoitus ottaa ympäristövaikutukset enemmän huomioon tulevissa projekteissa ja tätä varten olisi hyvä tehdä monipuolinen tarkastelu päästöjen ja kustannusten yhteisvaikutuksesta, jota voitaisiin hyödyntää tulevaisuudessa. Vastaavanlaisia kadun saneeraushankkeita toteutetaan yrityksen toimesta arviolta 20-30 hanketta vuosittain. (Silvennoinen 2019.)

## 1.2 Tutkimusongelma

Nykyään tiedetään jo paljon hiilidioksidipäästöistä sekä niiden vaikutuksista ympäristöön. Tarjolla on niin yrityksiä kuin tietokoneohjelmia, joiden avulla voidaan laskea päästöjä hankekohtaisesti. Useimpia kuitenkin kiinnostaa, mitkä ovat päästöjen huomioimisen vaikutukset kustannuksiin tai missä suhteessa kustannukset liikkuvat ympäristöystävällisyyden kanssa. Kyseisestä aiheesta ei Suomessa ole tehty juuri tutkimuksia, joten uskottavuuden todistaminen on vaikeampaa.

Keskeisiä tutkimuskysymyksiä olivat:

- Millä tekijöillä on eniten vaikutusta infrahankkeessa päästöjen syntyyn?
- Mistä hankkeen suurimmat kustannustekijät johtuvat?
- Kuinka vähäpäästöiset valinnat näkyvät hankkeen kustannuksissa?

Tarkkaa lopputulosta varten tulee laskea hankkeen kustannukset ja massamäärät sekä selvittää energian kulutus, kuljetusetäisyydet ja materiaalien sekä koko hankkeen suunniteltu käyttöikä. Usein lopullista tulosta vääristää tietojen puutteellisuus. Työmaan aikainen energian kulutus, johon kuuluu sähkön, veden sekä polttoaineen kulutus on suuressa osassa hankkeista jätetty kirjaamatta. Vaihtoehtoisten rakenteiden ja työmenetelmien osalta tämä pitäisi arvioida.

## 1.3 Työn tavoite

Työssä perehdytään One Click LCA- laskentaohjelmaan, lasketaan hiilijalanjälki sekä elinkaariarvio yrityksen kanssa valitusta hankkeesta, joka on Jyväskylän Palokkaan toteutettu Martikaisenkadun saneeraushanke. Kustannusarviota verrataan laskennallisiin päästöihin ja tätä kautta luodaan vertailu päästöjen ja kustannusten välillä. Kustannuslaskenta luo perustan kustannusten ja CO<sub>2</sub>-päästöjen vertailulle.

Lopputuloksena luodaan visuaalinen yhteenveto, josta selviää tutkittujen rakenne- materiaalien päästöt ja rakennusvaiheen kustannukset, sekä niiden riippuvuus toisiinsa. Työn lopputuloksena tavoitellaan selkeää kuvaa siitä, millä tekijöillä on eniten vaikutusta kasvihuonekaasujen synnyssä ja miten sitä voidaan muuttaa toisenlaisilla

valinnoilla. Työssä tutkitaan miten valinnat vaikuttavat syntyviin kustannuksiin ja mistä tämä johtuu.

Laskennan taustat ja teoriat sisältävät käsitteitä ympäristöystävällisestä rakentamisesta, minkälaisia sopimuksia päästöjen vähentämiseksi on tehty, miten valtioneuvosto ja ympäristöministeriö ovat kehittäneet vihreää rakentamista Suomessa sekä ohjeita ja standardeja hiilijalanjäljen pienentämiseksi.

## 2 Ympäristöystävällinen rakentaminen

Mitä tarkoittaa, kun puhutaan ympäristöystävällisemmästä rakentamisesta? Miksi siitä puhutaan?

Luonnonvarojen niukentuminen, ympäristöongelmat, kansainvälistyminen sekä erilaiset ympäristöriskit, jotka liittyvät muun muassa saastumiseen, luonnonvarojen ehtymiseen ja ympäristöönnettömyyksiin sekä niiden seurauksiin. Tällä kaikella on vaikutusta ympäristöystävällisempään rakentamiseen. Puhutaan ekologisuudesta ja resurssiviisaudesta.

Kysymys ilmaston lämpenemisestä vaikuttaa rakentamiseen paljon eri puolella maailmaa ja tämä vaatii kompromisseja. Tavoitteena on maailmanlaajuisesti nykyistä vähähiilisempi talous. (Infrarakentaminen 2020 2012).

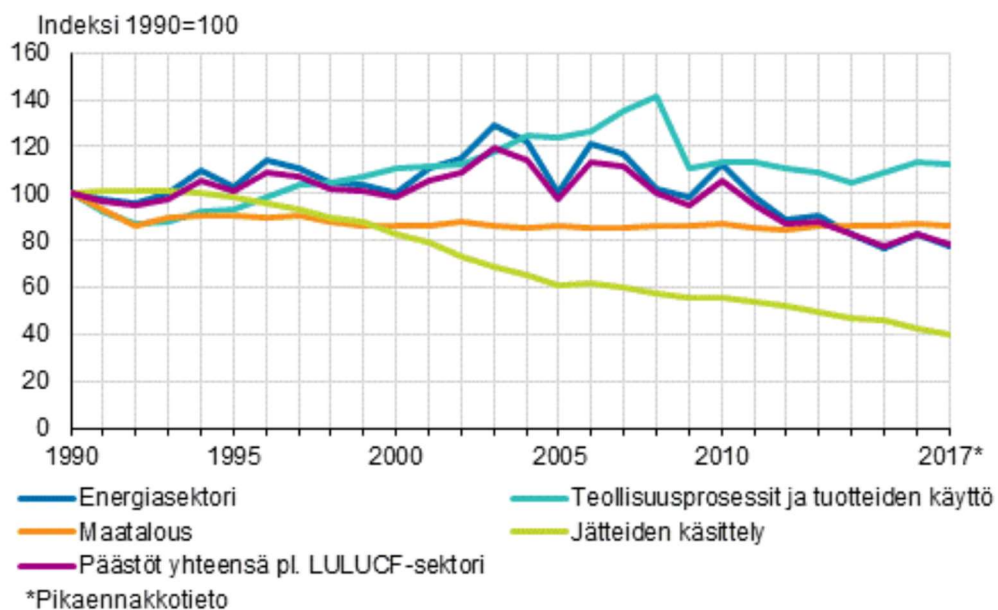
### 2.1 Hiilijalanjälki

Lähes kaikelle toiminnalle voidaan laskea hiilijalanjälki. Hiilijalanjälki tarkoittaa ilmastokuormaa, josta syntyy kasvihuonepäästöjä.

Suomen kasvihuonekaasupäästöt vuonna 2017 olivat 56,1 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia. Eniten päästöjä syntyy energiasektorilla, johon kuuluvat muun muassa kuljetuksista johtuvat polttoainepäästöt. Yhden suomalaisen päästöt ovat noin 9

hiilidioksidiekvivalenttitonnia vuodessa. Kasvihuonekaasujen päästöjen kehitys vuodesta 1990 tähän päivään on esitetty kuviossa 1.

EU pyrkii vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään 20 prosenttia vuoden 2005 tasosta vuoteen 2020 mennessä. (Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut. 2017; Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2017).



Kuvio 1. Suomen kasvihuonekaasupäästöjen kehitys sektoreittain. (Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut. 2017; Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2017)

## 2.2 Elinkaariarviointi (LCA)

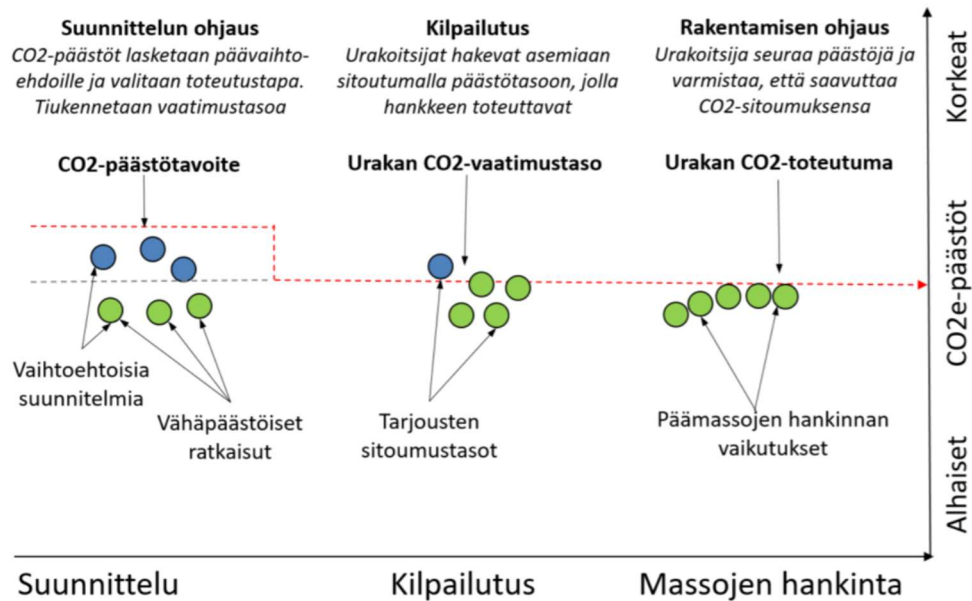
Elinkaariarviointi on tullut merkittäväksi päätöksentekovälineeksi suunnittelijoille sekä teollisuudelle tuotteen ja prosessin valmistukseen kohdistuvien vaikutusten arvioinnissa. Määräykset ovat muuttuneet vastuullisuuden suuntaan; valmistaja ei ole enää vastuussa pelkästään tuotannon vaikutuksista, vaan myös käyttöön, kuljetukseen ja hävittämiseen liittyvistä vaikutuksista. Ympäristöystävällisyys on noussut kriteeriksi kuluttajamarkkinoilla sekä julkisissa hankinnoissa. Nykyinen kehityssuunta on

asettanut elinkaariarvioinnin tärkeään asemaan, jolla tunnistetaan sekä valmiiden tuotteiden, että käytettyjen materiaalien vaikutukset ympäristöön.

Kuluttajat, jotka haluavat tehdä parhaan valinnan ympäristölle, voivat hyödyntää elinkaariarvioinnin analyysijä tuotteiden ympäristöystävällisyyden vertailuun. Valmistajat, jotka haluavat minimoida tuotteidensa ympäristövaikutukset, voivat hyödyntää elinkaariarviointia sen määrittämiseksi, mihin muutoksia tuotteiden elinkaareissa kannattaa tehdä ympäristövaikutusten vähentämiseksi. Hallitukset voivat hyödyntää elinkaariarviointia yksilöimään tiettyjä elinkaaren vaiheita, joissa säännöt ovat tehokkaimpia ympäristön pilaantumisen vähentämiseksi tai luonnonvarojen säilyttämiseksi. (Muralikrishna & Manickam. 2017, 57-75).

Infrarakentamisessa päästöjen hallinnoimisesta on muodostunut kilpailutekijä urakoitsijoille sekä suunnittelijoille. Urakoitsijalle voidaan antaa velvoitteita uusiomateriaalien käytöstä, jolloin ne tulee asettaa sopimusehdoiksi. Näitä tekijöitä voidaan hyödyntää urakkakilpailussa pisteytystekijöinä tai ehtona urakan hyväksymiseksi.

Kun hiilidioksidipäästöjen vaatimustasoa tiukennetaan jo suunnitteluvaiheessa, saadaan urakoitsijat sitoutumaan hankkeen päästötasoon. Urakoitsijat seuraavat päästöjä rakentamisen aikana ja varmistavat, että sovittu päästötaso saavutetaan. Päästötavoitteiden vaikutuksia hankkeessa on kuvattu kuviossa 2. Kuviosta nähdään, kuinka suunnitteluvaiheessa aloitetulla päästöjen ohjauksella voidaan vaikuttaa hankkeen toteutuman päästöihin.



Kuvio 2. Päästötavoitteiden vaikutukset hankkeen kilpailuprosessin eri vaiheissa. (Pasanen & Miilumäki 2017.)

### 3 Standardit

Standardit on kehitetty ympäristöselosteiden laadintaa, ympäristövaikutusten sekä kestävän rakentamisen arviointia varten. Suomessa teknisen komitean CEN/TC 350 SFS:n antama vastuu on Rakennustuoteteollisuus RTT ry:llä.

Standardisointityön tavoitteena on yhteisesti sovittujen ja uskottavien pelisääntöjen luominen rakennusten ympäristövaikutusarviointiin, joka pohjautuu elinkaariarvioinnin ISO 14040-standardisarjaan (LCA) sekä elinkaariarvioinnin tunnettavuuden ja käytettävyyden parantaminen ympäristövaikutusarvioinnissa. Tavoitteena on myös ymmärryksen lisääminen elinkaaren eri vaiheiden ympäristövaikutusten keskinäisistä suhteista ja merkityksistä toisiinsa. (Kestävän rakentamisen standardit luovat yhdenmukaiset pelisäännöt n.d.).

Infrastruktuurihankkeita varten on käynnissä standardisointityö, jossa kehitetään niille soveltuva standardi rakennushankkeiden- ja tuotteiden ympäristövaikutusten hallintaan. Uusi standardi ottaa huomioon vaikutukset liikennejärjestelmään sekä tukee vahvasti uusiomateriaalien käyttöä ja jätevirtoja.

Standardit mahdollistavat hankkeen elinkaaren aikaisen ympäristövaikutuksen mittaamisen yhteisesti sovitulla tavalla. Tällä tavoin suunnittelijat voivat ohjata valintojaan. Standardit otetaan huomioon infrarakentamisessa käytettävissä ohjelmissa ja palveluissa. Päästölaskelmia ja elinkaariarviointia tarjoavat palvelut on rakennettu standardien ja ympäristöluokitusten ympärille tukien kestävää rakentamista.

Toimialalla yleisimmin käytettävät eurooppalaiset ja kansainväliset standardit:

**EN 15643-2:2011 Sustainability of construction works — Assessment of buildings — Part 2: Framework for the assessment of environmental performance.**

*Antaa arvioinnin kestäväälle kehitykselle elinkaariajattelun avulla. Kestävyyden arvioinnissa mitataan rakennustöiden ympäristösuojelun, sosiaalisen ja taloudellisen suorituskyvyn vaikutukset laadullisesti ja määrällisesti, sekä tasapuolisesti teknisten ominaisuuksien ja toimivuuden perusteella. Arviointi voidaan tehdä kokonaisuudesta tai rakennustöiden osista. (EN 15643-2:2011).*

**EN 15643-3:2012 Sustainability of construction works — Assessment of buildings — Part 3: Framework for the assessment of social performance.**

*Antaa sosiaalisen suorituskyvyn arvioinnin erityiset periaatteet ja vaatimukset, ottaen huomioon rakennuksen tekniset ominaisuudet ja toiminnallisuudet. Kestävän kehityksen sosiaalinen ulottuvuus keskittyy rakennuksen näkökohtien ja vaikutusten arviointiin. Suorituskyvyn mittareita esitetään seuraaville sosiaalisen suorituskyvyn luokille: saavutettavuus, sopeutumiskyky, terveys ja mukavuus, naapuruston kuormitus, huolto, turvallisuus, materiaalien ja palvelujen hankinta, sidosryhmien osallistuminen. (EN 15643-3:2012).*

**EN 15643-4:2012 Sustainability of construction works — Assessment of buildings — Part 4: Framework for the assessment of economic performance.**

*Mahdollistaa kestävän kehityksen arvioinnin tulosten vertailukelpoisuuden. Kestävyyden arvioinnissa kvantifioidaan vaikutukset yhteiskunnan ja talouden suorituskykyyn tasapuolisesti teknisten ominaisuuksien ja toimivuuden perusteella. Arviointi voidaan tehdä kokonaisuudesta tai rakennustöiden osista. (EN 15643-4:2012).*

**EN 15643-5:2017 Sustainability of construction works – Sustainability assessment of buildings and civil engineering works - Part 5: Framework on specific principles and requirements for civil engineering works.**

*Sisältää erityisiä periaatteita ja vaatimuksia maa- ja vesirakennustöiden ympäristönsuojelun, sosiaalisen ja taloudellisen suorituskyvyn arvioimiseksi, ottaen huomioon tekniset ominaisuudet ja toiminnallisuuden. Arvioinnissa keskitytään infrastruktuurin ympäristö-, yhteiskunnallisiin ja taloudellisiin vaikutuksiin sekä maa- ja vesirakennustöiden kuljetuksista aiheutuviin ympäristövaikutuksiin. (EN 15643-5:2017).*

**EN 15978:2011 Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method.**

*Antaa laskentasäännöt uusien ja olemassa olevien rakennusten ympäristövaikutusten arvioimiseksi. Osa teknisten eritelmien ja teknisten raporttien sarjaa rakennusten ympäristönsuojelun arviointia varten, jotka yhdessä tukevat arvioidun rakennuksen ponnosta kestävään rakentamiseen ja kestävään kehitykseen. Tukee päätöksentekoprosessia ja rakennuksen ympäristötehokkuuden arvioinnin dokumentointia. (EN 15978:2011).*

**ISO 21930:2017 Sustainability in buildings and civil engineering works -- Core rules for environmental product declarations of construction products and services**

*Sisältää periaatteet, spesifikaatiot ja vaatimukset rakennustuotteiden ja -palvelujen, rakennuselementtien ja integroitujen teknisten järjestelmien ympäristötuotteiden (EPD) kehittämiseksi kaikissa rakennustöissä. Lisäksi tämä asiakirja on rakennusalan tuotteiden, rakennuselementtien ja integroitujen teknisten järjestelmien PCR-asiakirja:*

*a) sisältää säännöt elinkaarivaraston analyysin (LCI) laskemiseksi, ennalta määritellyt ympäristöindikaattorit ja elinkaarivaikutusten arvioinnin tulokset, jotka on raportoitu EPD: ssä*

*b) kuvataan, mitkä elinkaarivaiheet otetaan huomioon tietyssä EPD-tyypissä, mitkä prosessit sisällytetään elinkaarivaiheisiin ja miten vaiheet jaetaan informaatiomodulleihin*

*c) määrittelee säännöt skenaarioiden kehittämiseksi*

*d) sisältää säännöt asiaankuuluvien ympäristö- ja teknisten tietojen ilmoittamisesta, joita LCA ei kata*

*e) määrittelee EPD: hen sisällytettävät ydinelementit*

*f) vahvistaa projektiraportin rakenteen*

*g) määrittellään edellytykset, joilla rakennustuotteita voidaan verrata EPD: n antamien tietojen perusteella*

*h) säädetään vaatimuksista ja suuntaviivoista rakennusalan tuotteiden alaluokkiin liittyvää PCR: ää varten*

*i) sisältää pakolliset ja muuttamattomat vaatimukset kaikille PCR: lle tämän asiakirjan perusteella (ISO 21930:2017).*

**EN 15804 Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products.**

*Tarjoaa keskeiset tuoteryhmäsäännöt (PCR) tyyppin III ympäristöilmoituksille rakennustuotteille ja -palveluille. Ydin-PCR määrittelee ilmoitettavat parametrit ja niiden yhdistämisen ja raportoinnin, kuvaa, mitkä tuotteen elinkaaren vaiheet otetaan huomioon EPD:ssä ja mitkä prosessit sisällytetään elinkaarivaiheisiin, määrittelee skenaarioiden kehittämistä koskevat säännöt, sisältää elinkaariarvion laskentaperiaatteet ja EPD:n perustana olevan elinkaaren vaikutusten arvioinnin, sisältää säännöt, jotka koskevat ennalta määritellyn, ympäristön ja terveyden raportoinnin tiedot, määrittää edellytykset, joilla rakennustuotteita voidaan verrata EPD:n toimittamien tietojen perusteella. (EN 15804:2012).*

**EN 15942:2011 Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Communication format business-to-business.**

*Yhdenmukaistaa tapaa, jolla ympäristötuotteita koskevat ilmoitukset tehdään (EPD) tiedotetaan Euroopassa. Parantaa EPD:n tietojen käsittelyä rakennuksen tasolla ja arvioinnissa rakennusten ympäristönsuojelun tasoa. Standardoidussa muodossa ilmaistu EPD helpottaa tuotteen ympäristötietoisuutta suorituskyky yrityksille. EPD:n yhdistäminen CE-merkintään. (EN 15942:2011).*

**ISO 15686-1:2011 Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles and framework.**

*Määrittelee ja vahvistaa yleiset periaatteet käyttöiän suunnittelulle ja järjestelmälliselle kehykselle suunnitellun rakennustyön käyttöiän suunnittelun toteuttamiseksi koko sen elinkaaren ajan. Soveltuu yksittäisten rakennusten käyttöiän suunnitteluun. (ISO 15686-1:2011).*

**EN ISO 52000 standard series: Energy performance of buildings.**

*Luo järjestelmällisen, kattavan ja modulaarisen rakenteen uusien ja olemassa olevien rakennusten energiatehokkuuden arvioimiseksi kokonaisvaltaisesti. Soveltaa rakennuksen kokonaisenergiankäyttöä mittaamalla ja laskemalla energiatehokkuuden primäärienergian tai muiden energiankulutuksen mittareiden perusteella. Ottaa huomioon eri sovellusten erityismahdollisuudet ja rajoitukset. (EN ISO 52000-1:2017).*

**ISO 15686-2:2012 Buildings and constructed assets – Service life planning – Service life prediction procedures.**

*Kuvaa menettelyjä, jotka helpottavat rakennusosien käyttöiän ennusteita teknisen ja toiminnallisen suorituskyvyn perusteella. Tarjoaa yleiset puitteet, periaatteet ja vaatimukset tällaisten tutkimusten tekemiselle ja raportoimiselle. (ISO 15686-2:2012).*

**ISO 15686-7:2016 Buildings and constructed assets – Service life planning – Performance evaluation for feedback of service life data from practice.**

*Antaa yleisen perustan olemassa olevien rakennusten ja rakennettujen hyödykkeiden käyttöiän palautteen arvioinnille, mukaan lukien käytettävät termit ja kuvauksen siitä, miten tekninen suorituskyky voidaan kuvata ja dokumentoida varmistaen yhdenmukaisuus. Kuvaa elinkaaren mittausten ja arvioinnin periaatteita, joissa painotetaan teknisiä suosituksia. Antaa ohjeita suunnittelu-, dokumentointi- ja tarkastusvaiheista sekä suorituskyvyn arviointien analysoinnista ja tulkinnasta. (ISO 15686-7:2016).*

**ISO 15686-8:2008 Buildings and constructed assets – Service life planning – Reference service life and service life estimation.**

*Antaa ohjeita käyttöiän vertailutietojen toimittamisesta, valinnasta ja muotoilusta sekä näiden tietojen käytöstä arvioidun käyttöiän laskemiseksi tekijämenetelmää käyttäen. (ISO 15686-8:2008).*

## 4 OneClick LCA

OneClick LCA- palvelun on kehittänyt suomalainen Bionova Oy. Palvelu on tällä hetkellä käytössä yli 30:ssä maassa.

Bionova Oy on koonnut palvelussa käytettävän ympäristötietokannan Euroopan ja Pohjois- Amerikan ympäristöselosteista sekä rakennusmateriaalien LCA- tietokannasta. Tietokantaa ylläpidetään laadunvalvontaprosessin mukaisesti ja se sisältää noin 4500 ympäristövaikutusprofiilia Euroopasta.

One Click LCA tukee infrastruktuurialan standardeja ja ympäristöluokitusjärjestelmiä, muun muassa EN 15978, CEEQUAL, PAS 2080 Carbon management in Infrastructure ja Envision. Palvelulla voidaan laskea rakennustuotteiden ympäristövaikutukset ja tuottaa niistä ympäristöseloste. Lisäksi se tukee noin 30: tä kansainvälistä kestävän rakentamisen standardia ja laskentamenetelmää.

One Click LCA voi hyödyntää standardisoituja tiedostoformaatteja ja yhtyy osaksi 3D-suunnitteluohjelmia. Palveluun löytyy liitännäinen Autodesk Revit-ohjelmistolle ja pian julkaistava tuki myös Tekla Structures- ja ArchiCAD-ohjelmistoille. (OneClick LCA database 2018).

Laskennan tuottamiseksi tarvitaan seuraavia tietoja hankkeesta:

- Arviot rakenteiden käyttöiästä (tekninen)
- Kuljetusetäisyydet ja käytetty kalusto
- Massamäärät (onko hankkeen sisältä vai ulkopuolisista lähteistä)
- Energian kulutus (työmaan aikainen ja käyttövaihe)

Palveluun luodaan infrastruktuurihanke ja valitaan tietokannasta litterassa esitetyjä materiaaleja, kuljetuksia sekä rakenteita vastaavat nimikkeet. Nimikkeille kirjataan massat ja kuljetusetäisyydet, vrt. kuvio 3. Työmaan aikainen ja käyttövaiheen energian kulutus kirjataan omalle välilehdelle, mikäli tiedot ovat saatavilla. Ohjelma laskee tulokset annetuista tiedoista. Ennen laskelman aloittamista tulee hanke käydä läpi ja selvittää tiedot sillä tasolla, millä tuloksia halutaan saada.

### 1. Muualle kuljetettavat massat - Vain A4 3 Tonnia CO<sub>2</sub>e - 1 %

Massat, jotka kuljetetaan tulevaa käyttöä varten. Tähän projektiin kohdennetaan vain kuljetuksen päästöt (työmaan päästöissä).

#### Poistettavat massat

Aloita kirjoittamaan tai klikkaa nuolta 

Resurssi	Määrä	CO <sub>2</sub> e	Huomiot	Littera	Kuljetus, kilometriä	
Kitkamaa ?	31115 kg	0.03t	Maaleikkaus	1600	15	Maansiltoauto, 19 ton <a href="#">Vaihda</a>
Asfaltti (AB 16 Hot mix) (NCC) ?	13321 m <sup>2</sup>	2.6t	Asfalttipäällysteen poisto	1100	30	Maansiltoauto, 19 ton <a href="#">Vaihda</a>

### 2. Hankkeessa hyödynnettävät massat - Vain A4

Vaati kuljetusta ja mahdollista käsittelyä, mutta hyödynnetään hankkeessa. Kuuluu työmaan päästöihin.


Hankkeessa hyödynnettävät massat [+ Paina lisätäksesi tietoja](#)

### 3. Hankkeeseen hankitut massat - A1-A3 156 Tonnia CO<sub>2</sub>e - 73 %

Massat, jotka ostetaan ulkopuolisilta lähteiltä. Kuljetuspäästöt materiaalien kuljetuksiin.

#### Hankkeeseen hankitut massat

Aloita kirjoittamaan tai klikkaa nuolta 

Resurssi	Määrä	CO <sub>2</sub> e	Huomiot	Littera	Kuljetus, kilometriä	
Murske (0...100 mm) ?	5443 m <sup>3</sup>	70t	Sitomaton kantava ja jakava	2100	15	Maansiltoauto, 19 ton <a href="#">Vaihda</a>
 etty hiekka (0...8 mm) ?	15300 m <sup>3</sup>	25t	Suodatinkerros	2100	15	Maansiltoauto, 19 ton <a href="#">Vaihda</a>
Asfaltti (AB 16 Hot mix) (NCC) ?	14676 m <sup>2</sup>	60t	Asfalttipäällyste	2100	60	Maansiltoauto, 19 ton <a href="#">Vaihda</a>

Kuvio 3. Kuvakaappaus One Click LCA- laskentatyökalusta ja esimerkkilaskusta.



### **Normaalirakenne**

- Asfalttipäällyste: AB ja ABK
- Kantava kerros: kalliomurske, raekoko 0-16mm
- Jakava kerros: kalliomurske, raekoko 0-56mm
- Suodatinkerros: luonnonhiekkä

### **Vahtolasirakenne**

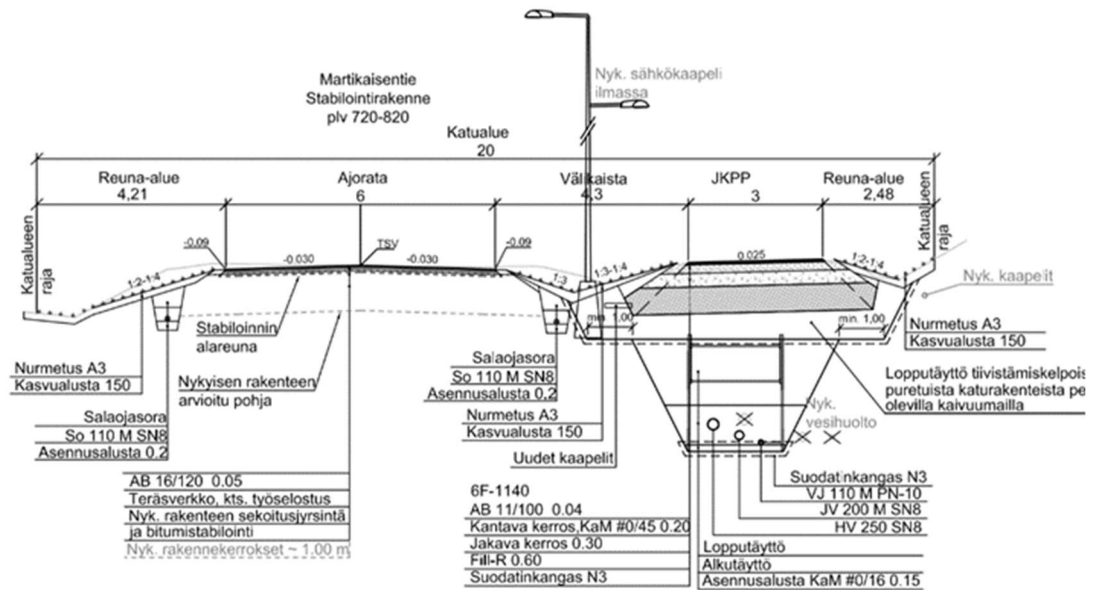
- Asfalttipäällyste: AB ja ABK
- Kantava kerros: kalliomurske, raekoko 0-45mm
- Lujiteverkko
- Vahtolasimurske: puhdistetusta kierrätyslasista valmistettu kevytkiviaines, raekoko 0-60mm
- Kuivatuskerros: luonnonhiekkä tai kalliomurske
- Suodatinkangas

### **Vahtobitumistabilointi**

- Asfalttipäällyste: AB
- Teräsverkko
- Vahtobitumistabilointi: Veden ja bitumin vaahdotettu seos, joka sekoitetaan olemassa olevaan kiviainekseen. Sitoo olemassa olevan hienoaineksen ja stabiloi maaperää.

Rakenteista tehtiin kustannusvertailu, jotta nähtiin todelliset erot rakenteellisissa kustannuksissa. Kustannusarviot nimikkeittäin on esitetty kohdassa ”Kustannukset”.

Toteuttavaksi rakenteeksi on suunnitteluvaiheessa valittu vahtobitumistabilointi, sillä routivuusongelman ei todettu olevan liian suuri. Lisäksi bitumistabiloinnin yhteyteen on suunniteltu teräsverkotus, joka hillitsee routivuudesta aiheutuvia maaperän muutoksia rakenteen yläpinnassa. Suunniteltu rakenne on esitetty kuviossa 5.



Kuvio 5. Rakennepoikkileikkaus Martikaisentien rakenteesta. (FCG)

## 6 Vertailun lähtökohdat

Hankkeen tekniset vaatimukset on esitetty Rakennustieto Oy:n julkaisussa InfraRYL 2010 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, Osa 1, Väylät ja alueet. Rakennusosien sisällöt, tilavuuskäsitteet ja massakertoimet on kuvattu Rakennustieto Oy:n julkaisussa Infra 2015 Rakennusosa- ja hankenimikkeistö, Määrämittausohje.

Maamassojen tuotanto on oletettu nollapäästöiseksi. Oletus pohjautuu siihen, että kohteessa tarvittavia maamassoja ei ole kaivettu luonnonvaraisista lähteistä, vaan ne tulevat välivarastoista. Tästä syystä kohteeseen hankituille maamassoille on laskettu ainoastaan kuljetuksesta aiheutuvat päästöt. Työmaan sisällä kiertäville maamassoille sekä työmaalta pois vietäville massoille on laskettu vain kuljetuksesta aiheutuvat päästöt.

Rakennushankkeessa on noudatettu InfraRYL:ssa taajama- alueista annettuja toleransseja, teknisiä vaatimuksia ja ohjeita. Kustannukset on laskettu infran kustannuslaskentaohjelmisto Rapal Fore:lla. Hintataso on päivitetty viimeisimmän päivityksen mukaan ja rakennusosien litterat on kohdistettu InfraRYL: ssä esitetyille vaatimuksille. Onnistuneen infrahankkeen kustannushallintaan kuuluvat ajantasaiset hintatiedot ja oikeat laskentamenetelmät.

Hankkeen materiaali- ja työkustannukset lasketaan Internet-selaimella toimivalla, lisenssin vaativalla Fore- kustannuslaskentaohjelmistolla, joka takaa ajantasaiset hintatiedot ja oikeanlaisen laskutavan. Rakennushankkeen massamäärät lasketaan suunnitelmatiedostosta, jonka jälkeen ne syötetään palveluun tapauskohtaisesti joko kappalemäärinä, pinta- aloina tai kuutioina.

## 6.1 Kustannukset

Martikaisentien saneerauksen merkittävimmät materiaalikustannukset ovat esitetty nimikkeittäin kuvioissa 6, 7 ja 8. Kuvioista voidaan nähdä, että vaahtolasistabilointi on selkeästi edullisin vaihtoehto hankittujen massamäärien vähyyden vuoksi. Normaali- ja vaahtolasirakenteen välillä kustannuksissa ei ole huomattavaa eroa.

Laskenta perustui seuraaviin oletuksiin:

- Aluekerroin 1,0
- Kustannusindeksi 109,1 (2010=100)

Suodatus: Normaalirakenne Martikaisentielle 1500 mm

### Rakennusosat

Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä
<b>1000</b>	<b>Maa-, pohja- ja kalliorakenteet</b>				<b>116 594 €</b>
<b>1100</b>	<b>Olevat rakenteet ja rakennusosat</b>				<b>68 458 €</b>
1142.1	+kuljetuksen lisäkustannus (5-10 km), poistettavat rakennekerrokset ja penkereet	m3ktr	20 743	3,30 €	68 458 €
<b>1600</b>	<b>Maaleikkaukset ja -kaivannot</b>				<b>48 136 €</b>
1611	Maaleikkaus, erittelemätön, normaalit olosuhteet	m3ktr	20 743	2,32 €	48 136 €
<b>2000</b>	<b>Päällyys- ja pintarakenteet</b>				<b>442 126 €</b>
<b>2100</b>	<b>Päällysrakenteen osat ja radan alusrakennekerrokset</b>				<b>442 126 €</b>
2111	Suodatinkerros hiekasta (5000-20000 m3tr)	m3tr	15 300	7,50 €	114 762 €
2111.1	+kuljetuksen lisäkustannus (10-15 km), suodatinkerrokset	m3tr	15 300	5,14 €	78 642 €
2112	Suodatinkangas N3	m2tr	16 920	1,41 €	23 803 €
2121.1	Jakava kerros KaM 0-56, 1500...5000 m3tr	m3tr	3 390	16,51 €	55 957 €
2121.8	+kuljetuksen lisäkustannus (5-10 km), jakavat kerrokset	m3tr	3 390	3,64 €	12 339 €
2131.1	Sitomaton kantava kerros KaM 0-16, 1500...5000 m3tr	m3tr	2 053	19,02 €	39 047 €
2131.5	+kuljetuksen lisäkustannus (5-10 km), sitomattomat kantavat kerrokset	m3tr	2 053	3,64 €	7 472 €
2141.1	AB 12 / 100 (40 mm), vilkas liikenne / kaupunki	m2tr	2 700	7,84 €	21 181 €
2141.11	ÄB 16 / 100 (40 mm) (levitettävä ala on 1500- 50000 m2)	m2tr	5 988	5,86 €	35 099 €
2141.13	ABK 22 / 125 (50 mm) (levitettävä ala on 200- 1500 m2) *	m2tr	5 988	8,99 €	53 824 €
<b>1000-4900</b>	<b>Rakennusosat yhteensä</b>				<b>558 720 €</b>

Kuvio 6. Kustannusarvio normaalirakenteesta. (FCG)

## Suodatus: Vaahtolasirakenne Martikaisentielle

## Rakennusosat

Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä
<b>1000</b>	<b>Maa-, pohja- ja kalliorakenteet</b>				<b>64 944 €</b>
<b>1100</b>	<b>Olevat rakenteet ja rakennusosat</b>				<b>25 835 €</b>
1142.1	+kuljetuksen lisäkustannus (5-10 km), poistettavat rakennekerrokset ja penkereet	m3ktr	7 828	3,30 €	25 835 €
<b>1400</b>	<b>Pohjarakenteet</b>				<b>20 943 €</b>
1415.1	Lujiteverkko *	m2tr	8 688	2,41 €	20 943 €
<b>1600</b>	<b>Maaleikkaukset ja -kaivannot</b>				<b>18 166 €</b>
1611	Maaleikkaus, erittelemätön, normaalit olosuhteet	m3ktr	7 828	2,32 €	18 166 €
<b>2000</b>	<b>Päällys- ja pintarakenteet</b>				<b>214 029 €</b>
<b>2100</b>	<b>Päällysrakenteen osat ja radan alusrakennekerrokset</b>				<b>214 029 €</b>
2111	Kuivatuskerros *	m3rtr	2 214	9,56 €	21 156 €
2111.1	+kuljetuksen lisäkustannus (10-15 km), kuivatuskerrokset *	m3rtr	2 214	5,14 €	11 380 €
2112	Suodatinkangas N3	m2tr	12 600	1,41 €	17 726 €
2131.3	Sitomaton kantava kerros KaM 0-45, alle 1500 m3rtr	m3rtr	2 250	20,21 €	45 474 €
2131.5	+kuljetuksen lisäkustannus (5-10 km), sitomattomat kantavat kerrokset	m3rtr	2 250	3,64 €	8 189 €
2141.1	AB 12 / 100 (40 mm), vilkas liikenne / kaupunki *	m2tr	2 700	7,84 €	21 181 €
2141.11	AB 16 / 100 (40 mm) (levitettävä ala on 1500- 50000 m2)	m2tr	5 988	5,86 €	35 099 €
2141.13	ABK 22 / 125 (50 mm) (levitettävä ala on 200- 1500 m2) *	m2tr	5 988	8,99 €	53 824 €
<b>4000</b>	<b>Rakennustekniset rakennusosat</b>				<b>161 472 €</b>
<b>4900</b>	<b>Muut rakennusosat</b>				<b>161 472 €</b>
4999	Vaahtolasimurkse (Foamit) + kuljetus *	m3	3 364	48,00 €	161 472 €
<b>1000-4900</b>	<b>Rakennusosat yhteensä</b>				<b>440 444 €</b>

Kuvio 7. Kustannusarvio vaahtolasirakenteesta. (FCG)

## Suodatus: Stabiointi Martikaisentielle

## Rakennusosat

Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä
<b>2000</b>	<b>Päällys- ja pintarakenteet</b>				<b>56 280 €</b>
<b>2100</b>	<b>Päällysrakenteen osat ja radan alusrakennekerrokset</b>				<b>56 280 €</b>
2141.1	AB 12 / 100 (40 mm), vilkas liikenne / kaupunki *	m2tr	2 700	7,84 €	21 181 €
2141.11	AB 16 / 100 (40 mm) (levitettävä ala on 1500- 50000 m2)	m2tr	5 988	5,86 €	35 099 €
<b>4000</b>	<b>Rakennustekniset rakennusosat</b>				<b>104 256 €</b>
<b>4900</b>	<b>Muut rakennusosat</b>				<b>104 256 €</b>
4999	Vaahtobitumistabiointi *	m2	8 688	6,00 €	52 128 €
4999	Teräsverkko *	m2	8 688	6,00 €	52 128 €
<b>1000-4900</b>	<b>Rakennusosat yhteensä</b>				<b>160 536 €</b>

Kuvio 8. Kustannusarvio vaahtobitumistabiointista. (FCG)

## 6.2 Päästöt

Jokaiselle elinkaaren vaiheelle on selkeä määritelmä standardeissa, vrt. kuvio 9. CEN/TC 350-standardit noudattavat yhtenäistä elinkaarimallia. Malli koostuu tuote-, rakennus-, käyttö-, ja purkuvaiheesta. Elinkaaren vaiheet on kuvattu tiiviisti taulukossa 1. Vaiheiden määritelmät antavat edellytykset standardinmukaiselle laskennalle.

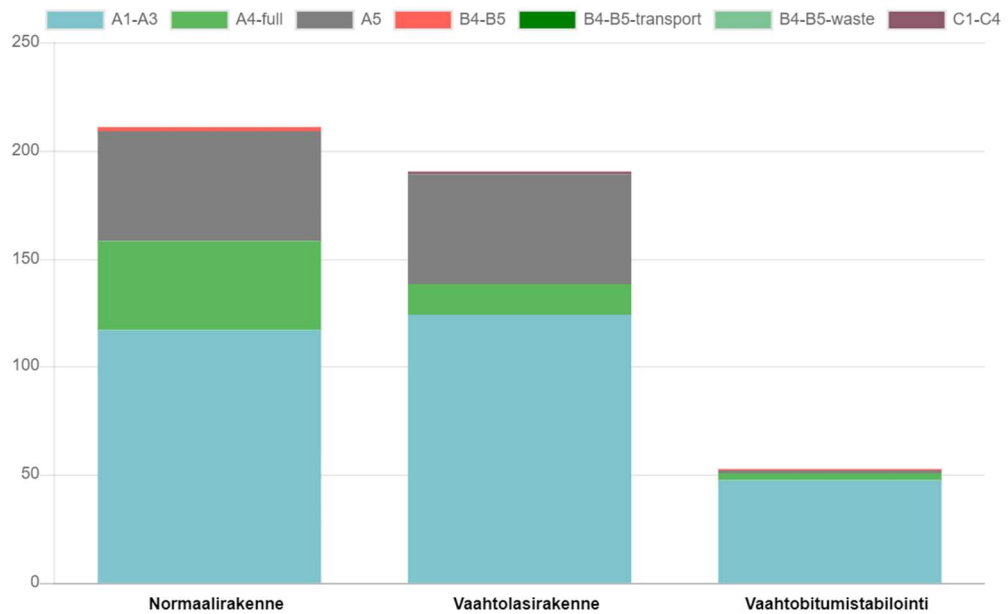
Työssä tehtyjen laskelmien pohjalta saadut hiilidioksidipäästöt on esitetty vertailukaaviona kuviossa 10. Prosentuaaliset päästöjakaumat elinkaaren vaiheen mukaan on esitetty jokaisesta rakennevaihtoehdosta omana kaavionaan kuvioissa 11, 12 ja 13. Kaavioista voidaan nähdä miten suuressa määrin materiaalivalinnat vaikuttavat kuljetusmääriin ja kuinka suuri osa ne ovat kokonaispäästöjä yhdessä.

Building Assessment Information														
Building Life Cycle Information											Supplementary Information beyond the Building Life Cycle			
A1-A3			A4-A5		B1-B7					C1-C4				D
PRODUCT stage			CONSTRUCTION PROCESS stage		USE stage					END OF LIFE stage				Benefits and loads beyond the system boundary
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport	Construction-installation process	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Deconstruction Demolition	Transport	Waste Processing	Disposal	Reuse-Recovery-Recycling-Potential
			scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario	scenario
					B6 Operational energy use									
					B7 Operational water use									
					scenario									

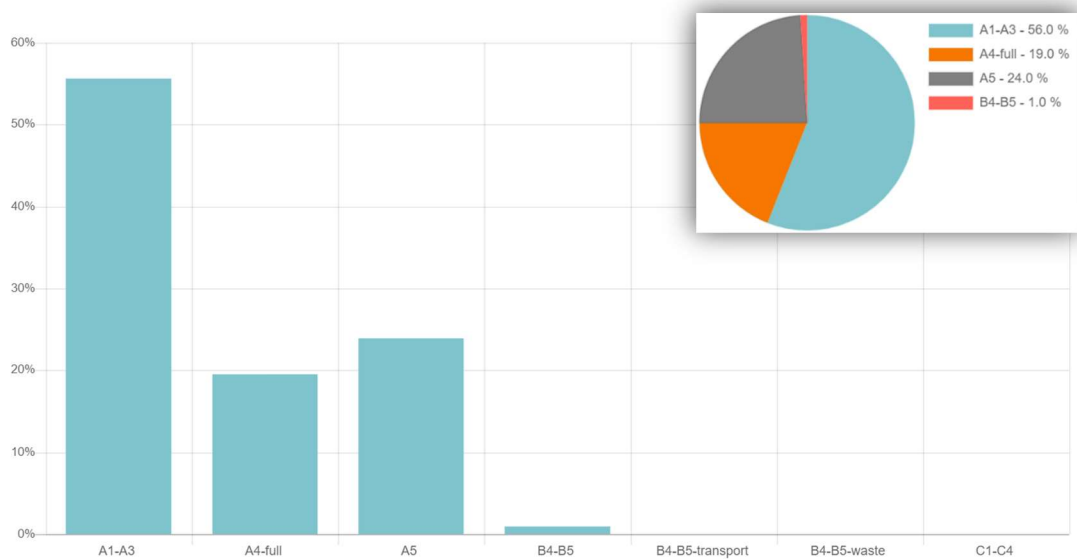
Kuvio 9. CEN/TC 350-standardien elinkaarimalli. (Embodied Carbon & EPDs 2019.)

Taulukko 1. CEN/TC 350-standardien mukaiset elinkaaren vaiheet. (Pasanen & Miilumäki 2017.)

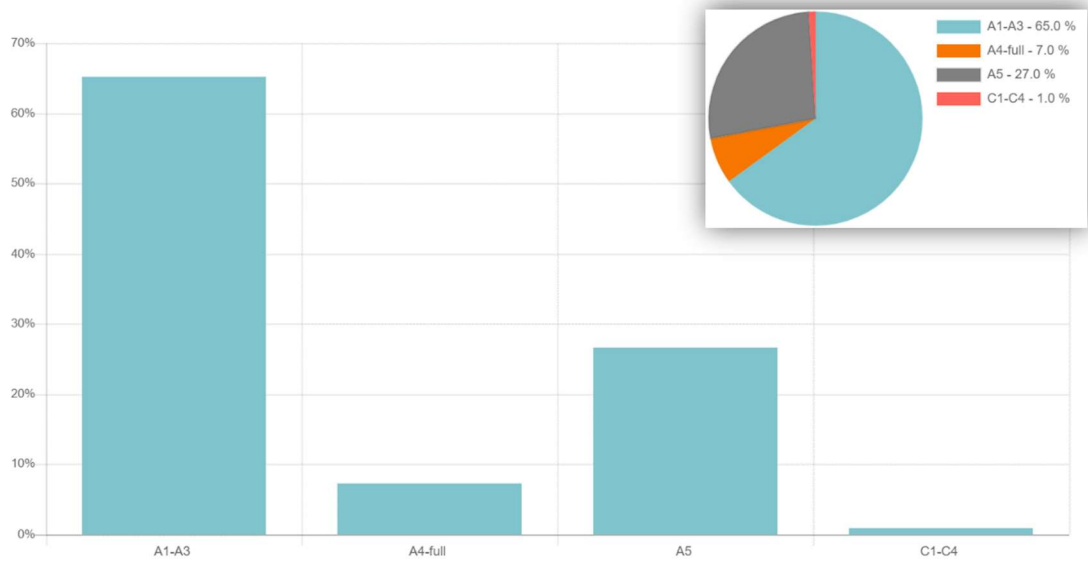
A1-A3 Tuotevaihe	Rakennustuotteen koko valmistusketjun päästöt EN 15804 mukaisesti.
A4 Kuljetukset	Rakennustuotteiden ja koneiden kuljetukset.
A5 Työmaatoiminnot	Työmaan toiminnot, sis. maansiirron, varastoinnin, energiankäytön, jätehuollon ja väliaikaiset rakenteet.
B4 Osien vaihto	Materiaalien suunniteltu vaihto, esim. asfalttipäällysteen uusiminen.
B5 Laajat korjaukset	Merkittävä korjaus.
C1 Purkaminen	Rakenteiden purkaminen ja koneiden energian tarve.
C2 Purkuvaiheen kuljetukset	Purkujätteestä aiheutuva kuljetus End-of-Waste tilaan asti.
C3 Purkujätteiden käsittely	Purkujätteiden käsittely End-of-Waste tilaan asti.
C4 Purkujätteen loppusijoitus	Päästöt tapauksissa, joissa käsittelytapa on loppusijoitus tai energian tuotanto.



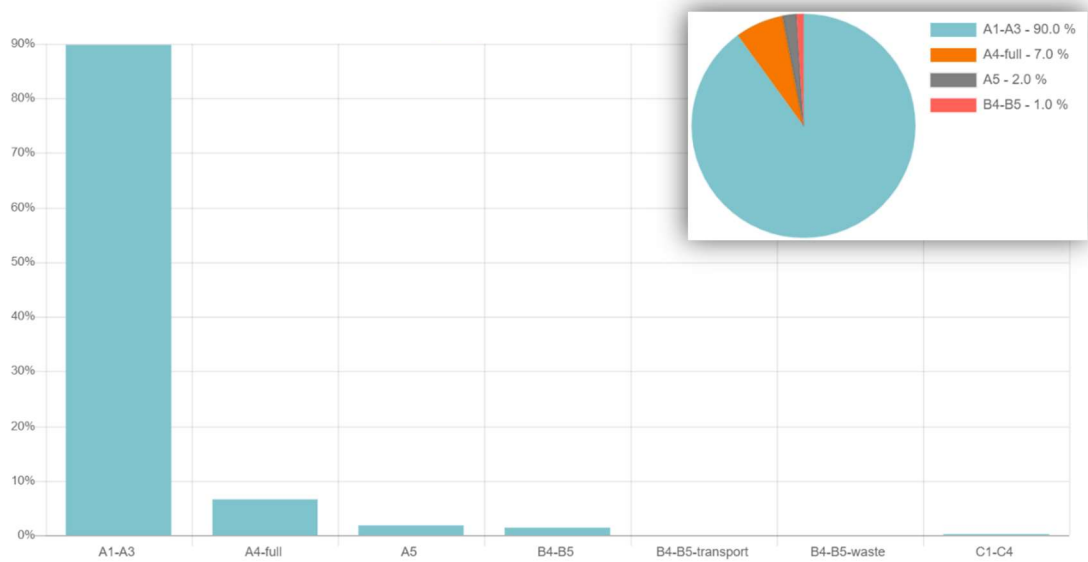
Kuvio 10. Hiilidioksidipäästöjen vertailukaavio vaihtoehtoisilla rakenteilla (CO<sub>2</sub>-ekvi- valenttitonnia).



Kuvio 11. Normaalirakenteen päästöjakauma koko elinkaaren ajalta.



Kuvio 12. Vaahtolasirakenteen päästöjakauma koko elinkaaren ajalta.



Kuvio 13. Vaahtobitumistabiloinnin päästöjakauma koko elinkaaren ajalta.

## 7 Yhteenveto

### 7.1 Työn tulos

Opinnäytetyön myötä tehtyjen vertailulaskelmien mukaan hankkeessa toteutunut vaahtobitumistabilointi on annetuista rakennevaihtoehtoista kustannustehokkain ja ympäristöystävällisin valinta toteuttaa kadun saneeraus kyseisessä hankkeessa. Tulosten mukaan vaahtobitumistabilointi on selkeästi edullisin ja vähäpäästöisin vaihtoehto. Rakennevaihtoehtojen hiilidioksidipäästöt ja kustannukset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Päästölaskelmien ja kustannusarvioiden tulokset.

<b>Rakenne</b>	<b>Kustannukset/€</b>	<b>Päästöt/CO<sub>2</sub>e</b>
Normaalirakenne	558 720	211 000
Vaahtolasirakenne	440 444	190 000
Vaahtobitumistabilointi	160 536	53 000

Opinnäytetyön laskelmat on toteutettu rajallisin tiedoin ja tarkempien tulosten saamiseksi tulee hankkeen suunnitteluun paneutua tarkemmin sekä tiedottaa urakoitsijaa tarvittavista tiedoista laskelmia varten.

One Click LCA- palvelulla on mahdollista saada tuloksia todella tarkoin määritelmien ja se mahdollistaa suurienkin hankkeiden päästölaskelmat koko elinkaaren ajan. Kirjasot ovat kattavia ja niitä on mahdollista päivittää oman projektin mukaan. Palvelun käytön aloittaminen vaatii ohjausta, sillä hankkeen laskelmaa aloittaessa tietyillä valinnoilla on merkitystä laskentamenetelmään ja tätä kautta tuloksiin. On mahdollista, että massamäärät laskee kahteen kertaan, jolloin tulos vääristyy. Tietoja syöttäessä

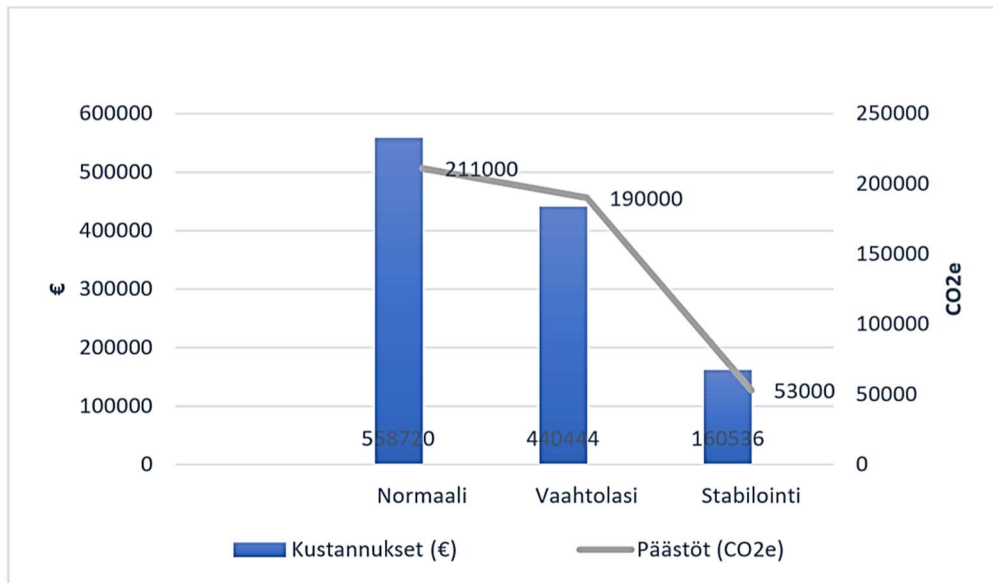
tulee olla tarkka mihin kategoriaan niitä kirjataan. Määrät on mahdollista syöttää palveluun suoraan excel- tiedostona, mikä nopeuttaa laskelmien tekemistä huomattavasti. Tulosten analysointi vaatii aikaa ja elinkaaren vaiheen tuntemusta. Palvelulla on mahdollista tehdä vertailulaskelma ainoastaan kahdelle hankkeelle, useampien hankkeiden vertailu tulee tehdä itse käsin.

Työn lopputuloksena syntyi hyvä pohja vastaavanlaisten katuhankkeiden kustannus- ja päästövertailua varten. Erinäinen tieto Internetistä on koottu yhteen ja tiedon keruu sai työssä keskeisen osan. Työtä on helppo jatkaa tai soveltaa tarkempia laskelmia varten.

## 7.2 Päästö- ja kustannusvertailu

Toteutuneen ja vaihtoehtoisten rakenteiden väliset erot ovat seuraavat:

Vaahto-bitumistabiloinnin suhde vaahtolasirakenteeseen päästöjen osalta -280 %, päästöjen aiheuttamien sosiaalisten kustannusten osalta -262 % ja rakenteellisten kustannusten osalta -175 %. Vaahtobitumistabiloinnin suhde normaalirakenteeseen päästöjen osalta -322 %, päästöjen aiheuttamien sosiaalisten kustannusten osalta -300 % ja rakenteellisten kustannusten osalta -248 %. Vaahtolasirakenteen suhde normaalirakenteeseen on noin -30 % kaikissa kategorioissa. Päästöjen ja kustannusten suhdetta on kuvattu kuviossa 14.



Kuvio 14. Hiilidioksidipäästöjen alenema suhteessa kustannuksiin.

Hankkeen 160 536 euron suunnitelmätiedoilla lasketuiksi päästöiksi saadaan 53 tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia. Joka on noin 0,33 CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia yhtä euroa kohden.

Vertaamalla saatuja tuloksia olemassa oleviin päästövertailuihin voidaan todeta, että kuljetuksia vähentämällä, energiatehokkuutta parantamalla ja kierrätysmateriaalia hyödyntämällä päästään nopeasti vähäpäästöisempiin tuloksiin. Kadun saneeraus-hankeessa rakennekerrosten poistaminen ja uusien maamassojen hankinta ovat suurimmat tekijät korkeissa päästöissä ja kustannuksissa. Olemassa olevien rakennekerrosten hyödyntäminen maaperää stabiloimalla on kustannustehokas ja kiertotalouden ajattelutapaa tukeva valinta.

### 7.3 Johtopäätökset ja ohjeet tulevaisuudelle

Martikaisenkadun saneerauksen 50 vuodelle laskettu elinkaaren hiilijalanjälki on bruttomääräisenä noin 53 tonnia CO<sub>2</sub>-ekvivalenttia, kun se toteutetaan vaahtobitumistabilointia käyttäen. Hiilen sosiaaliset kustannukset ovat 2 635 euroa. Tämä on hinta, jonka yhteiskunta hankkeessa syntyvistä päästöistä maksaa. Hiilipäästöjä keventävät merkittävästi olemassa olevien massojen hyödyntäminen ja rakennusaikaisien kuljetusmäärien vähäisyys. Tärkeimmät ilmastovaikutukset aiheutuvat materiaaleista (90 %), kuljetuksista (7 %), asfalttipintojen uusimisesta (1,5 %) ja polttoaineen kulutuksesta (1,5 %). Materiaaleissa asfalttipinnoitteella on suurin osuus kokonaismäärästä (68%).

Asfalttipäällysteen kulutuskerroksen asfaltti on suositeltavaa tehdä mahdollisimman suurelta osin kierrätetystä asfaltista. Useiden tutkimuksien mukaan kierrätysasfaltilla voidaan saavuttaa noin 22 % säästöt hiilidioksidipäästöissä. Oikein suunniteltuna ja hyvin tehtynä kierrätysasfaltti toimii kulutuskerroksessa hyvin.

Kierrätysraaka-aineiden käyttöä voidaan tehostaa hankkeessa asettamalla vaatimus enimmäispäästöistä tai ympäristötiedoista kelpoisuuskriteerinä.

Laskentaprosessia vaikeutti jonkin verran osittain puutteellinen tieto vaahtobitumistabiloinnin koostumuksesta ja suhteutuksesta. Laskentatietoja tarkennettiin prosessin aikana. Laskennan lopputulos on edukseen toteutuneen hankkeen kannalta.

Täytyy huomioida, että stabilointi ei ole aina paras vaihtoehto toteuttaa kadun saneerausta. Maaperän olosuhteet määrittävät mahdollisuudet ja joskus ainoa vaihtoehto on vaihtaa kadun rakennekerrokset uusiin. Stabilointi parantaa kadun kantavuutta, mutta ei poista routivuusongelmaa. Kalustoa stabiloinnin toteuttamiseen on osittain vaikeasti saatavilla, joten tämä tulee myös ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa. Martikaisentien saneerauksessa stabilointi valittiin osittain koemielessä. Haluttiin nähdä, miten rakenne käyttäytyy vuosien saatossa kyseisissä olosuhteissa. Stabilointirakenteen mahdollisti myös se, että kadun alla ei kulkenut putkistoa.

Tuloksia resurssiviisaista suunnitteluratkaisuista ja päästöjen vähentämisestä voidaan nähdä jo toteutuneista hankkeista. Esimerkkinä Ramboll Oy:n suunnittelema Myllypuron Alakivenpuisto, jonka kustannuksissa säästettiin 3,8 miljoonaa euroa ja 1000 CO<sub>2</sub>-tonnia hyödyntämällä rakentamisessa muodostuneita kaivuumaita. Luonnonmukaisten massojen käyttö vähensi myös ylläpitokustannuksia. Toisena esimerkkinä Ramboll Oy:n suunnittelema Kivikontien eritasoliittymä, jonka kustannuksissa säästettiin 25% ja päästöissä laskentatavasta riippuen 20-55%. Hyödyt saavutettiin vähentämällä kuljetuksia, korvaamalla kivimurske betonimurskeella sekä optimoimalla stabiloinnin määrää. (Kiertotalousajattelulla merkittävät kustannus- ja päästövähennykset infrarakentamisessa n.d.).

Infrarakentamisessa valtaosa päästöistä ja kustannuksista ratkaistaan suunnitteluvaiheessa. Opinnäytetyön pohjalta yritykselle suositellaan seuraavia toimenpiteitä:

1. Hyödyntää standardisoituja ympäristövaikutus- ja elinkaarimittareita hankkeiden suunnittelussa ja urakkatarjouksissa.
2. Hyödyntää määräluetteloista ja tietomalleista saatavaa automaatiota ympäristövaikutusten arvioinnissa.
3. Seurata tai osallistua infrahankkeiden elinkaarivaikutusten standardisointityöhön. Vain osallistumalla siihen on mahdollista vaikuttaa ja varmistaa, että standardi vastaa toimialan näkemyksiä ja tarpeita.

## Lähteet

Deighton, R. & Fallon, M. 2013. Infrastructure Carbon Review. Viitattu 10.2.2019. [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/260710/infrastructure\\_carbon\\_review\\_251113.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/260710/infrastructure_carbon_review_251113.pdf)

Elinkaariarviointi, jalanjäljet ja panos-tuotosmalli. Suomen ympäristökeskus. 2013. Viitattu 11.4.2019. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Tuotesuunnittelu\\_ja\\_tuotteet/Elinkaariarviointi\\_jalanjaljet\\_ja\\_panostuotosmalli](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Tuotesuunnittelu_ja_tuotteet/Elinkaariarviointi_jalanjaljet_ja_panostuotosmalli)

Embodied Carbon & EPDs. Greenspec. 2019. Viitattu 11.4.2019. <http://www.greenspec.co.uk/building-design/embodied-energy/>

EN 15643-1:2010. Sustainability of construction works - Sustainability assessment of buildings - Part 1: General framework. 2010. Viitattu 11.4.2019. [https://infostore.saiglobal.com/preview/98703350164.pdf?sku=874849\\_SAIG\\_NSAI\\_NSAI\\_2079814](https://infostore.saiglobal.com/preview/98703350164.pdf?sku=874849_SAIG_NSAI_NSAI_2079814)

EN 15643-2:2011. Sustainability of construction works - Assessment of buildings - Part 2: Framework for the assessment of environmental performance. 2011. Viitattu 11.4.2019. [https://infostore.saiglobal.com/preview/98698349683.pdf?sku=875206\\_SAIG\\_NSAI\\_NSAI\\_2080567](https://infostore.saiglobal.com/preview/98698349683.pdf?sku=875206_SAIG_NSAI_NSAI_2080567)

EN 15643-3:2012. Sustainability of construction works - Assessment of buildings - Part 3: Framework for the assessment of social performance. 2012. Viitattu 11.4.2019. [https://ec.europa.eu/eip/ageing/standards/home/other-home/en-15643-32012\\_en](https://ec.europa.eu/eip/ageing/standards/home/other-home/en-15643-32012_en)

EN 15643-4:2012. Sustainability of construction works - Assessment of buildings - Part 4: Framework for the assessment of economic performance. 2012. Viitattu 11.4.2019. <https://infostore.saiglobal.com/preview/is/en/2012/i.s.en15643-4-2012.pdf?sku=1516043>

EN 15643-5:2017. Sustainability of construction works – Sustainability assessment of buildings and civil engineering works - Part 5: Framework on specific principles and requirements for civil engineering works. 2017. Viitattu 11.4.2019. [http://store.uni.com/catalogo/index.php/en-15643-5-2017.html?josso\\_back\\_to=http://store.uni.com/josso-security-check.php&josso\\_cmd=login\\_optional&josso\\_partnerapp\\_host=store.uni.com](http://store.uni.com/catalogo/index.php/en-15643-5-2017.html?josso_back_to=http://store.uni.com/josso-security-check.php&josso_cmd=login_optional&josso_partnerapp_host=store.uni.com)

EN 15804 Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products. 2012. Viitattu 11.4.2019. <https://standards.globalspec.com/std/1666865/EN%2015804>

EN 15942:2011. Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Communication format business-tobusiness. 2011. Viitattu 11.4.2019. <https://infostore.saiglobal.com/preview/is/en/2011/i.s.en15942-2011-lc-2011-10.pdf?sku=1497958>

EN 15978:2011. Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method. 2011. Viitattu 11.4.2019.

<https://infostore.saiglobal.com/preview/is/en/2011/i.s.en15978-2011-lc-2011-11.pdf?sku=1500481>

FCG Suunnittelu ja tekniikka. N.d. Viitattu 10.2.2019. [http://www.fcg.fi/fin/palvelut/suunnittelu\\_ja\\_tekniikka/](http://www.fcg.fi/fin/palvelut/suunnittelu_ja_tekniikka/)

I. Muralikrishna & V. Manickam. 2017. Environmental Management. Science and Engineering for Industry. Elsevier inc.

Infrarakentaminen 2020. 2012. SKOL. Viitattu 10.2.2019. [https://skol.teknologiateollisuus.fi/sites/skol/files/Infrarakentaminen\\_2020\\_suunnitelma.pdf](https://skol.teknologiateollisuus.fi/sites/skol/files/Infrarakentaminen_2020_suunnitelma.pdf)

InfraRYL2010. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 1, väylät ja alueet. InfraRYL 2010, 03-10001, Infra 032-710001. 2013. Rakennustieto. Viitattu 10.2.2019.

ISO 15686-1:2011. Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 1: General principles and framework. 2011. Viitattu 11.4.2019.

<https://www.iso.org/standard/45798.html>

ISO 15686-2:2012. Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 2: Service life prediction procedures. 2012. Viitattu 11.4.2019.

<https://www.iso.org/standard/51826.html>

ISO 15686-7:2017. Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice. 2017. Viitattu 11.4.2019. <https://www.iso.org/standard/61149.html>

ISO 15686-8:2008. Buildings and constructed assets -- Service-life planning -- Part 8: Reference service life and service-life estimation. 2008. Viitattu 11.4.2019.

<https://www.iso.org/standard/39070.html>

ISO 21930:2017. Sustainability in buildings and civil engineering works - Core rules for environmental product declarations of construction products and services. 2017. Viitattu 11.4.2019. <https://www.iso.org/standard/61694.html>

ISO 52000-1:2017. Energy performance of buildings - Overarching EPB assessment - Part 1: General framework and procedures. 2017. Viitattu 11.4.2019.

<https://www.iso.org/standard/65601.html>

Kestävän rakentamisen standardit luovat yhdenmukaiset pelisäännöt. N.d. Rakennusteollisuus. Viitattu 10.2.2019. <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Rakentaminen-ja-vaaralliset-aineet/CENCT-350-Kestava-rakentaminen/>

Kiertotalousajattelulla merkittävät kustannus- ja päästövähennykset infrarakentamisessa. N.d. Ramboll. Viitattu 10.2.2019. <https://fi.ramboll.com/media/artikkelit/kier-talousajattelulla-kustannus-ja-paastovahennyksia-infrarakentamisessa>

Liesegang, E. 2018. MASA- asetus. Maa- ainesjätteen hyödyntäminen maarakentamisessa. Varsinais-Suomen ELY-keskus. Viitattu 10.2.2019. [https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/35590375/3\\_MASA-asetus\\_Liesegang.pdf/a5d6e878-19e0-4443-8244-7a7c8dfff8cb](https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/35590375/3_MASA-asetus_Liesegang.pdf/a5d6e878-19e0-4443-8244-7a7c8dfff8cb)

OneClick LCA database. 2018. Viitattu 10.2.2019. <http://www.oneclicklca.com/databases/>.

Pasanen, P., Sipari, A. & Bruce-Hyrkäs, T. 2018. Infrahankkeiden rakentamisen ja materiaalien CO<sub>2</sub> -päästöjen raportointi- ja ohjauskeinojen kartoitus. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä, 64. Viitattu 10.2.2019. [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts\\_2018-64\\_infrahankkeiden\\_rakentamisen\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2018-64_infrahankkeiden_rakentamisen_web.pdf)

Pasanen, P. & Miilumäki, N. 2017. Infrahankkeiden EN-standardeja noudattava hiilijalanjälki- ja elinkaariarviointi. Hankkeiden hiilijalanjäljen ohjaus- ja optimointimahdollisuudet suunnittelu- ja rakennuttamistoinnassa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä, 20. Viitattu 10.2.2019. [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts\\_2017-20\\_infrahankkeiden\\_en-standardeja\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2017-20_infrahankkeiden_en-standardeja_web.pdf)

Silvennoinen, J. 2019. Jyväskylän aluepäällikkö. Finnish Consulting Group Oy. Haastattelu 8.4.2019.

Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut. 2017. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2017. Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu 10.2.2019. [http://www.stat.fi/til/khki/2017/khki\\_2017\\_2018-05-24\\_kat\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/khki/2017/khki_2017_2018-05-24_kat_001_fi.html)

UUMA3-ohjelma. 2018. Motiva. Viitattu 10.2.2019. <http://www.uusiomaarakentamisen.fi/uuma3-ohjelma>

Wikipedia. Vapaa tietosanakirja. N.d. Viitattu 11.4.2019. <https://fi.wikipedia.org>