



# Siltojen elinkaaripäästöjen vertailu siltatyypeittäin

Tarkastelujaksona 100 vuoden käyttöikä

Katariina Martikkala

OPINNÄYTETYÖ  
Helmikuu 2022

Master's Degree Programme in Risk Management and Circular Economy

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Master's Degree Programme in Risk Management and Circular Economy

MARTIKKALA, KATARIINA:

Siltojen elinkaaripäästöjen vertailu siltatyypeittäin  
Tarkastelujaksona 100 vuoden käyttöikä

Opinnäytetyö 92 sivua, joista liitteitä 5 sivua  
Helmikuu 2022

---

Ilmastonmuutos muuttaa maapallon olosuhteita tulevaisuudessa, ja ilmastonmuutoksen hillitsemisellä on jo kova kiire. Euroopan Unioni on asettanut tavoitteekseen olla hiilineutraali vuonna 2050 ja Suomi jo tätä ennen, vuonna 2035. Tavoitteiden vuoksi jokaisella valtion toimintasektorilla on tarve vähentää ilmastopäästöjään merkittävästi. Opinnäytetyö tehtiin tukemaan Väyläviraston tavoitetta saavuttaa hiilineutraalius vuonna 2035. Tutkimuksen tavoite oli tuottaa tietoa siitä, millaisia hiilidioksidiekvivalenttipäästöjä tietyn kokoisen sillan rakentamisesta aiheutuu sillan koko elinkaaren aikana. Tutkimuksessa pyrittiin myös vertailemaan keskenään siltojen rakentamispäästöjä ja suhteuttamaan ne koko elinkaaren aikana aiheutuviin päästöihin. Tutkimus toteutettiin kvantitatiivisena tutkimuksena elinkaarianalyysia hyödyntäen. Tutkimusta varten selvitettiin ensin sillanrakennusmateriaalien valmistuksen, kuljetuksen ja työstämisen aiheuttamat päästöt ja tämän jälkeen laskettiin siltojen määräluetteloiden perusteella siltojen ilmastopäästöt. Elinkaaripäästöihin arvioitiin kullekin siltatyypille tyypilliset korjaustoimenpiteet ja laskettiin näille päästöt.

Vertailtavat siltatyypit olivat liimapuinen palkkisilta, liimapuinen laattasilta, liittorakenteinen teräksinen palkkisilta ja teräsbetoninen laattasilta. Siltojen ilmastopäästöt olivat suurimmat, kun käytettiin päästöintensiivisiä rakennusmateriaaleja terästä ja betonia. Rakentamisvaiheessa suuripäästöisimmän betonisen laattasilan ilmastopäästöt olivat yli kolminkertaiset verrattuna vähäpäästöisimpään liimapuiseen palkkisiltaan. Toiseksi eniten päästöjä syntyi liittorakenteisen teräspalkkisillan ja kolmanneksi eniten liimapuisen laattasilan rakentamisesta. Kun tarkasteltiin sillan koko elinkaarta, ero suuripäästöisimmän ja vähäpäästöisimmän sillan välillä kapeni noin kaksinkertaiseksi, mutta siltojen keskinäinen järjestys pysyi kuitenkin samana.

Kun halutaan saada tarkka käsitys sillan todellisista ilmastopäästöistä kokonaisuudessaan, olisi elinkaaritarkastelu syytä ottaa mukaan laskentaan. Elinkaarianalyysin luotettavuutta heikentävät tulevaisuudessa tapahtuvat päästövähennystoimenpiteet joka sektorilla, sillä myös sillanrakennusmateriaalien päästöt tulevat tulevaisuudessa vähenemään erilaisten kehityshankkeiden myötä.

---

Asiasanat: sillanrakennus, hiilidioksidipäästöt, elinkaarianalyysi

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Master's Degree Programme in Risk Management and Circular Economy

MARTIKKALA, KATARIINA:  
Life Cycle Emissions of Different Bridge Types  
Observation period of 100 years

Master's thesis 92 pages, appendices 5 pages  
February 2022

---

Climate change will affect the conditions all over the globe in the future and mitigating climate change is urgent. The European Union aims to be carbon neutral by year 2050 and Finland is even more ambitious with its target set in year 2035. Because of this ambition, every national sector must reduce their CO<sub>2</sub> emissions quickly. This thesis was conducted to help the Finnish road agency (Väylävirasto) reach their goal in carbon neutrality. The aim for this research was to provide information on CO<sub>2</sub> equivalence emissions of different bridge types during their whole life cycle. The research also aims to clarify which portion of the emissions are caused by building phase of the bridge and how considering the whole life cycle alters the results. The research was carried out as a quantitative study, using Life Cycle Analysis methodology. It was conducted as follows: First emission factors for typical building materials of a bridge were studied and then they were multiplied with list of quantities from certain bridge projects. For life cycle emissions, typical renovation procedures for each bridge were chosen and their emissions were then added to the calculation.

The researched bridge types were glued laminated timber (later GLT) girder bridge, GLT slab bridge, steel girder bridge with concrete deck and a cast-in-situ reinforced concrete slab bridge. The emissions were higher for bridges that were made of emission heavy materials: steel and concrete. In the building phase, a concrete slab bridge was found out to produce more than three times the amount of emissions than a GLT girder bridge, which had the lowest emissions. The steel girder bridge was found out to produce second largest emissions and the GLT slab bridge was number three in the standings. When taking the whole life cycle into account, the difference between concrete slab bridge and GLT girder bridge narrowed down to be about twofold rather than threefold as calculated in the building phase. The standings however remained the same between different bridge types.

When the target is to achieve an accurate estimation for emissions of a bridge project, taking life cycle emissions into account is justified. However, there are uncertainties when trying to predict what the emissions for different products or materials will be in the future. It is highly likely that, thanks to product development and research, typical bridge building materials will be less carbon intensive in future.

---

Key words: bridge, life cycle analysis, CO<sub>2</sub> emissions

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	9
1.1	Työn tausta ja tavoitteet .....	9
1.2	Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen toteutus .....	10
1.3	Työn rajaus .....	12
1.3.1	Sillanrakennusmateriaalit .....	12
1.3.2	Rakenneosat .....	14
1.4	Aiemmin tehdyt tutkimukset aiheesta .....	15
2	ELINKAARIARVIOINTI .....	22
2.1	Standardit .....	22
2.1.1	Elinkaarimoduulit rakennusalalla .....	24
2.2	Ohjeet .....	26
3	SILTOJEN ELINKAARI PÄÄSTÖJEN NÄKÖKULMASTA .....	28
3.1	Rakennussuunnittelu- ja rakentamisvaihe (A0-A5) .....	28
3.2	Käyttö ja ylläpito (B1-B7) .....	29
3.3	Purkuvaihe (C1-C4) .....	30
3.4	Maantieteellinen sijainti ja sen vaikutus sillan elinkaareen .....	31
3.5	Elinkaaririskit .....	32
4	TUTKITTAVAT SILTATYYPIT .....	34
4.1	Tarkasteltavat sillat .....	34
4.2	Laskettu käyttöikä .....	40
4.3	Systeemin rajat .....	41
4.4	Arvioitavat ympäristövaikutukset .....	45
4.5	Käytetyt ohjelmistot ja päästökertoimet .....	45
5	SILTATYYPPIEN ELINKAARIPÄÄSTÖT .....	47
5.1	Liimapuusilta .....	47
5.1.1	Rakenneosat ja niiden käyttöiät .....	48
5.1.2	Toimenpiteet keskimääräisen elinkaaren aikana .....	49
5.1.3	Elinkaaren aikaiset laskennalliset päästöt, palkkisilta .....	50
5.1.4	Elinkaaren aikaiset laskennalliset päästöt, laattasilta .....	53
5.2	Liittorakenteinen teräspalkkisilta .....	57
5.2.1	Rakenneosat ja niiden käyttöiät .....	58
5.2.2	Toimenpiteet keskimääräisen elinkaaren aikana .....	58
5.2.3	Elinkaaren aikaiset laskennalliset päästöt .....	59
5.3	Paikallavalettu teräsbetoninen laattasilta .....	63
5.3.1	Rakenneosat ja niiden käyttöiät .....	64
5.3.2	Toimenpiteet keskimääräisen elinkaaren aikana .....	64

5.3.3 Elinkaaren aikaiset laskennalliset päästöt .....	65
5.4 Yhteenveto ja siltatyyppien keskinäinen vertailu .....	68
6 ELINKAARIPÄÄSTÖJEN SUHDE INVESTOINTIPÄÄSTÖIHIN .....	75
6.1 Epätarkkuudet .....	75
6.2 Päästökerrointen suuruusluokkatarkastelu.....	77
7 TULOSTEN ANALYSOINTI .....	79
8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA LISÄTUTKIMUSTARPEET .....	81
LÄHTEET .....	84
LIITTEET .....	88
Liite 1. Betonisillan päästölaskennan tulokset.....	88
Liite 2. Teräspalkkisillan, liittorakenne, päästölaskennan tulokset .....	89
Liite 3. Liimapuisen laattasillan päästölaskennan tulokset .....	90
Liite 4. Liimapuisen palkkisillan päästölaskennan tulokset.....	91
Liite 5. Rakennusmateriaalien päästökertoimet .....	92

**TERMIT JA LYHENTEET**

CO <sub>2</sub> e / CO <sub>2</sub> -ekv	Hiilidioksidiekvivalentti, johon huomioidaan myös muut ilmakehän lämpenemiseen vaikuttavat päästöt kuin hiilidioksidi. Muut päästöt muunnetaan päästökertoimilla vastaamaan sitä määrää hiilidioksidia, joka aiheuttaisi vastaavan vaikutuksen ilmaston lämpenemiseen. Muita ilmastopäästöjä ovat esimerkiksi metaani (CH <sub>4</sub> ) ja di-typpioksidi (N <sub>2</sub> O). Joissakin lähteissä myös CO <sub>2</sub> eq.
Elinkaariarviointi	Standardoitu menetelmä tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten analysointiin ja arviointiin. Täydellinen elinkaari käsittää materiaalien hankinnan luonnosta, niiden prosessoinnin ja kuljetuksen sekä tuotteen valmistuksen, jakelun, käytön, uudelleenkäytön, huollon, kierrätyksen ja loppusijoituksen.
EPD	Kts. Ympäristötietoseloste.
GWP	Ilmastonlämmityspotentiaali (Global warming potential). Esimerkiksi päästötietokannoissa käytettävä suure, jonka yksikkö voi olla esimerkiksi kgCO <sub>2</sub> e/kg tai kgCO <sub>2</sub> e/km. Kuvaa kuinka monta kiloa hiilidioksidia vapautuu käytettäessä, työstettäessä tai kuljetettaessa jotakin materiaalia.
Hiilijalanjälki	Kuvaa ihmisten toiminnan aiheuttamia ilmastopäästöjä määritettynä ajanjaksona. Hiilijalanjälki voidaan määrittää esimerkiksi yritykselle, organisaatiolle, toiminnalle tai tuotteelle. Korostaa negatiivisia ilmastovaikutuksia.
Hiilikädenjälki	Kuvaa ihmisten toiminnan aiheuttamia ilmastohyötyjä tai päästövähennyspotentiaalia sen käyttäjälle. Korostaa myönteisiä ilmastovaikutuksia.
Hiilineutraali	Hiilidioksidipäästöjä tuotetaan korkeintaan sen verran kuin niitä voidaan sitoa ilmakehästä hiilinieluihin. Nollapäästöjen saavuttamiseksi kaikki maailman kasvihuonekaasupäästöt on siis kyettävä ottamaan talteen.

Hiilinielu	Hiilinielu sitoo enemmän hiilidioksidia kuin päästää ilmakehään. Tärkeimmät luonnon omat hiilinielut ovat maaperä, metsät ja valtameret.
Hiilivarasto	Hiilen muoto, jossa se on sitoutuneena esimerkiksi puussa tai muussa biomassassa, eikä siis ole vapaana ilmakehässä. Esimerkiksi rakennuspuutavara, kun se on paikallaan rakenteessa.
Hyötyleveys	Sillan kaiteiden välinen pienin etäisyys sillan poikkisuunnassa. Myös hyödyllinen leveys, HL.
Infrarakenne	Rakennelma, joka on osa rakennettua infrastruktuuria, tässä työssä esimerkiksi silta.
Jännemitta	Sillan keskilinjaa pitkin mitattu kahden perättäisen tukirakenteen välinen etäisyys. Mitta luetaan tuen tai laakerin keskeltä seuraavan tuen tai laakerin keskelle.
Kestävä kehitys	Paikallisesti ja globaalisti jatkuvaa muutosta, jonka tavoitteena on turvata nykyisille ja tuleville sukupolville hyvän elämän mahdollisuudet. Käsite muodostuu ekologisesta, sosiaalisesta ja taloudellisesta kestävävyydestä.
Kiertotalous	Talous, jossa tuotteet ja materiaalit pysyvät talouden kiertokulussa arvonsa säilyttäen mahdollisimman pitkään. Käyttöään jälkeen ne voidaan palauttaa joko teknologisiin tai biologisiin kiertokulkuihin.
LCA	Life Cycle Analysis. Kts. Elinkaariarviointi.
Panospohjainen	Panospohjainen laskenta perustuu laskentaan panosten avulla. Panos voi olla esimerkiksi kustannuksia tai hiilidioksidiekvivalenttia laskentayksikköä kohden.
Päästöintensiivinen	Materiaali tai tuote, jonka valmistamisesta ja/tai käytöstä aiheutuu merkittävästi ilmastopäästöjä yksikköä kohti.
Päästölaskenta	Ihmisen toiminnasta aiheutuvien ilmastopäästöjen arviointi, joka toteutetaan määrälaskennan ja päästötietojen avulla. Kuin kustannusarvio, mutta eurojen sijaan lasketaan ilmastopäästöjä.

Päästösuunnittelu	Suunnittelu, jossa pyritään saavuttamaan kokonaisedullinen ratkaisu mahdollisimman alhaisin ilmastopäästöin.
Päästötietokanta	Sisältää dataa esimerkiksi erilaisten rakennustuotteiden tai työkoneiden päästöistä yksikköä kohti. Esimerkiksi ecoinvent tai co2data.fi.
Vesistösilta	Tiesilta, joka ylittää vesistön.
Ympäristötietoseloste	Environmental Product Declaration eli EPD on elinkaarianalyysiin perustuva ja standardoitu tapa esittää luotettavasti olennaiset, varmennetut ja vertailukelpoiset tiedot valmistetun tuotteen tai tuoteryhmän ympäristövaikutuksista.



## 1 JOHDANTO

### 1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Siltojen hiilidioksidipäästöjen laskeminen infra- tai sillanrakennushankkeessa ei ole ollut Suomessa pakollista. Laskentoja on tehty pilottiprojekteissa muiden tarkastelujen tueksi, mutta normaaliprosessiin laskenta ei kuulu vuoden 2022 alussa. Uuteen kaavoitus- ja rakentamislakiin on tulossa velvoite arvioida rakennuksen vähähiilisyttä. Rakennuksen hiilijalanjälki todennetaan jatkossa osana normaalia rakennuslupaprosessia. Ympäristöministeriö on laatinut arviointimenetelmän ja suosituksen vähähiilisen rakennuksen hankintakriteereistä. (Kysymyksiä ja vastauksia vähähiilisestä rakentamisesta n.d.)

Siltojen rakennusmateriaalit ovat yleisesti pääosin vastaavia kuin muun rakennetun ympäristön rakentamisessa käytetyt materiaalit pienin vaatimuspoikkeuksin. Esimerkiksi infrabetoneilta vaaditaan erilaisia ominaisuuksia kuin talonrakentamisessa käytettäviltä betoneilta, puutuotteiden kyllästysaineissa saattaa olla eroja ja rakennuksissa käytettäviä eristevillatuotteita ei sillanrakennuksessa yleisesti käytetä. Lain käytännön soveltamisesta infra-alalle ei ole vielä tehty lopullisia päätöksiä.

Elokuussa 2021 julkaistu kansainvälisen ilmastopaneelin IPCC:n kuudennessa ilmastoraportissa alleviivataan, että ilmastonmuutos aiheutuu ihmisten aiheuttamista päästöistä, ja että toimilla ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi on jo kova kiire. Suuria päästövähennyksiä pitää tapahtua jo seuraavan vuosikymmenen aikana (IPCC 2021, 14). Rakennusteollisuuden arvioiden mukaan rakennetun ympäristön osuus Suomen päästöistä on noin 55 % liikenne mukaan huomioiden. Edellä mainituista päästöistä rakentamisen ja rakennusmateriaalien osuuden on arvioitu olevan noin 20 %, mutta suhteellinen osuus saattaa tulevaisuudessa kasvaa uusien rakennusten energiatehokkuuden parantuessa. (Rakennusteollisuus, n.d.)

Väyläviraston tavoite on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Jotta tavoitteeseen voidaan päästä, on viraston tiedettävä tarkasti mistä sen toiminnoista

aiheutuu hiilidioksidipäästöjä. Väyläviraston omistuksessa oli 15093 tiesiltaa ja 2477 rautatieverkon siltaa 31.12.2020. Siltojen päärakennusmateriaaleja ovat betoni, teräs ja puu, ja näistä materiaaleista kaksi ensimmäistä ovat päästöintensiivisiä. Puu on rakennusmateriaalina edellä mainittuja kevyempi, mutta jotta sitä voidaan käyttää sillanrakennusmateriaalina, se on painekyllästettävä, mikä lisää valmiin materiaalin päästöjä. Tutkimuksia erilaisen siltakansirakenteen vaikutuksesta sillan koko elinkaaren päästöihin on tehty vasta vähän, ja siltatyypin valinta tehdään nykyisen hankintaprosessin mukaan käyttötarkoitus-, ulkonäkö- tai kustannusperusteisesti.

Tässä tutkimuksessa perehdyttiin siihen, millainen vaikutus sillan kansimateriaalin valinnalla on sillan elinkaaripäästöihin, sekä miten luotettavasti sillan rakentamisvaiheessa syntyvät päästöt ennustavat sillan koko elinkaarenaikaisia päästöjä erityyppisillä silloilla. Työn tavoite oli selvittää kolmesta eri päärakennusmateriaalista rakennetun sillan päästöt sen 100 vuoden elinkaaren aikana, kun huomioidaan myös erityyppisten siltojen tyypilliset korjaustoimenpiteet. Lisäksi tavoitteena oli tutkia, miten suuri osa sillan päästöistä aiheutuu ennen sillan käyttöönottoa eli rakennusvaiheessa, ja kuinka hyvin käyttöönottoon mennessä syntyneet päästöt ennustavat sillan elinkaaripäästöjä erityyppisillä silloilla.

## **1.2 Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen toteutus**

Tämä tutkimus toteutettiin kvantitatiivisena tutkimuksena, jossa neljän eri siltavaihtoehdon elinkaaren aikana syntyvät ympäristövaikutukset arvioitiin laskennallisesti. Laskenta toteutettiin siltasuunnitelmien määräluetteloiden pohjalta. Eri työvaiheiden vaatimat materiaalmassojen määrät kerrottiin kyseessä olevan rakennusmateriaalin päästökertoimella. Mikäli materiaalille ei löytynyt tarkkaa päästötietoa, päästöarvo arvioitiin mahdollisimman samankaltaisen materiaalin päästötietojen perusteella päästötietokannoista haarukoimalla. Esimerkiksi laakerien, jotka on valmistettu kumista ja teräksestä, päästöt on arvioitu vertaamalla keskenään kumin ja teräksen hiilidioksidipäästöä kilogrammaa kohti ja arvioimalla päästökerroin materiaalien suhteessa. Lisäksi eri työvaiheille arvioitiin määrien perusteella kuljetuspäästöt sekä työvaihepäästöt, jotka aiheutuvat työ-

koneiden käytöstä, kuten esimerkiksi betonin pumppaamisesta. Saaduista tuloksista havainnoitiin eri siltatyypin elinkaaren aikana syntyneitä eroja päästöissä ja kirjattiin merkittävimmät havainnot.

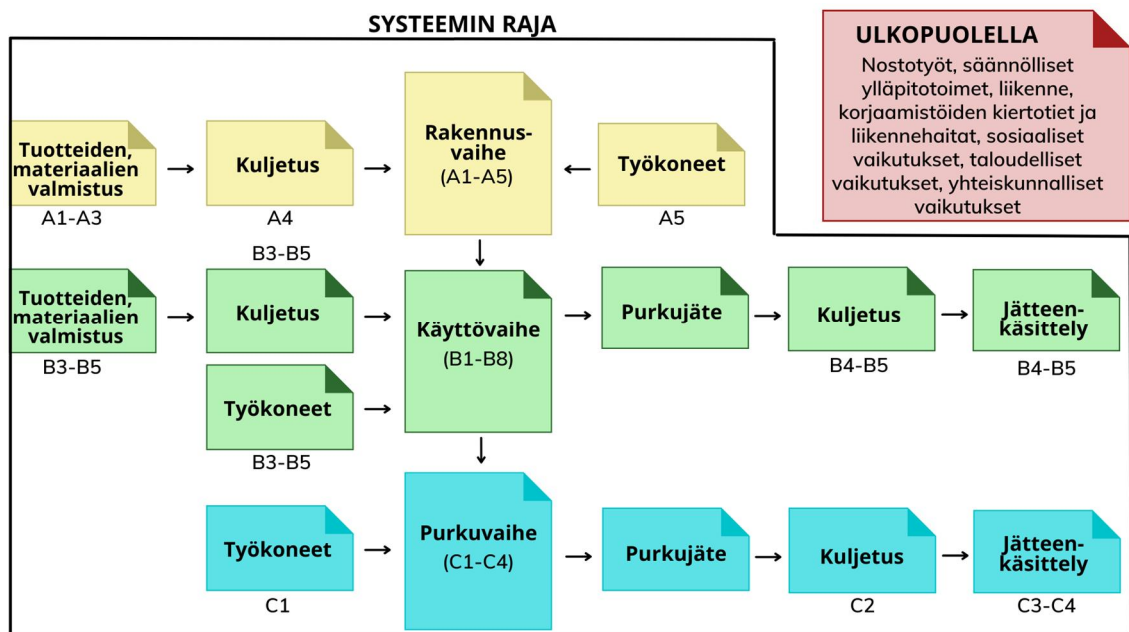
Lähdeaineistona kirjallisuusselvityksessä pyrittiin käyttämään ensisijaisesti vertaisarvioituja julkaisuja ja ammattikirjallisuutta. Aineiston hakusanoja ovat olleet muun muassa bridges, LCA, concrete, timber, steel, emissions ja life cycle. Edellämainittujen lisäksi vertaisarvioitua aineistoa on haettu myös muiden sillanrakennusmateriaaleihin liittyvien ilmiöiden tueksi. Käsiteltävien aiheiden vuoksi käytettiin myös muita lähteitä, kuten eurooppalaisia standardeja ja tarkentavia kansallisia ohjeita. Lisäksi lähteinä käytettiin alaan liittyvää peruskirjallisuutta.

Koska Väylävirasto ohjaa merkittävästi Suomen sillanrakentamisen vaatimuksia ja laatua, työssä lähteinä käytettiin myös Väyläviraston julkaisuja. Lisäksi tiedonhankintaa toteutettiin haastattelututkimuksin kysymällä käytänteistä ja alalla toteutuneista työtavoista alan ammattilaisilta. Haastatteluja ei ole litteroitu.

Materiaalikohtaiset sekä työkohtaiset päästötiedot kerättiin päästötietokannoista, aiemmin tehdyistä tutkimuksista ja pohjoismaisista kansallisista tietokannoista sekä EPD (Environmental Product Declaration) -selvityksistä. Tutkimuksessa on lisäksi hyödynnetty Suomen Ympäristökeskuksen Väylävirastolle vuonna 2021 laatiman selvityksen päästökertoimia, joita on tarkoitus käyttää tulevassa päästötietokannassa. Valinta on tehty Väyläviraston toiveesta, jotta työn tulokset ovat hyödynnettävissä myös vuoden 2022 julkaistavan infran päästölaskentamenetelmän ja tietokannan kehitystyössä. Päästökerroinvertailu sekä valitut päästökerroimet on esitetty liitteessä 5.

### 1.3 Työn rajaus

Työn rajaus on esitetty kuviossa 1, jossa ylimmällä rivillä on esitetty huomioon otetut rakentamisen toimenpiteet, joihin kuuluvat tuotteiden valmistus, niiden kuljetus työmaalle sekä työkoneiden käyttö rakennustoimenpiteissä. Keskimmäisellä rivillä on esitetty käyttövaiheeseen sisältyvät työvaiheet, joihin kuuluvat tuotteiden valmistus, niiden kuljetus sekä työkoneiden käyttö sekä vanhojen rakenteiden purku ja jätteen hävitys. Alimmalla rivillä on esitetty purkuvaiheen toimenpiteet, joihin kuuluu sillan mekaaninen purku, sekä purkujätteen kuljetus jätteenkäsittelyyn ja hävitettäväksi.

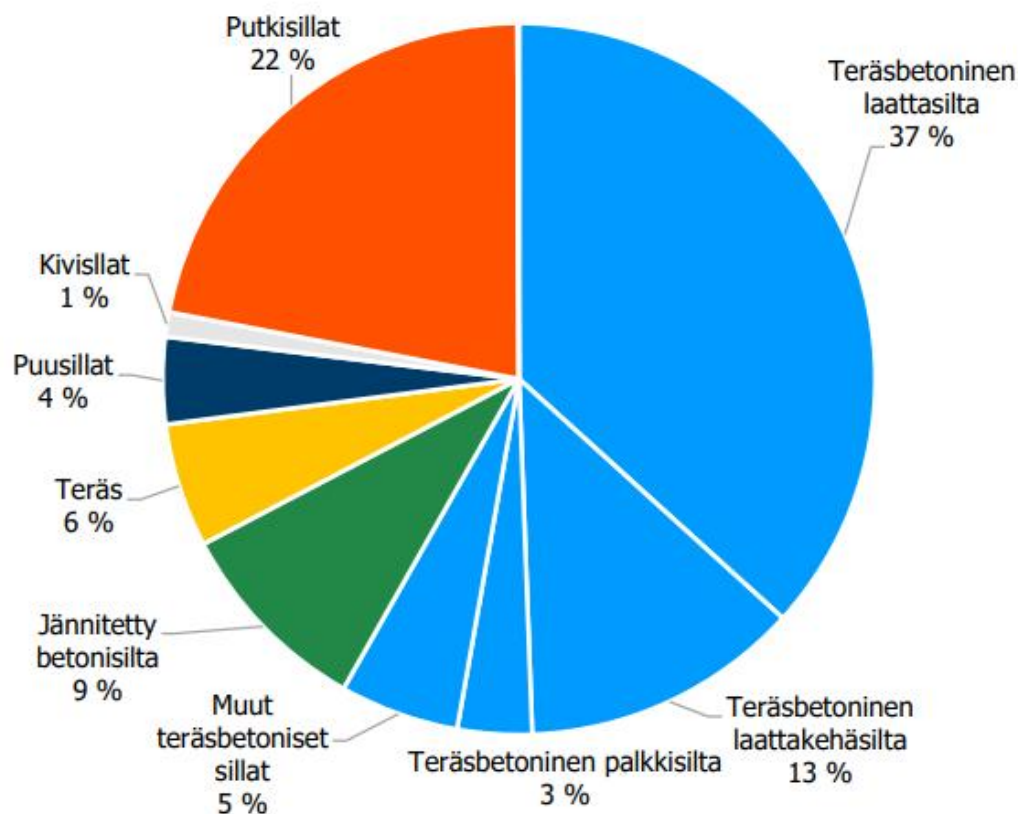


KUVIO 1. Tarkasteluun mukaan otetut elinkaaren vaiheet sekä ulkopuolelle jätetyt osat.

#### 1.3.1 Sillanrakennusmateriaalit

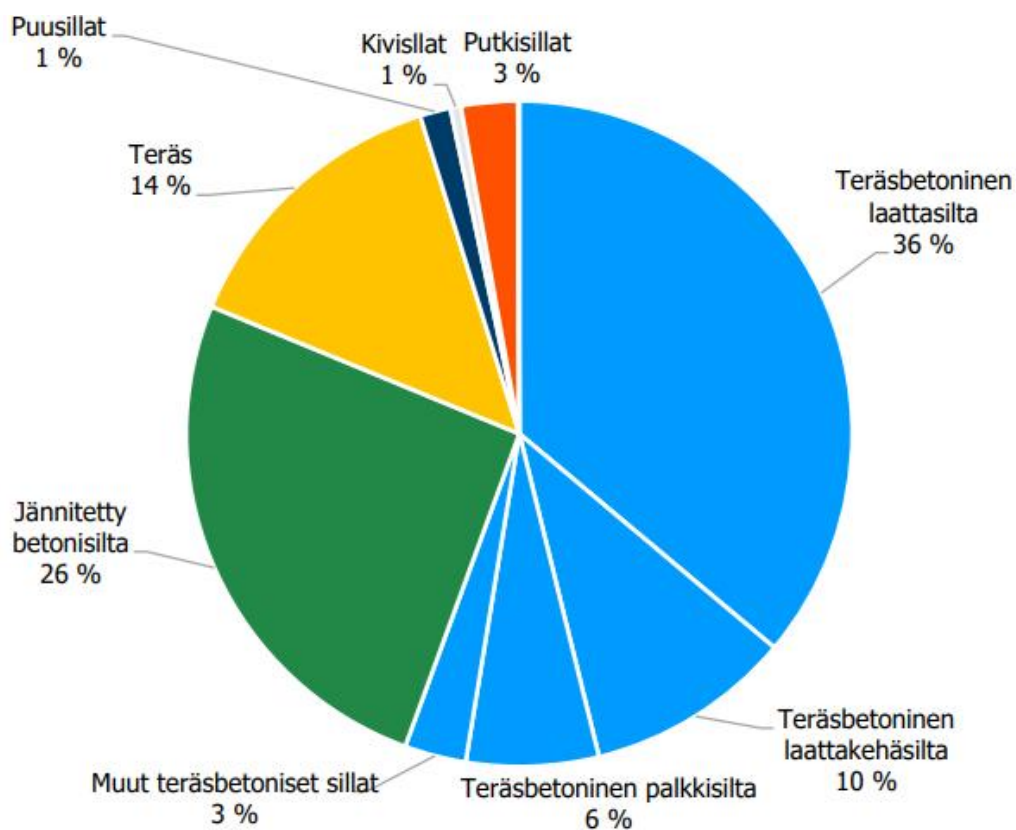
Tutkimuksessa vertailtiin keskenään yleisimpiä sillanrakennusmateriaaleja. Käytetyimmät päärakennusmateriaalit ovat teräsbetoni, josta kuvion 2 mukaan on rakennettu lukumäärältään 67 % Suomen silloista, kun myös jännitetyt betonisillat otetaan huomioon. Muita merkittäviä rakennusmateriaaleja ovat teräs, jonka

osuus on 6 % silloista ja puu, jonka osuus on 4 %. Putkisillat, joita on lukumäärällisesti 22 % silloista, ovat myös useimmiten terässilloja, mutta putkisilloja voi rakentaa myös muovi- ja komposiittimateriaaleista.



KUVIO 2. Siltojen lukumäärien jakauma siltatyypeittäin. (Väyläviraston sillat 31.12.2020, 31).

Kun käytetyimpiä rakennusmateriaaleja tarkastellaan siltojen kokonaispinta-alojen mukaan (kuvio 3), on teräsbetoni edelleen käytetyin, mutta terässiltojen osuus koko Suomen sillastosta kasvaa ja puusiltojen pienenee. Tästä voidaan päätellä, että terässillat ovat keskimäärin pituudeltaan ja pinta-alaltaan keskivertosiltaa suurempia ja puusillat ovat keskimäärin keskivertosiltaa pienempiä. Puusiltojen pientä kokoa selittää se, että puusilloja käytetään yleisesti puistorakentamisessa ja pienten vesistöjen ylityksissä vähäliikenteisillä teillä.



KUVIO 3. Siltojen kokonaispinta-alojen jakauma siltatyypeittäin. (Väyläviraston sillat. 2020, 31)

Vertailussa käytettiin tuotteita, joiden käyttö Suomen sillastossa on yleistä, jotta otos olisi mahdollisimman edustava. Putkisillat jätettiin tämän tarkastelun ulkopuolelle, sillä niiden rakenteellinen toiminta perustuu ympäröivän maan tukeen. (Pulkinen ym. 2018, 194) Se eroaa oleellisesti perinteisen, kannesta ja päätyistä koostuvan sillan rakentamisesta ja suunnittelusta.

### 1.3.2 Rakenneosat

Sillan rakenneosia on esitelty siltatyypeittäin luvun 4.1 kuvituksessa. Tässä tutkimuksessa käytetty luokittelu poikkeaa hieman yleisesti esimerkiksi Taitorakenne-rekisterissä käytettävästä jaottelusta työn yleisluontoisuuden ja jaottelun selvyyden vuoksi.

Tutkimuksessa keskityttiin sillan päällysrakenteen tarkasteluun. Päällysrakenteen rakenneosista mukana olivat sillan kansi, reunapalkit, kaiteet, liikunta-saumot, laakerit, pintarakenteet ja päällysteet. Rakenneosat oletettiin uusittavaksi, kun ne saavuttavat arvioidun käyttöikänsä, joten joitakin rakenneosia on laskennassa oletettu tarvittavan useampi kappale sillan kokonaiskäyttöiän aikana. Eri rakenneosien käyttöiät on esitelty siltatyypeittäin tarkemmin kappaleessa 5. Kuivatuslaitteita ei tarkasteltu, sillä niiden merkitys arvioitiin merkityksettömäksi.

Alusrakenteita tarkasteltiin suppeammin, sillä tutkimuksessa oletettiin perustamisolosuhteet yhtenäisiksi kaikilla silloilla. Todellisuudessa siltapaikan pohjaolosuhteet ja niiden vaihtelu voivat vaikuttaa merkittävästi perustusratkaisuun. Samanlaisille olosuhteille perustettaessa alusrakenteet ja perustamisratkaisut ovat kuitenkin pääosin samanlaiset kaikentyypisillä silloilla.

#### **1.4 Aiemmin tehdyt tutkimukset aiheesta**

ETSI (Elinkaareltaan Tarkoituksenmukainen Silta) -projektin kolmosvaiheessa vuosina 2009-2012 selvitettiin siltojen elinkaaren huomioimista suunnittelussa LCA-laskennan kautta. Projektissa mukana ollut Brattebø (2012) toteaa, että sillan elinkaariarvioinnilla on tarkoitus laskea koko sillan elinkaaren aikana käytetty energiankulutus ja hiilijalanjälki sekä muut päästöt. Hiilijalanjäljen laskemista varten tarvitaan tieto sillan eri rakenneosien mitoista, niiden määrät ja massat sekä varusteet. Lisäksi on määritettävä, kuinka usein eri rakenneosia korjataan tai huolletaan ja miten. Myös sillan käyttötarkoitus ja suunniteltu käyttöikä (purkuikä) on tunnettava. On myös huomattava, että valmista tietokantaa käytettäessä on mahdollista käyttää vain keskivertodataa eri päästökertoimille, jolloin tulosten tarkkuus kärsii. Suotavaa olisikin käyttää tarkkoja tuotekohtaisia päästötietoja, jotka saadaan esimerkiksi rakennustuotteiden ympäristötietoselosteesta (EPD). Siltaprojektin voidaan useimmiten olettaa käyttävän jo olemassa olevaa tehdasinfrastruktuuria materiaalityökaluille, joten LCA-analyysissä ei tarvitse ottaa huomioon tehtaiden perustamisista ja muista toiminnoista aiheutuvia seurauksia yhteiskunnalle. (Brattebø, H. 2012, 5)

Rantalan laatimassa Väyläviraston (aiemmin Liikennevirasto) verkkojulkaisussa (2010) vertailtiin keskenään kolmea erityyppistä betonikantista siltaa BridgeLCA-työkalun avulla. Siltojen kansion pituudet olivat noin 20 metriä ja hyötyleveys noin 7,5 metriä. Vertailussa olivat mukana teräsbetoninen ulokelaattasilta, teräsbetonikantinen liittopalkkisilta II ja jännitetty elementtisilta. Silloista tehtiin elinkaari-kustannuslaskelma (LCC) sekä elinkaari päästölaskenta (LCA). Elinkaareissa otettiin huomioon vain odotettavissa olevat korjaustoimenpiteet, joita olivat reu-napalkkien, vedeneristeen, sillan päällysteiden, kaiteiden sekä liikuntasauvojen ja laakerien uusiminen. Sillan ympäristövaikutusten laskenta suoritettiin kerto-malla materiaalimäärät päästökertoimilla ja tämän jälkeen vielä päästökohtaisilla painotuskertoimilla. Ympäristövaikutusten laskennassa ei huomioitu kuljetuksia. Näistä lasketuista arvoista tämän työn kannalta kiinnostavin on ilmastonlämmi-tyspotentiaali (GWP), jonka yksikkönä on kgCO<sub>2</sub>ekv. Tutkimuksessa ulokelaatta-sillalle ilmastovaikutukseksi saatiin 104 417 kgCO<sub>2</sub>ekv (732,8 kgCO<sub>2</sub>ekv /kan-sim<sup>2</sup>), liittopalkkisillalle 166 547 kgCO<sub>2</sub>ekv (804,6 kgCO<sub>2</sub>ekv /kansi-m<sup>2</sup>) ja jänni-tetylle elementtisillalle 159 629 kgCO<sub>2</sub>ekv (1064,2 kgCO<sub>2</sub>ekv /kansi-m<sup>2</sup>). Suurin ilmastovaikutus oli liittopalkkisillalla ja pienin paikallavaletulla ulokelaattasil-lalla. On kuitenkin huomattava, että tässä tutkimuksessa paikallavaletun ulokelaatta-sillan jännemitta oli pienempi, 14 metriä, kuin muilla siltatyypeillä, eikä se siitä syystä välttämättä sovi täysin samalle siltapaikalle kuin kaksi muuta vertailussa mukana ollutta siltaa. Tässä julkaisussa oli pyritty vakioimaan siltakannen pituus. (Rantala, T. 2010)

Brattebø (2012) esitteli myös edellä mainitussa ETSI-projektissa kehitetyllä Brid-geLCA -työkalulla vertailtua keskenään kolmea erityyppistä Norjassa sijaitsevaa siltaa. Sillat olivat tyypiltään teräskotelopalkkisilta, puinen kaarisilta sekä betoni-nen kotelopalkkisilta. Tutkimuksessa pyrittiin hankkimaan tietoa eri rakennusma-teriaaleista valmistettujen siltojen ympäristövaikutuksista. Kolmesta eri siltatyypistä ympäristön kannalta tehokkaimmaksi osoittautui teräsbetoninen silta, mutta on huomattava, että sillat eivät ole keskenään suoraan vertailukelpoisia, sillä nii-den ominaisuudet eroavat toisistaan. Vaikka jännemitta oli kaikilla noin 40 metriä (37,9 – 42,8 m), hyödylliset leveydet ja kaistojen lukumäärä vaihtelivat. Siltojen kansion pinta-aloissa oli myös huomattavaa vaihtelua, ja niiden vaihteluväli oli 229 m<sup>2</sup> – 417 m<sup>2</sup>. (Brattebø, H. 2012, 68 –70)



Vastaavanlainen tutkimus on julkaistu myös vuonna 2014. Du, G., Safi, M., Pettersson, L. ja Karoumi, R. tutkivat elinkaarilaskennan kautta erityyppisten siltojen ympäristövaikutuksia. Vertailussa oli mukana yhden sillan (Karlsnäsinsilta, Ruotsi) viisi erilaista suunnitelmavaihtoehtoa. Vertailussa oli mukana kaksi liittorakenteista siltaa ja kolme erilaista betonikantista siltaa. Kaikkien siltojen kannen pinta-ala oli vakioitu, ja se oli  $6\,118\text{ m}^2$ . Elinkaarianalyysissä eri siltatyypien välillä saatiin tuloksiksi hieman alhaisempia hiilidioksidiekvivalenttipäästöjä liittorakenteisilla silloilla kuin betonikantisilla silloilla. Tutkimuksessa huomioitiin materiaalien valmistuksen, rakennusvaiheen, käyttö- ja ylläpitovaiheen sekä elinkaaren lopun vaiheiden ympäristövaikutukset. Materiaalien valmistukseen huomioitiin jokaisen eri tuotteen valmistuksen vaatimat päästöt alkaen raakamateriaalin hankinnasta ja päättyen lopulliseksi käyttövalmiiksi rakennustuotteeksi. Rakentamisvaiheessa huomioitiin kaikkien eri työkoneiden sekä väliaikaisten rakenteiden, kuten telineiden, ympäristövaikutukset. Materiaalien kuljetuksen tai vedenkäytön ympäristövaikutuksia ei arvioitu. Käyttö- ja ylläpitovaiheen vaikutuksiin laskettiin silloille tyypilliset korjaustoimenpiteet. Siltatyypistä riippumattomiksi korjauksiksi tutkimuksessa laskettiin sillankannen puhdistus, laakerien vaihto, teräsprofiilien uudelleenmaalaus sekä kaiteiden ja reunapalkkien uusiminen. (Du ym. 2014)

Tämän tutkimuksen kannalta kiinnostava on erityyppisten siltojen laskettu kansineliöpäästö ja niiden suuruusluokka. Jotta eri tutkimusten tuloksista saadaan vertailukelpoisia keskenään, tutkimusten tuloksista laskettiin vertailua varten kansineliöpäästö edellä mainituista tutkimuksista (Du ym. 2014 ja Rantala 2010), joista se oli tutkimuksessa annettujen tietojen kautta mahdollista tehdä. Silloille saatiin seuraavanlaisia päästöarvoja:

- Liittorakenteinen teräspalkkisilta:
  - $995\text{ kgCO}_2/\text{m}^2$  (Du ym. 2014 siltavaihtoehto 1),
  - $979\text{ kgCO}_2/\text{m}^2$  (Du ym. 2014 siltavaihtoehto 2),
  - $805\text{ kgCO}_2/\text{m}^2$  (Rantala 2010)
- Jännitetty elementtisilta:
  - $1085\text{ kgCO}_2/\text{m}^2$  (Du ym. 2014 siltavaihtoehto 3),
  - $1033\text{ kgCO}_2/\text{m}^2$  (Du ym. 2014 siltavaihtoehto 4),
  - $1064\text{ kgCO}_2/\text{m}^2$  (Rantala 2010)
- Betonirakenteinen silta:
  - $1107\text{ kgCO}_2/\text{m}^2$  (Du ym. 2014 siltavaihtoehto 5),

- 733 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> (Rantala 2010)

Sillan purkuvaiheessa Du ym. (2014) ottivat huomioon sillan purkamiseen tarvittavan energian, puretun materiaalin lajittelun sekä jätteen loppukäsittelyn. Purkujäte voidaan joko uudelleen käyttää, kierrättää, polttaa tai sijoittaa kaatopaikalle. Materiaalien uudelleenkäytöstä säästetyt päästöt otettiin huomioon jo materiaalien valmistusvaiheessa, mikäli kierrätettyä materiaalia oli mahdollista käyttää. Elinkaaren lopun materiaalin uudelleenkäyttöä ei siis laskettu materiaalien eduksi, jotta hyötyä ei lasketa kahteen kertaan. Myös ETSI-projektissa (2012) kierrätysmateriaalia käytettäessä materiaalipäästöiksi laskettiin vain edellisen materiaalikierron jätemateriaalin keräys, kuljetus ja työstäminen. Tällaisissa tilanteissa esimerkiksi kierrätetystä teräksestä valmistetun harjateräksen päästö jää huomattavan pieneksi verrattuna neitseellisen teräksen päästöihin.

Elinkaarianalyysin epävarmuudet tulivat Du ym. (2014) tutkimuksessa vahvasti esiin. Esimerkiksi teräksen kierrätysaste tai sementin koostumus vaikuttavat lopulliseen laskentatulokseen merkittävästi. Tutkittu rakenneteräksen CO<sub>2</sub>-ekvivalenttipäästö vaihteli kierrätysasteesta riippuen jopa 664 kgCO<sub>2</sub>-ekv/t – 2253 kgCO<sub>2</sub>-ekv/t, eli jopa 71 %. Useinkaan varmaa tietoa kyseisessä kohteessa käytettävästä teräksestä ei ole käytettävissä etukäteen. Tutkimuksessa myös korjaustoimenpiteiden osalta huomattiin, että todellisuudessa valittuihin toimenpiteisiin vaikuttavat myös mm. korjauksiin varattu budjetti, tarkastuksissa saatu tieto sillan kunnosta ja materiaalien kestävyys kyseisessä rasituksessa. Myös purkuvaiheeseen liittyy useita epävarmuustekijöitä, sillä jätteidenkäsittelyteknologian kehitystä 100 vuoden päähän on erittäin vaikea ennustaa. Edellä mainittujen epävarmuustekijöiden lisäksi määritetyn järjestelmän rajat (the system boundaries), siltapaikka, epävarmuudet lähtötiedoissa, valitut mittarit ja eri ympäristövaikutusten painotukset vaikuttavat lopputulokseen, joten yleispäteviä johtopäätöksiä on mahdotonta tehdä ilman tarkkaa rajanvetoa. (Du ym. 2014)

Suomessa siltojen päästöjen suhdetta koko rakennushankkeen päästöihin ei vielä ole tutkittu kovin laajasti. Vuonna 2014 Väylävirasto julkaisi konsulttityönä teetetyn tutkimuksen panospohjaisen CO<sub>2</sub>-laskennan pilotoinnista. Hankkeessa tarkasteltiin eritasoliittymän rakentamisesta aiheutuvia päästöjä, joihin kuului

muun muassa katujen, ramppien, siltojen, kevyen liikenteen väylien ja melunsuojarakenteiden rakentamista. Tämän selvityksen mukaan väylähankkeen päästöistä 95 % muodostui betonin, teräksen ja asfaltin materiaalipäästöistä sekä kuorma-autokuljetuksista ja työkoneista. Siltojen osuus hankkeen kokonaispäästöistä oli 27 % ja kokonaiskustannuksista 23 % (Aulakoski, A., Montin, P., Lydman, P. & Häyrynen, K. 2014). Julkaisu on vertaisarvioimaton, joten sen tuloksiin on syytä suhtautua tämä tiedostaen.

Yksi tapa vähentää siltarakenteiden päästöjä on pyrkiä muuttamaan betonin reseptiä siten, että betonista tulee vähähiilisempää. Suomessa markkinoille on viimeisten vuosien aikana ilmestynyt useampia betonilaatuja, joissa päästöintensivistä sementtiä on korvattu vaihtoehtoisilla seosaineilla, esimerkiksi teollisuuden sivuvirtana saatavalla masuunikuonalla (Sementti ja kasvihuonekaasupäästöt 2022). Suomessa Betoniyhdistys on laatimassa betoneille vähähiilisyysluokitusta, joka näillä näkymin julkaistaan vuonna 2022.

Marinkovic, Carevic & Dragas (2021) vertailivat niin kutsutun vähähiilisen betonin (Green concrete) käyttöä LCA-arvioinnissa. Tutkimuksessa todettiin, että rakenteellisen betonin elinkaariarvioita ei voi tehdä itse materiaalille, vaan arviointi on tehtävä koko rakenneosalle. Käyttöikä ei ole materiaaliominaisuus, vaan osa teräsbetonirakenteen (myöh. betonirakenne) toimintaa, johon betonin ominaisuudet vaikuttavat. (Marinkovic ym 2021, 1)

Betonirakenteen käyttöikään vaikuttavia ominaisuuksia ovat muun muassa kloridien eli suolojen tunkeutuminen betoniin ja betonin karbonatisoituminen, jossa betoni reagoi ilman kanssa ja sitoo itseensä hiilidioksidia. Tässä reaktiossa betoni menettää samalla emäksisyyttään. Nämä molemmat ilmiöt johtavat edetessään lopulta betoniterästen korroosion eli ruostumisen alkamiseen betonin sisällä. Teräskorroosio johtaa jatkuessaan betonirakenteen kantavuuden heikkenemiseen ja lujuuden menetykseen. (Betonijulkisivun kuntotutkimus 2019, 17). Muita rakenteen käyttöikään vaikuttavia ilmiöitä ovat muun muassa pakkasrapautuminen ja alkali-kiviainesreaktio, jotka suoraan heikentävät betonin lujuutta. Pakkasrapautumisessa betonin huokosiin jäänyt vesi jäätyy ja jäätyessään murtaa betonia sisältäpäin (Betonijulkisivun kuntotutkimus 2019, 24). Alkali-kiviainesreaktiossa

puolestaan betonin murtumisen aiheuttaa silikageeli, jota syntyy reaktion sivutuotteena. Geeliä muodostuu betonin huokosiin, ja geelin paisuessa betoni murtuu (Rajabipoir, Giannini, Dunant, Ideker & Thomas, 2015). Murtuneessa betonissa myös karbonatisoituminen pääsee tapahtumaan nopeammin, joten raudoitetun betonirakenteen käyttöikä lyhenee. Käyttöikää heikentävät betonin ominaisuudet on tavanomaista betonia käytettäessä otettu huomioon raudoituksen betonipeitepaksuudella, jonka vähimmäispaksuus on määritetty rakennusalan mitoitusohjeissa, Eurokoodeissa, rakenneosittain.

Marinkovic, Carevic & Dragas (2021) mukaan kloridikorroosio ja betonin karbonatisoituminen tapahtuvat eri nopeudella, kun sementtiä korvataan lentotuhkalla niin sanotussa vähähiilisessä betonissa. Tällaisella reseptillä seostetun betonin karbonatisoituminen on nopeampaa, mutta kloridien tunkeutuminen hitaampaa. Tästä syystä lujuusominaisuuksiltaan, mitoiltaan ja samalla tavalla raudoitetun vähähiilisen betonirakenteen käyttöikä eroaa tavallisella betonilla rakennetusta. Toisaalta Marinkovic ym. (2021) toteavat, että vertailussa voidaan vakioida myös käyttöikä, jolloin vähähiilisen betonirakenteen mitoitus on tehtävä elinkaarianalyysissä (LCA) varten erikseen. Artikkelissa tutkittiin kahta eri lähestymistapaa eri betonilaatujen vertailulle. Vertailutavalla A vertailtiin ulkomitoiltaan ja tilavuudeltaan samankokoista toiminnallista yksikköä, jolloin eri betonilaaduilla käyttöikä oli eri. Tutkimuksessa oletettiin betonirakenteen olevan käyttökelvoton ja uusimisen tarpeessa, kun karbonatisoituminen on saavuttanut teräkset. Tästä syystä vihreästä betonista valmistettu rakenne jouduttiin seurantajakson aikana uusimaan useamman kerran. Vertailutavalla B laskettiin kummallekin eri rakenteelle mitat siten, että betonin karbonatisoituminen ei saavuta teräksiä tarkastelujakson aikana, eli vakioitiin rakenteen käyttöikä. Tutkimuksen lopputulos oli, että riippuen vertailutavasta voidaan saada kummalle tahansa betonille suotuisia laskentatuloksia. Vertailutavalla A vihreästä betonista rakennetun rakenteen päästöt olivat moninkertaiset perinteisistä betonilaaduista valmistettuihin rakenteisiin verrattuna, sillä rakenne jouduttiin lyhyemmän käyttöikänsä takia uusimaan useita kertoja vertailujakson aikana. Vertailutavalla B vihreästä betonista valmistetun rakenteen päästöt olivat kaikissa eri laskelmissa pienemmät kuin tavallisesta betonista rakennetun, vaikka materiaalia kului hieman enemmän. Tutkimuksen tarkoitus oli osoittaa, että erilaisia betonirakenteita vertailtaessa toiminnallisen yksikön määrittäminen on tärkeässä roolissa. (Marinkovic ym., 2021, 5 –12)

Edellä mainitun tutkimuksen skenaario A, jossa rakenne uusittiin aina kun karbonatisoituminen oli saavuttanut rakenteen teräkset, ei ole kuitenkaan sovellettavissa, sillä rakenteen uusiminen muutaman vuoden välein ei ole taloudellisesti järkevää. Rakenne pyritään aina ensisijaisesti korjaamaan, elleivät korjauskustannukset ole kohtuuttoman suuret suhteessa uusimisen kustannuksiin. On hyvä myös huomata, että lentotuhkaa muodostuu kivihiilenpolton sivutuotteena, ja Suomessa kivihiilen käyttö sähkön tai lämmön tuotannon polttoaineena loppuu näillä näkymin viimeistään vuonna 2029. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2019)

Betonin käyttöikään vaikuttavista ilmiöistä on hyvä huomata, että sementtiä korvaavista sideaineista lentotuhka ja jauhettu granuloitu masuunikuona suojaavat betonia tehokkaasti alkali-kiviainesreaktiota vastaan (Päivittyvä ohje betonin alkali-kiviainesreaktion hallitsemiseksi 2021, 36). Samoja korvaavia sideaineita käytetään myös betonin hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi (Shi C., Qu B., Provis J. L. 2019, 227-228).

## 2 ELINKAARIARVIOINTI

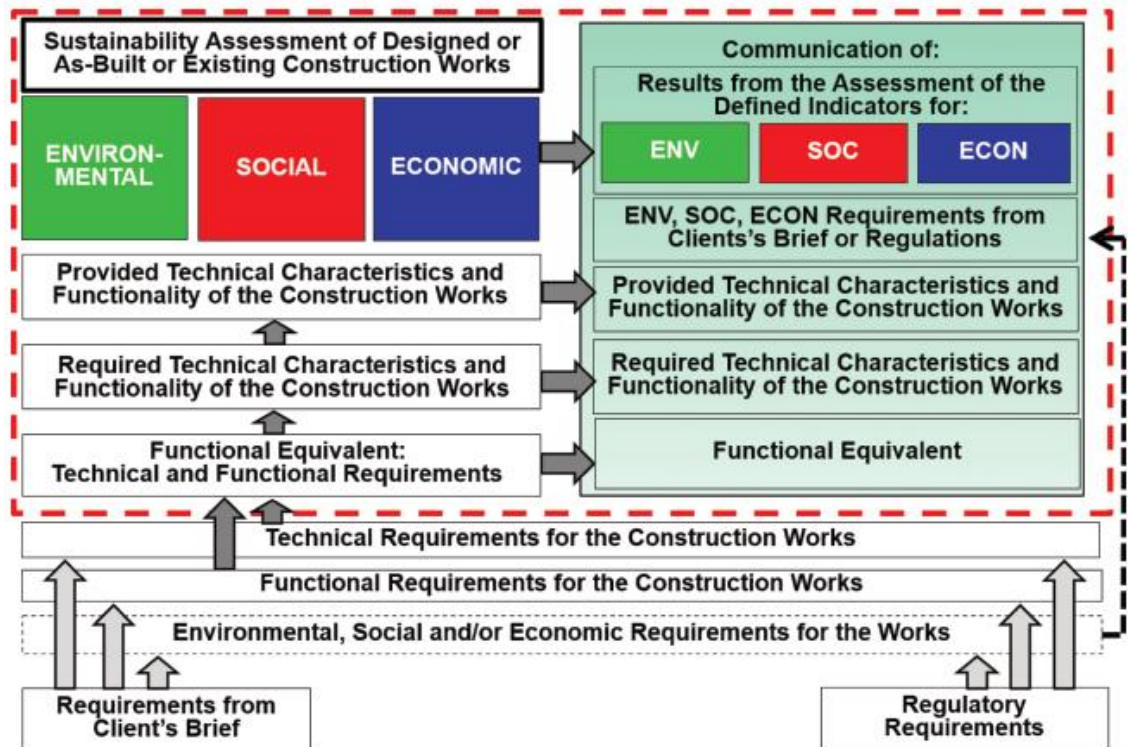
Elinkaariarvioinnissa (LCA) pyritään ottamaan huomioon tuotteen elinkaarivaikutukset raaka-aineiden hankinnasta, käyttövaiheen kautta tuotteen hävittämiseen asti. Elinkaariarvioinnissa keskitytään tuotteiden ympäristönäkökohtien ja -vaikutusten arviointiin. (SFS-EN ISO 14040 2021, 9).

Kattavassa elinkaariarvioinnissa otetaan huomioon kattavasti monenlaisia vaikutuksia, muun muassa tuotteen jokaisen osan valmistamisessa tarvittavat raaka-aineet, tuotteen valmistamisesta syntyvät tuotteet ja sen tarvitsemat syötteet, valmistamiseen tarvittava energia ja tukitoimintojen tarvitsema energia. Koska elinkaarilaskentoja tehdään erilaisiin tarpeisiin, on järjestelmän rajojen asettaminen tärkeä vaihe elinkaariarvioinnin prosessissa. (SFS-EN ISO 14040 2021, 7).

Kattavaan elinkaariarviointiin kuuluu aina myös vaikutusarviointi. Vaikutusarviointi tuottaa lisätietoa muun järjestelmän tulosten arvioinnin avuksi arvioimalla tuotejärjestelmän mahdollisten ympäristövaikutusten laajuutta ja merkittävyyttä koko tuotteen elinkaaren aikana. Mikäli vaikutusarviointia ei tehdä, on kyseessä elinkaari-inventaarioselvitys, eli LCI-selvitys. (SFS 14044 2018, 7).

### 2.1 Standardit

Elinkaariarviointi tehdään lähtökohtaisesti standardoiduilla laskentamenetelmillä. Kestävän rakentamisen yhteiseurooppalaisista standardeista vastaa eurooppalaisen standardointijärjestö CEN:n (Comité Européen de Normalisation) tekninen komitea ”TC 350 Sustainability of construction works”. Rakennusalalla käytettävä kestävän kehityksen puitestandardi julkaistiin alun perin vuonna 2017, mutta 2021 julkaistu uusi versio korvasi joulukuusta 2021 eteenpäin kaikki tätä aiemmat julkaisut. Kestävän kehityksen ulottuvuudet on ryhmitelty standardissa kolmeen ryhmään: ympäristö-, sosiaaliset ja taloudelliset vaikutukset. (SFS-EN 15643 2021, 5). Nämä eri vaikutukset ja niihin keskittyvät standardit on esitetty kuvioissa vihreällä, punaisella ja sinisellä taustalla.



KUVIO 4: Punaisella viivalla rajattuna aiheet, joiden standardoinnista vastaa CEN/TC. (SFS-EN 15643 2021, 5).

Uudessa standardissa on haluttu koota yhden ohjaavan puitestandardin alle sekä rakennusten (buildings), joita ovat esimerkiksi talot tai hallit, että rakennetun ympäristön (civil engineering works) elinkaariarvioinnit. Vaikka molemmat kokonaisuudet sisältyvät rakennusalaan, käytettävät tuotteet ja elinkaariyksiköt ovat erilaisia. Kuviossa 4 on esitetty, mitä osa-alueita standardeissa on haluttu painottaa.

Framework level	Sustainability Assessment			Technical characteristics	Functionality
		prEN 15643 (revisions of EN 15643-1...5) Sustainability of Construction Works – Framework for Assessment of Buildings and Civil Engineering Works			Service Life Planning – Principles ISO 15686-1
Works level	prEN 15978-1 (EN 15978 rev) Assessment of Environmental Performance of Buildings	prEN 15978-2 (EN 16309 rev) Assessment of Social Performance of Buildings	prEN 15978-3 (EN 16627 rev) Assessment of Economic Performance of Buildings	EN ISO 52000 Energy Performance of Buildings	
	prEN 17680 Evaluation of the Potential for Sustainable Refurbishment of Buildings				
	prEN 17472 Sustainability Assessment of Civil Engineering Works				
Product level	EN 15804 + A2 Environmental Product Declarations – Core Rules for Construction Products			Service Life Prediction Procedures ISO 15686-2, Feedback from Practice ISO 15686-7, Reference Service Life & Service Life Estimation ISO 15686-8	
	prEN 15942rev Communication format B-to-B				
	prEN 15941rev Data Quality				
	prEN 17672 Rules for B-to-C communication				
	prEN ISO 22057 Data templates for the use of EPDs in BIM				
	CEN/TR 16790 Guidance for EN 15804				
	CEN/TR 17005 Additional Indicators				

KUVIO 5: CEN/TC 350:n työohjelma. Vihreällä kuvataan ympäristöön liittyviä arviointistandardeja, punainen liittyy sosiaaliseen kestävyys ja sininen puolestaan taloudelliseen suorituskykyyn. (SFS-EN 15643 2021, 6).

Kuviosta 5 voidaan havaita, että standardeja on valmisteilla tuleville vuosille runsaasti, ja niistä valtaosa on vihreäpohjaisia, eli ympäristövaatimuksiin keskittyviä standardeja. Standardeja on tulossa tiedon laatuun, ympäristöselosteiden käyttöön tietomallinnuksessa sekä ympäristötietoselosteisiin liittyen. Rakennusalan standardeissa on tuotu myös tekniset ja toiminnalliset vaatimukset muiden kestävä kehityksen osa-alueiden rinnalle tasavertaisina. Nämä on esitetty kuviossa 5 katkoviivalla rajatussa valkopohjaisessa laatikossa.

Standardi EN 17472:2021, joka käsittelee ympäristövaikutusten laskentamenetelmiä rakennetun ympäristön osalta, on vielä valmisteilla, eikä sitä tammikuussa 2022 ollut vielä julkaistu. Standardi on esitetty kuviossa 5 vaaleansinisellä pohjalla. Standardi tulee käytettäväksi infrarakennusalan päästölaskennassa (Pesu J., Häkkinen, T. 2021).

### 2.1.1 Elinkaarimoduulit rakennusallalla

Rakennusalan kestävä kehityksen standardissa SFS-EN 15643:2021 tuotteiden elinkaari jaetaan elinkaarimoduuleihin, jotka on esitelty tarkemmin kuviossa 4.



Standardisoitu elinkaari koostuu käyttöä edeltävästä vaiheesta (A), joka jakaantuu vielä erikseen esirakennusvaiheeseen (A0), tuotevaiheeseen (A1-3) ja rakentamisvaiheeseen (A4-5), käyttövaiheesta (B), purkuvaiheesta (C) sekä elinkaaren ulkopuolelle jäävästä lisäinformaatiosta (D).

RAKENTEIDEN JA RAKENNUSTÖIDEN ARVIOINTITIETO																																																
RAKENTEIDEN JA RAKENNUSTÖIDEN ELINKAARITIETO								ELINKAAREN ULKOPUOLINEN TIETO																																								
A0 Suunnittelu- vaihe	A1...A3 Tuotevaihe			A4...A5 Rakentaminen		B1...B8 Käyttövaihe					C1...C4 Elinkaaren loppu				D																																	
Ennen rakentamista tapahtuvat aineettomat prosessit, hankeselvitykset, kokeet, maakaupat sekä suunnittelu	Materiaalituotanto Kuljetukset Valmistaminen			Kuljetukset työmaalle		<table border="1"> <tr> <td>B1</td> <td>B2</td> <td>B3</td> <td>B4</td> <td>B5</td> </tr> <tr> <td>Tuotteiden käyttö</td> <td>Ylläpito</td> <td>Korjaukset</td> <td>Uusimiset</td> <td>Laajamittaiset korjaukset</td> </tr> <tr> <td colspan="5">B6 Käytönaikainen energiankulutus</td> </tr> <tr> <td colspan="5">B7 Käytönaikainen vedenkulutus</td> </tr> <tr> <td colspan="5">B8 Käyttäjien toiminta</td> </tr> </table>					B1	B2	B3	B4	B5	Tuotteiden käyttö	Ylläpito	Korjaukset	Uusimiset	Laajamittaiset korjaukset	B6 Käytönaikainen energiankulutus					B7 Käytönaikainen vedenkulutus					B8 Käyttäjien toiminta					<table border="1"> <tr> <td>C1</td> <td>C2</td> <td>C3</td> <td>C4</td> </tr> <tr> <td>Purkutyöt</td> <td>Kuljetus jatkokäsittelyyn</td> <td>Purkujätteen käsittely</td> <td>Purkujätteen loppusijoitus</td> </tr> </table>				C1	C2	C3	C4	Purkutyöt	Kuljetus jatkokäsittelyyn	Purkujätteen käsittely	Purkujätteen loppusijoitus	D
B1	B2	B3	B4	B5																																												
Tuotteiden käyttö	Ylläpito	Korjaukset	Uusimiset	Laajamittaiset korjaukset																																												
B6 Käytönaikainen energiankulutus																																																
B7 Käytönaikainen vedenkulutus																																																
B8 Käyttäjien toiminta																																																
C1	C2	C3	C4																																													
Purkutyöt	Kuljetus jatkokäsittelyyn	Purkujätteen käsittely	Purkujätteen loppusijoitus																																													
A0	A1...A3			A4	A5										D																																	
<p><b>Hyöty- ja häirtävaiikutukset järjestelmän rajojen ulkopuolella</b></p> <p><b>D1</b> Uudelleenkäytön, kierrätyksen, energiakäytön ja muun hyötykäytön nettovirrat</p> <p><b>D2</b> Tuotetut hyödykkeet (esim. sähköenergia, lämpöenergia ja juomavesi)</p>																																																

KUVIO 6. Rakennusalalla käytettävät elinkaarimoduulit A0-5, B1-8, C1-4 sekä D. (SFS-EN 15643 2021, muokattu)

Elinkaarimoduuleista A1-A3 käsittävät tuotevaiheen, jossa tuotteiden valmistamisesta aiheutuvat päästöt raportoidaan tuotevalmistajan ilmoittamien arvojen mukaisesti. Tuotevalmistajan arvojen puuttuessa käytetään tietokantoja, joissa on esitetty markkinoilla olevien tuotteiden keskimääräisiä päästöjä. Moduuli A4 käsittää tuotteiden kuljetuksen tai kuljetukset loppusijoituspaikkaan eli rakennustyömaalle. Moduuli A5 puolestaan käsittää erilaiset työmaalla suoritettavat rakennus- ja asennustyöt.

B-moduulit on esitetty kuviossa 6 keskivaiheilla ja ne käsittelevät rakenteen käyttövaihetta. Moduuli B1 käsittää eri tuotteiden käytön tämän elinkaaren aikana. Moduuli B2 sisältää erilaiset kausiluontoiset ylläpitotoimenpiteet, kuten puhdistukset ja esimerkiksi säännölliset tarkastukset. Moduuliin B3 sisällytetään raskeimmat korjaustoimenpiteet ja moduulissa B4 lasketaan tuotteiden korvaaminen uudella, kun ne tulevat käyttöikänsä päähän. Eri tuotteiden käyttöiästä on kerrottu lisää rakennekohtaisesti tämän opinnäytetyön luvussa 5. Moduuli B6 käsittää rakenteen käytönaikaisen energiankäytön, joka aiheutuu infrarakentamisessa usein esimerkiksi valaistuksen tarvitsemasta sähköstä. Moduulissa B7

huomioidaan rakenteen käytönaikainen vedenkulutus ja moduulissa B8 huomioidaan rakenteen mahdollisesta hyötykäytöstä aiheutuvat vaikutukset.

C-moduuleissa eli purkuvaiheessa moduuli C1 käsittää itse purkutyön ja purkumateriaalin esikäsittelyn, esimerkiksi pilkkomisen tai murskaamisen kuljetusta varten. C2-moduulissa huomioidaan puretun rakennusmateriaalin kuljetus loppusijoituspaikkaan. Moduuli C3 puolestaan käsittelee purkujätteen jälkikäsittelyä joko uudelleenkäyttöä, kierrätystä tai energiankeräystä varten. Moduuli C4 käsittää jätteen hävittämisen.

Infrarakentamisen ISO-puitestandardiin 21931-2 uudistamisen yhteydessä aiotaan lisätä elinkaari-moduuli C5, joka käsittelee ympäristön ennallistamista. (Tie- ja ratainfrastruktuurin elinkaariarvioinnin opas. 2020, 16)

## 2.2 Ohjeet

Standardeja täydentämään on luotu erilaisia ohjeita, joissa tarkennetaan ja ohjataan standardien esittämiä elinkaariarviointimenetelmiä tarkemmin. Ohjeiden avulla pyritään välttämään standardeihin jääneitä tulkinnanvaraisuuksia, jotta elinkaarilaskennat olisivat vertailukelpoisia keskenään.

Talonrakentamisessa elinkaariarviointi tehdään Ympäristöministeriön julkaiseman ohjeen ”Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmät” (2019) mukaan. Ympäristöministeriön tavoitteena on saada 2020-luvun puoliväliin mennessä voimaan laki, joka velvoittaa jokaista rakennushankkeen ryhtyvää selvittämään rakennuksen elinkaaren aikaisen hiilijalanjäljen (Vähähiilinen rakentaminen, n.d.). Linjaukset, joita uuteen kaavoitus- ja rakentamislakiin tehdään, tulevat noudatettavaksi myös infrarakentamisessa. Esimerkiksi hiilikädenjäljen laskennasta uusimmassa luonnosversiossa linjattiin, että tuote toimii hiilivarastona vasta, kun se on paikallaan rakennuksessa yli 100 vuotta (Ympäristöministeriön asetus... 2021, 8).

Infrarakenteiden arviointi poikkeaa hieman rakennusten elinkaariarviointista. Rakennusten elinkaareen otetaan huomioon esimerkiksi käytönaikainen energian ja

veden kulutus, mutta infrarakenteissa ei kovin usein ole tarvetta lämmitykselle tai jatkuvalle vedenkäytölle. Poikkeuksena voidaan mainita kuitenkin esimerkiksi kaupunkien infra, jossa kulkuväylä saatetaan pitää sulana esimerkiksi lämmitys-kaapeliin avulla ja ympäristössä käytetään valaistuksia. Infrarakenteiden arviointia varten laaditussa Väyläviraston julkaisussa vuodelta 2020 määritetään elinkaariarvioinnissa ainoaksi pakolliseksi ympäristövaikutusluokaksi ilmastonlämpenemispotentiaali (GWP 100). Tämä arvo määritellään GWP<sub>FOSSIL</sub>-standardin SFS-EN 15804 mukaisesti (Tie- ja raitinfrakonstruktuurin elinkaariarvioinnin opas 2020, 25; SFS-EN 15804:2012+A2:2019, 38).

### 3 SILTOJEN ELINKAARI PÄÄSTÖJEN NÄKÖKULMASTA

Siltojen elinkaari koostuu suunnittelu-, rakentamis-, käyttö- ja ylläpito- sekä purkuvaiheesta. Suurin osa sillan elinkaaripäästöihin vaikuttavista ratkaisuksista tehdään sillan elinkaaren alkupäässä. Oikeanlainen käyttö ja ylläpito on kuitenkin edellytys sille, että silta saavuttaa määritetyn elinkaarensa, tai jopa ylittää sen (Airaksinen, 2021). Tässä luvussa on eritelty tarkemmin sillan elinkaaren aikana tehtäviä ratkaisuja, joilla on vaikutus ilmastopäästöihin ja eritelty riskejä, jotka saattavat lyhentää sillan elinkaarta.

#### 3.1 Rakennussuunnittelu- ja rakentamisvaihe (A0-A5)

Kokonaan uusi silta rakennetaan yleensä väylähankkeen yhteydessä. Päätökset sillanrakennusmateriaaleista ja sillan mitoista tehdään yleisesti jo varhaisemmissa suunnitteluvaiheissa, joissa päätetään rakennettavan väylän linjaus ja muut reunaehdot suunnittelulle. Sillan tapauksessa tällaisia voivat olla esimerkiksi vesilupa, joka vaikuttaa sillan päämittoihin. Rakennussuunnitteluvaiheessa vaikutusmahdollisuudet sillan päästöihin ovat jo rajallisemmat, kun sillan päämittoja ei voi suuremmin enää muuttaa. Kuitenkin esimerkiksi siltatyyppejä voidaan vielä hioa tarkemmin ja vaihtaa, mikäli esisuunnittelussa asetetut reunaehdot täyttyvät.

Sillan rakentamisvaiheessa hankitaan sillanrakennusmateriaalit, työvoima sekä työkoneet ja perustetaan työmaa. Siltatyömaa on usein osa isompaa infrahankekokonaisuutta, jolloin samaan aikaan tehdään myös väylän rakennus- tai parannustöitä. Mikäli uusi silta rakennetaan vanhan, purettavan sillan tilalle, voi työmaa toisinaan olla vain puhtaasti siltatyömaa.

Sillanrakennustyömaalla tyypillisiä päätyövaiheita ovat maarakennustyöt, sillanrakennustyöt, päällystystyöt sekä muut siltapaikalla tehtävät työt. Maarakennustöihin kuuluvat tyypillisesti kaivu- ja täyttötöyt, tiivistystyöt sekä maamassojen siirtely. Siltapaikasta riippuen maahan voi olla asennettu myös erilaisia johtoja ja kaapeleita, joiden siirto, uusiminen tai parannus saattaa olla ajankohtaista sillan

maarakennustyön yhteydessä. Sillanrakennustöihin kuuluvat itse sillan rakentaminen rakentamissuunnitelmien mukaisesti, sillan vedeneristystyöt eri työvaiheiden, kaiteiden rakennustyöt sekä varusteiden asennukset. Päälystystyöt liittyvät nimensä mukaisesti tien päälystekerrosten tekemiseen siltapaikalle. Lopuksi siltapaikka siistitään, työmaa puretaan ja silta luovutetaan lopulliselle omistajalleen. Yleisesti sillan luovutusvaiheessa sillalle tehdään vastaanottotarkastus, jossa käydään läpi sillan eri osat ja tarkistetaan ne.

### **3.2 Käyttö ja ylläpito (B1-B7)**

Kun silta on luovutettu sen haltijalle, alkaa sillan käyttö- ja ylläpitovaihe, joka rakennusalan elinkaarilaskennan moduulijattelussa sisältyy B-moduuliin. Käyttö- ja ylläpitovaiheeseen kuuluvia toimenpiteitä, joissa syntyy hiilidioksidipäästöjä, ovat muun muassa siltojen pesut ja puhtaanapito, siltojen säännölliset tarkastukset, päälysteiden reikien paikkaukset, liikuntasaumalaitteiden kunnossapito, ylläpitokorjaukset ja peruskorjaukset sekä muut pienet kunnostus- ja hoitotoimenpiteet (Pulkkinen ym. 2018, 414). Sillat tarkastetaan nykyohjeiden mukaan vuosittain tehtävällä vuositarkastuksella ja viiden vuoden välein tehtävällä yleistar- kastuksella, jossa niiden mahdolliset vauriot kirjataan taitorakennerekisteriin. Taitorakennerekisteri on taitorakenteiden, joihin sillatkin luetaan, perustietovarasto. Siellä tallennetaan siltojen perustiedot, kuten pituus, leveys ja asema tieverkolla. Näiden lisäksi siltarekisteristä löytyvät siltapiirustukset sekä tarkastustiedot. Sillan omistaja voi rekisteristä seurata siltojen kunnan kehitystä. Sillat omistaa useimmiten julkinen taho kuten Väylävirasto tai kunta. Näiden lisäksi siltojen omistajina voivat olla yksityiset tiehoitokunnat, Metsähallitus tai yksityinen yritys. (Pulkkinen ym. 2018, 22)

Ylläpitokorjauksia tehdään, kun jokin sillan vaurio aiheuttaa esimerkiksi vaaraa liikenne- tai henkilöturvallisuudelle tai rakenteen säilyvyydelle siten, että se on korjattava heti tai mahdollisimman pian. Ylläpitokorjauksille on tyypillistä, että niiden laiminlyönti aiheuttaa suuria riskejä, joita ovat esimerkiksi kantavuuspuutteet, vaurioiden nopea eteneminen, vakavat seurausvauriot tai merkittävä esteettinen

tai turvallisuuteen vaikuttava haitta. (Pulkkinen ym. 2018, 442) Tavallisia ylläpito-  
korjauksia ovat esimerkiksi päällysteiden reikien paikkaukset tai irronneiden sil-  
lankaiteiden korjaukset, jotka tehdään hoidon alueurakassa.

Kun sillassa havaitaan useampia korjaamista vaativia vaurioita tai sillan eri ra-  
kenneosat alkavat tulla peruskorjausikään, sillalle suunnitellaan tyypillisesti eri-  
koistarkastuksen pohjalta korjaussuunnitelma ja peruskorjaus. Erikoistarkastuk-  
sessa pyritään arvioimaan sillan eri rakenneosien kunto mahdollisimman toden-  
mukaisesti, jotta saadaan luotettavat lähtötiedot korjaussuunnittelua varten. Sil-  
lan 100-vuotiseen elinkaareen mahtuu yleensä kaksi peruskorjausta, mikä tar-  
koittaa teräsbetonisella tiesillalla noin 30 - 40 vuoden korjausväliä. (Pulkkinen ym.  
2018, 444) Sillan käyttöiän aikana joitakin sillan rakenneosia puretaan ja uusitaan  
kokonaan, kun ne tulevat käyttöikänsä päähän eivätkä toimi enää suunnitellusti.  
Tällaisia säännöllisin väliajoin uusittavia rakenteita ovat siltatyyppistä riippumatta  
yleensä esimerkiksi sillan päällysteet (asfaltti tai muu), vedeneristeet, reunapalkit,  
liikuntasaumalaitteet ja muut saumaukset sekä kaiteet.

### **3.3 Purkuvaihe (C1-C4)**

Sillan käyttöiän katsotaan päättyvän sillan purkamiseen. Purkuvaiheen eri osat  
lasketaan elinkaarilaskennassa rakennusosalalla C-moduuliin kuuluviksi. Silta pu-  
retaan yleensä siinä vaiheessa, kun sen korjaaminen ei enää ole taloudellisesti  
tai teknisesti järkevää. Silta saatetaan purkaa myös, jos silta ei enää täytä silta-  
paikan vaatimuksia. Tällainen tilanne saattaa syntyä väylien parannustöiden yh-  
teydessä, jos esimerkiksi sillan rakenne ei kestä lisäkaistojen rakentamista tai  
tulevaa kuormitusta. Koska sillat ovat osa liikenneverkkoa, ne korvataan käytän-  
nössä aina purkamisen jälkeen uudella.

Sillan purkaminen edellyttää aina purkusuunnitelman, jossa esitetään purkutyön  
kulku pääpiirteittäin. Purkusuunnitelmassa esitetään, millaista kalustoa purkuun  
käytetään, mistä purkukappaleet nostetaan, miten purettavan sillan rakenteita  
tuetaan purkutyön aikana ja miten purkujäte käsitellään. Siltojen purkutapoja on  
yhtä monia kuin on siltapaikkoja ja urakoitsijoitakin, mutta yleisesti sillan purku

tehdään irrottamalla sillan eri osat mahdollisuuksien mukaan esimerkiksi piikkaamalla, poraamalla, leikkaamalla, sahaamalla ja nostamalla purettu materiaali jätelavalle (Pulkinen ym. 2018, 492). Työvaiheessa aiheutuvat päästöt vaihtelevat merkittävästi sen mukaan, millaista purku- ja nostokalustoa urakoitsija työssä käyttää. Kaluston valintaan vaikuttavat esimerkiksi purkutoimenpiteille asetetut laatuvaatimukset sekä urakoitsijan saatavilla oleva kalusto (Vellamo, 2022). Purkujäte kuljetetaan materiaaliakohtaisesti jatkokäsittelyyn. Siltojen purkujätteen kuljuksesta aiheutuvat päästöt muodostuvat sitä suuremmiksi, mitä kauempana purkumateriaalien loppusijoituspaikka sijaitsee. Esimerkiksi betonisillan purkujäte voitaisi teoriassa käsitellä, jatkojalostaa ja uudelleen käyttää lähellä siltapaikkaa, jolloin kuljetusten päästöt jäävät pieniksi.

Sillanrakennusmateriaaleista teräksen oletettu loppukäyttö on kierrätys ja betonirakenteesta oletetaan tehtävän elinkaarensa lopussa betonimursketta, jota käytetään esimerkiksi tien pohjana (Du ym. 2014). Kyllästetty puu on ongelmajätettä, ja se on purettava ja lajiteltava aina muusta puutavarasta erillään (Pulkinen ym. 2018, 497). Päälystekerrosten asfaltti on mahdollista kierrättää uudeksi, mikäli se on riittävän homogeenistä (Dinis-Almeida & Alfonso, 2015).

### **3.4 Maantieteellinen sijainti ja sen vaikutus sillan elinkaareen**

Sillan maantieteellinen sijainti vaikuttaa sillan suunnitteluperusteisiin. Väyläviraston Eurokoodin soveltamisohjeessa NCCI 1 määrittää siltojen suunnitteluperusteissa sillan maantieteellisen sijainnin perusteella otettavaksi huomioon ainakin lämpötilakuormat, meriveden vaikutuksen ja tien suolaolosuhteet. Lisäksi rakenteen säilyvyyteen ja sitä kautta elinkaareen vaikuttavat muun muassa UV-säteily, sademäärä ja jäätymis-sulamissyklien määrä (Pakkala, T. 2020, 84). Pakkala (2020) toteaa myös, että ilmastokuorma tulee lisääntymään kaikentyyppisillä rakenteilla ilmastonmuutoksen edetessä. Suomi kuuluu kostea- ja kylmätalviseen ilmastotyyppiin Köppenin ilmastoluokituksen mukaan. (Ilmatieteen laitos, n.d.) Tarkemmassa tarkastelussa Suomi voidaan jakaa viiteen pääilmastoluokkaan, joita erottaa pääosin sademäärä ja lämpötila. Ilmasto vaikuttaa sillan rakenteiden säilyvyyteen.

Koska tieverkon kulumisen olosuhteet voivat eri ilmastoluokista ja keskimääräisestä vuorokausiliikenteestä johtuen olla hyvinkin erilaiset, Suomen tieverkolla on käytössä viisi eri talvihoitoluokkaa. Talvihoitoluokka määräytyy väylän merkityksen, liikennemäärän ja liikenteen koostumuksen mukaan. Talvihoitoluokka määrittää mm. sen, käytetäänkö väylänpidossa liukkauden ehkäisemiseksi suolaa. (Teiden sekä kävelyn ja pyöräilyn väylien talvihoito n.d.)

Sillan sijainti vaikuttaa siihen, miten pitkä kiertotie liikenteelle sillan korjaustöiden aikana tarvitaan. Harvemmallalla väyläverkostolla kiertotiet ovat lähtökohtaisesti pidempiä kuin tiheällä verkostolla. Toisaalta vilkkaasti liikennöidyillä ja merkittäväillä tieosuuksilla kiertotien järjestäminen ei aina ole vaihtoehto, vaan esimerkiksi hälytysajoneuvojen on yleensä päästävä kulkemaan esteettömästi.

Salokankaan koostamassa ETSI-projektissa (2013) tutkittiin luotettavaa menetelmää kiertotiestä aiheutuvien liikennepäästöjen arviointiin. Malli ottaa huomioon tien liikennevirran, jota arvioitiin kolmeportaisella asteikolla. Hitain ja eniten päästöjä aiheuttava liikennetyyppi on ruuhkautuva, jolloin liikenne kulkee hitaasti ja pysähtymisiä ja liikkeellelähtöjä tulee tiheästi. Keskimääräisellä liikennetyypillä nopeuksilla 40–70 km/h liikenne virtaa sujuvasti, joten ruuhkia ei aiheudu ja moottoreita voidaan ajaa matalilla kierroksilla. Tämä tyyppi on liikennetyypeistä pienipäästöisin. Korkeanopeuksisella liikenteellä (yli 70 km/h) moottorit kuluttavat enemmän ja täten syntyy enemmän päästöjä, kuin keskimääräisellä liikennetyypillä. (Salokangas L. 2013, 76-78)

### **3.5 Elinkaaririskit**

Elinkaaririskit ovat riskejä ja muita tekijöitä, jotka saattavat estää sillan elinkaaren toteutumisen sen ennakoidussa pituudessa. Riskit saattavat liittyä esimerkiksi jonkin siltatyyppin käyttöön. Tyypillinen esimerkki siltatyyppikohtaisista elinkaaririskeistä on lahottajasieni, joka saattaa lyhentää puusillan käyttöikää merkittävästi. Lahosieniä on tavattu varsinkin 2000-luvulla, kun siirryttiin aiempaa ympäristöystävällisempiin puun kyllästysaineisiin. (Lahottajasienten aiheuttamat vauriot puusilloissa on kartoitettu 2021) Lisäksi ilmastonmuutos muuttaa ympäristö-



olosuhteita kuluvalle vuosisadalle. Sateiden ja tulvien määrän ennustetaan lisääntyvän koko Suomessa (IPCC 2021, 24). Lisääntyvä kosteusrasitus lisää myös siltojen rasitustasoa, ja esimerkiksi vedeneristeiden vuodosta aiheutuvat vauriot sillan rakenteille voivat tapahtua nopeammin, mikäli kosteusrasitus on voimakkaampaa. Betonia rapauttavien jäätymis-sulamissykliä määrän ennustetaan kasvavan pohjoisessa Suomessa, mutta vähentyvän eteläisessä Suomessa (Pakkala, T. 2020, 73). Riskiksi voidaan laskea myös toiminnallisten vaatimusten muuttuminen, kun väyläverkon välityskykyä kasvatetaan. Näin tapahtui esimerkiksi vuonna 2013, kun Suomen tieverkolla yhdistelmäajoneuvojen enimmäismassa nousi 60 tonnista 76 tonniin (Yle 2013). Vaatimusten muuttuessa sillan kantavuus tai leveys saattaa jäädä riittämättömäksi, ja siltapaikalle tarvitaan uusi silta, vaikka vanhalla olisi käyttöikä muuten vielä jäljellä (Airaksinen, 2021).

## 4 TUTKITTAVAT SILTATYYPIT

Standardin SFS-EN ISO 14040 mukaan merkittävä vaihe elinkaarianalyysissä on työn rajauksen ja toiminnallisen yksikön määrittäminen (SFS-EN ISO 14040, 15). Tässä luvussa paneudutaan tarkemmin työn ja järjestelmän rajaukseen. Työssä toiminnalliseksi yksiköksi on määritetty ajoneuvoliikenteen silta, jolla on vähintään 20-metrinen jänneväli, kaksi kaistaa ja joka on toiminnassa 100 vuotta. Muista rajaehdoista on kerrottu tarkemmin alaluvuissa.

### 4.1 Tarkasteltavat sillat

Tutkimukseen etsittiin esimerkkisillat Taitorakennerekisterin hakutoimintoa käyttäen siten, että siltoja haarukoitiin joko hyötyleveyden tai sillan jännemitan mukaan. Lisäksi yhtenä hakukriteerinä oli siltojen suunnittelukuorma, sillä valittujen siltojen tuli olla sellaisia, joita voitaisi rakentaa myös 2020-luvulla. Valittujen siltojen tavoitepäämitat olivat seuraavat:

- HL = 8,5 – 9,0 m
- Jännemitta = 20 – 25 m

Suomen yleisin sillan käyttötarkoitus on vesistösilta sekä siltojen lukumäärää että pinta-alaa tarkasteltaessa (Väyläviraston sillat 2020, 24 - 25). Tästä syystä tutkimukseen valittiin ainoastaan vesistösiltoja. Jotta eri rakennusmateriaaleista rakennetut sillat ovat verrattavissa keskenään, on sillan päämittojen oltava vakioitu. Koska tässä tutkimuksessa tarkastellaan eri materiaaleista rakennettuja ja täten rakentamistavoiltaan eroavia siltoja, on tarkasteltaviksi päämittoiksi valittu hyötyleveys ja jännemitta. Usein eri päärakennusmateriaaleista rakennettuja siltoja käytetään hieman erilaisissa käyttötarkoituksissa, joten tutkimukseen pyrittiin valitsemaan mitoiltaan sellainen silta, joka olisi aidosti mahdollista rakentaa puusta, betonista tai teräksestä valitulle siltapaikalle. Toiminnallisen yksikön määrittelyssä sillalle haluttiin mieluiten kaksi ajoneuvokaistaa. Sillan mitoituksena valittiin LM1, LM3 (201x), mikä tarkoittaa sitä, että silta on suunniteltu Eurokoodien ja kansallisten liitteiden mukaan, jotka olivat voimassa 2010-luvulla. Mitoituksella LM1, LM3 kuvataan kuormakaavioita, joiden paino tiesillan tulee kestää. (SFS-EN 1990 2006, 106). Kuormakaavioissa ajoneuvon paino on jaettu

kaaviomuotoon rakennelaskentaa varten ja niillä voidaan kuvantaa erilaisia laskennallisia ajoneuvoja.

Tässä tutkimuksessa perustaminen toteutettiin paaluperusteisena ja siten, että alusrakenteiden koko on pieni verrattuna siltakannen kokoon. Valitun kaltaisessa tapauksessa sillan päämateriaalivalinta vaikuttaa vain vähän alusrakenteiden lopullisiin mittoihin ja materiaalitarpeisiin. Siltakannen omapaino vaikuttaa alusrakenteissa esimerkiksi tarvittavaan paalujen määrään tai peruslaatan kokoon, joka on tässä tutkimuksessa otettu huomioon käyttämällä puusilloilla yhtä pykälää pienempää paalukokoa kuin teräspalkkisillalla ja teräsbetonisella laattasillalla. Vertailun yhtenäistämiseksi paalujen määrä ja pituus on kuitenkin vakioitu. Siltojen perustiedot on koottu taulukkoon 1.

TAULUKKO 1: Tutkimuksessa tarkasteltavien siltojen perustiedot ja kuvien numerot.

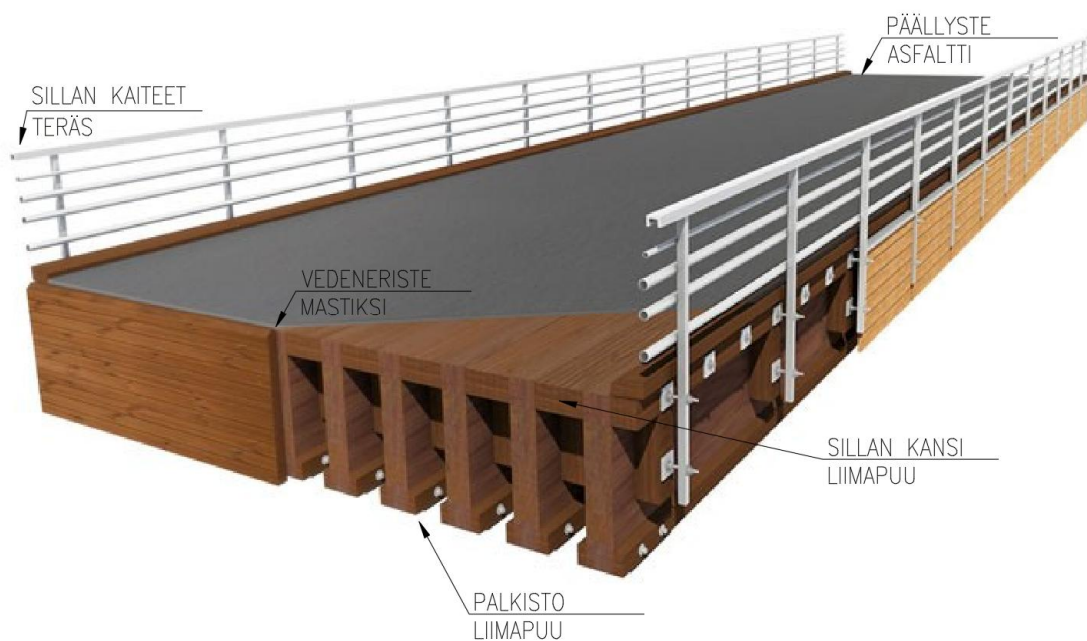
Sillan nimi	Haapajoen silta	Kylä-Peron silta	Äijäjoen silta	Pistesalmen silta
<b>Siltatunnus</b>	KaS-1286	T-48	L-2276	KeS-317
<b>Jännemitta [m]</b>	17,5	24	21	20
<b>Hyötyleveys [m]</b>	7,5	6	8,5	9,25
<b>Sillan tyyppi</b>	Liimapuusta valmistettu palkkisilta	Liimapuusta valmistettu laattasilta	Teräspalkki-silta, liittorakenteinen	Teräsbetoninen laattasilta
	Kuva 1, 2	Kuva 3, 4	Kuva 5, 6	Kuva 7, 8

Liimapuuisen palkkisillan (Haapajoen silta) jännemitta jäi tuntuvasti alle 20 metrin, kun tavoitteena oli valita jännemitaltaan vähintään 20 metrisiä siltoja. Jotta tuloksista saatiin keskenään vertailukelpoiset, tarkastelua varten interpoloitiin sillan kantavan rakenteen ja puuisen kansirakenteen määrät vastaamaan toiminnallisen yksikön vaatimuksia. Koska jännemitan kasvattaminen kasvattaa kannelle aiheuttavia rasituksia, pidemmällä jännemitoilla tarvitaan yleensä järeämmän kokoisia

rakenteita. Arvioidun määrän oikean suuruusluokan tarkistamiseksi määrää verrattiin vielä puusiltojen tyyppisuunnitelmasarjan (Versowood) kriteereihin sopivaan siltaan. Vertailun mahdollistamiseksi myös tietyt rakenneosat on vakioitu, esimerkiksi kaide on laskennassa samanlainen ja samanpituinen kaikilla valituilla silloilla, vaikka todellisuudessa näin ei ole. Lisäksi siltalaakerit sekä paalujen määrä ja koko on vakioitu. Näillä oletuksilla on pyritty saavuttamaan eri siltatyyppien parempi keskinäinen vertailtavuus.

Koska siltatyyppejä tarkasteltiin pääasiassa case-tyyppisenä tarkasteluna, kaikkia rakenneosia ei pyritty vakioimaan. Tästä syystä erilaisilla siltatyypeillä on omia ominaispiirteitään, jotka vaikuttivat tuloksiin. Esimerkiksi teräspalkkisillalla alusrakenteen muodostivat yksin teräksiset paalut, niiden raudoitus ja täyttövalu betonilla. Muilla silloilla paalujen väliin oli rakennettu laakeripalkki, jonka päällä kansi lepää. Lisäksi teräsbetonisella laattasillalla oli muista silloista poiketen siirtymälaatat sillan päissä, mitä muissa silloissa ei ollut. Ylimääräiset siirtymälaatat lisäävät jossain määrin sillan ilmastopäästöjä. Siirtymälaattojen käyttöä oletettiin olevan 100 vuotta.

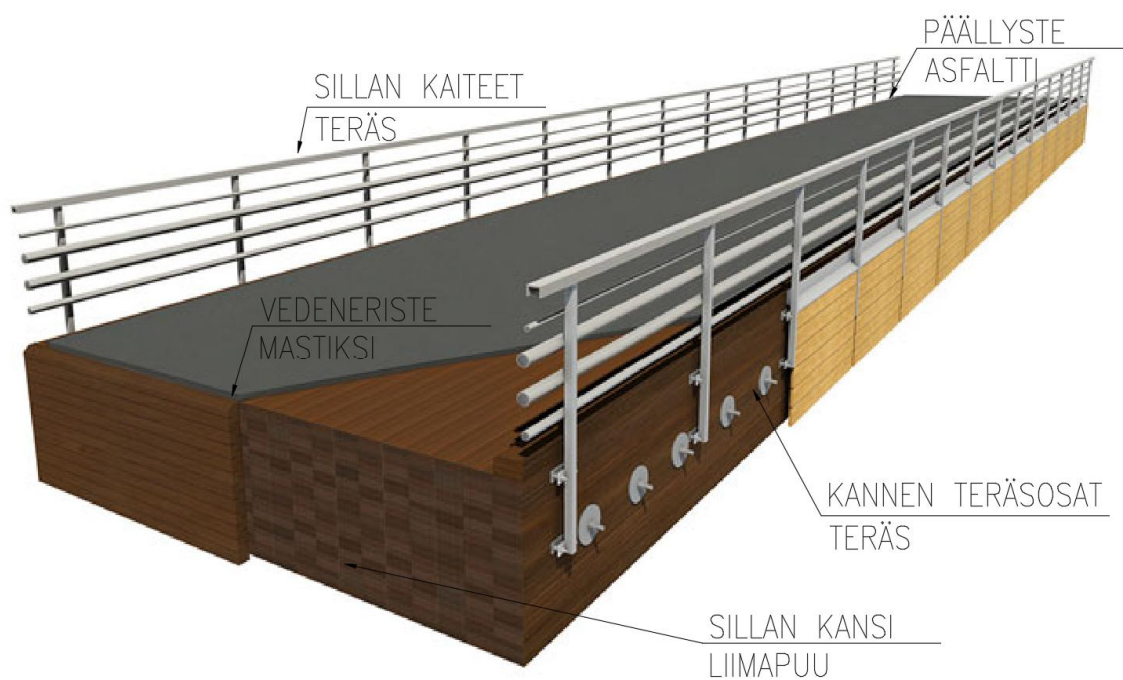
Siltakannen rakenneosia on esitetty materiaalitietoineen kuvissa 1, 3, 5 ja 7. Kuvissa 2, 4, 6 ja 8 on esitetty valittujen siltojen yleiskuvat.



KUVA 1. Sillan kannen poikkileikkaus ja sillan rakenneosat. Liimapuinen palkkisilta. (Versowood, n.d., muokattu)



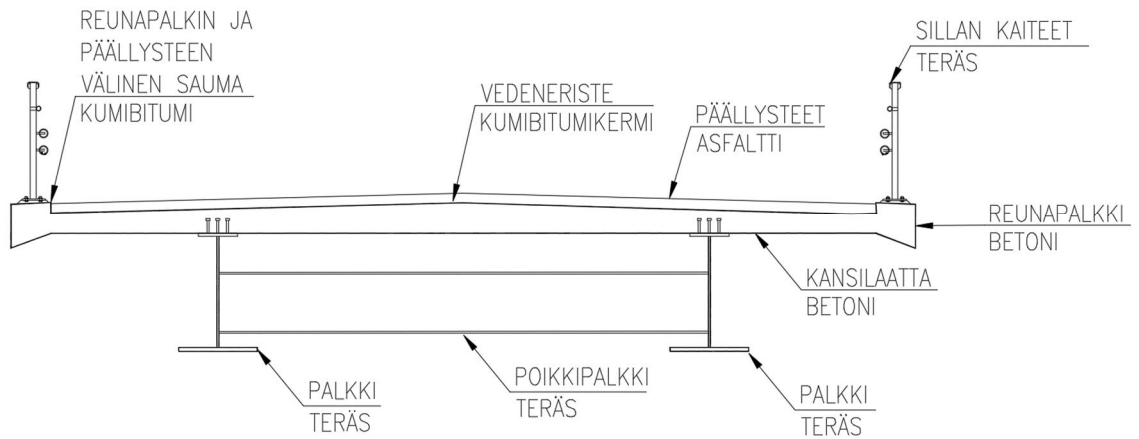
KUVA 2: Puinen palkkisilta, Haapajoen silta. (Taitorakennerekisteri: Tarja Särkiniemi, Ramboll Finland Oy 2021)



KUVA 3. Sillan kannen poikkileikkaus ja sillan rakenneosat. Liimapuinen palkkisilta. (Versowood, n.d., muokattu)



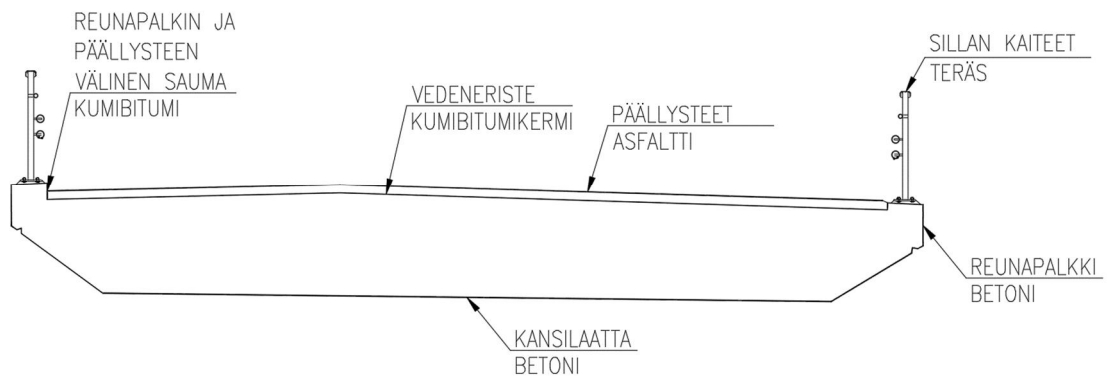
KUVA 4: Puinen laattasilta, Kylä-Peron silta. (Taitorakennerekisteri: Milla Malka, Sitowise Oy 2021)



KUVA 5. Sillan kannen poikkileikkaus ja sillan rakenneosat. Liittorakenteinen teräspalkkisilta.



KUVA 6: Liittorakenteinen teräspalkkisilta, betonikansi, Äijäjoen silta. (Taitorakennerekisteri: Jukka Leskelä, Inspecta Oy 2019)



KUVA 7. Sillan kannen poikkileikkaus ja sillan rakenneosat. Teräsbetoninen laattasilta.



KUVA 8: Betonisilta, Pistesalmen silta. (Taitorakennerekisteri: Veikko Wallin, Welado Oy 2019)

## 4.2 Laskettu käyttöikä

Tarkastelujaksoksi määritettiin 100 vuotta, joka vastaa nykyisten suunnitteluohjeiden edellyttämää sillan käyttöikää. Puusilta suunnitellaan lähtökohtaisesti 50



vuoden käyttöiälle, joten tässä tutkimuksessa oletettiin, että puusillan kansirakenne joudutaan uusimaan kerran kokonaisuudessaan 100 vuoden käyttöiän saavuttamiseksi. Rakenneosien uusimisvälit on esitetty siltatyypeittäin luvussa 5.

### **4.3 Systemin rajat**

Systemin rajat on ensimmäisen kerran esitetty tämän tutkimuksen luvussa 1.3, kuviossa 1. Tässä luvussa on taustoitettu tehtyjä valintoja tarkemmin. Luvun lopussa on esitetty taulukkomuodossa tehdyt valinnat eri moduulien huomioon ottamisesta tai niiden pois jättämisestä.

TAULUKKO 2. Laskennassa huomioon otetut elinkaaren vaiheet ja käytettävät tiedot. Tarkastellut moduulit on esitetty sinisellä värillä, ei huomioitavat punaisella ja taulukkoarvoilla huomioitavat moduulit on esitetty keltaisella.

A1-A3 Tuotevaihe	A4-A5 Rakentaminen	B1-B7 Käyttövaihe	C1-C4 Purkuvaihe	D Muut vaikutukset
A0: Esirakennusvaihe	A4: Kuljetus työmaalle	B1: Tuotteiden käyttö rakennusvaiheessa	C1: Purkaminen	Hiilikädenjälki
A1: Raaka-aineen hankinta	A5: Työmaatoiminnot	B2: Kunnossapito	C2: Kuljetukset	
A2: Kuljetus valmistukseen		B3: Korjaus	C3: Purkujätteen käsittely	
A3: Tuotteen valmistus		B4: Osien vaihto	C4: Purkujätteen loppusijoitus	
		B5: Laajat korjaukset		
		B6: Energian käyttö		
		B7: Veden käyttö		

Infrarakentamisen elinkaarimoduuleista huomioitiin työvaiheet alkaen maanrakennustöistä ja päättyen rakenteen purkamiseen. Näistä toimenpiteistä päästö-laskelmaan sisällytetään sillan rakentaminen, sillan käyttö- ja ylläpitovaihe sekä sillan purkaminen. Moduulit on jaettu tarkemmin eri vaiheisiin taulukossa 2.

Näistä toimenpiteistä aiheutuvista päästöistä koostuu sillan hiilijalanjälki. Sillan rakentamisen päästöihin laskettiin mukaan sekä rakennusmateriaalien että työkonoiden aiheuttamat päästöt. Laskennassa on otettu huomioon myös rakennusaikana tarvittavat rakennusmateriaalit, esimerkiksi valumuotit. Laskennasta on jätetty pois kaikille siltatyypille yhtenäisiä, mutta arviolta päästöiltään pieniä kokonaisuuksia. Tällaisia merkitykseltään pieniä kokonaisuuksia ovat esimerkiksi sillan kuivatukseen liittyvät salaojat, tippuputket sekä hulevesiputket. Lisäksi esimerkiksi kokoamistyötä ja puukannen kokoamiseen tarvittavia nauvoja ei ole laskettu, sillä näiden vaikutus koko sillan päästöihin on arvioitu niin pieneksi, etteivät ne vaikuta merkittävästi tutkimuksen tuloksiin. Elinkaariarvioinnin standardissa on linjattu, että kokonaisuuksia on sallittua jättää tarkastelun ulkopuolelle vain siinä tapauksessa, jos se ei muuta elinkaariarvioinnin johtopäätöksiä (SFS-EN ISO 14044 2020, 18).

Kuljetus työmaalle arvioidaan tuotekohtaisesti tuotemassojen perusteella. Kuljetusmatkat arvioitiin tässä tutkimuksessa laskemalla etäisyys todellisilta siltapaikoilta lähimpään tuotetoimittajaan karttapalvelusovelluksen avulla joka sillalle erikseen, ja näistä arvoista laskettiin keskiarvo. Kuljetusmatkat on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Laskennassa käytetyt kuljetusmatkat.

	KA [km]	Pyöritys [km]
<b>Betoni</b>	43,54	50
<b>Betoniteräs</b>	386,75	390
<b>Terästuotteet</b>	430,00	430
<b>Puutuotteet</b>	30,13	30
<b>Liimapuutuotteet</b>	380,25	380
<b>Muu rakennustuote</b>	20,75	20
<b>Laakerit</b>	1000,00	1000

Työmaatoiminnoista arvioitiin päästölähteiltään merkittävimpien koneiden käyttö rakennusaikana. Sillanrakennuksessa arvioitavat toiminnot aiheutuvat maamassojen siirtelystä/tiivistyksestä, rakennustuotteiden kuljetuksista ja purkutöistä, betonin pumppauksesta ja asfaltin jyräyksistä. Työmaan perustamisesta ja ylläpidosta aiheutuvia päästöjä ei arvioitu tässä tutkimuksessa, sillä arvioon liittyy pal-

jon epävarmuuksia muun muassa urakoitsijan totuttuihin toimintatapoihin ja urakamuotoon liittyen (Vellamo, 2022). Työmaan pyörittämisestä aiheutuvat päästöt eivät myöskään suoranaisesti riipu valitusta siltatyypistä. Tutkimuksessa pyrittiin keskittymään nimenomaan siltatyypien keskinäisten erojen vertailuun ja työmaan yhteiskäyttötoiminnot jätettiin tarkastelun ulkopuolelle standardin rakennusalan elinkaaristandardin mukaisesti (SFS-EN 15643 2021, 33).

Sillan käyttö- ja ylläpitovaiheessa (B-moduuli) arvioitiin siltatyypille ominaiset korjaustoimenpiteet ja laskettiin varsinaisista korjaustoimenpiteistä aiheutuvat materiaali- ja työkoneiden aiheuttamat päästöt. Tutkimuksessa ei laskettu ylläpitoluontoisia, esimerkiksi ylläpitokaluston aiheuttamia päästöjä, sillä ne ovat suurin piirtein samat siltatyypistä riippumatta. Rakenteiden uusimisten vaatimat purkutyöt ja niiden aiheuttamat päästöt allokoitiin käyttö- ja ylläpitovaiheeseen kuuluvaksi. Myös purkujätteen kuljetus loppusijoituspaikkaan sisältyy tähän vaiheeseen silloin, kun se tapahtuu kesken sillan elinkaaren.

Sillan purkuvaiheen (C-moduuli) oletettiin tapahtuvan 100 vuoden käyttöiän täyttyä. Purkamisvaiheen päästöiksi laskettiin koko sillan kannen kaikkien materiaalien mekaaninen purkaminen, materiaalin kuljetus 100 km loppusijoituspaikkaan sekä jätteen loppukäsittely. Jätteen käsittely arvioitiin kertoimilla puulle, teräkselle ja betonille. Sillan paaluja täyttöineen ei oletettu purettavan käyttöiän loppua.

Sillan käytön aikana syntyviä liikenteen päästöjä ei huomioida tässä tutkimuksessa. Infrastruktuurin käytön, eli esimerkiksi liikenteen, energiankäyttöä ei lasketa rakennetun ympäristön energiankäyttöön (Laine A., Raivio T., Jonsson H., Heino A., Klimscheffskij M. & Lehtomäki J. 2020, 4). Liikenteen päästöjen vertailulla ei saada lisäarvoa tutkimukselle, sillä ne ovat siltatyypistä riippumattomat. Lisäksi liikenteen päästöjen arviointiin liittyy epävarmuuksia, muun muassa liikenteen päästökehitys tulevaisuudessa sekä korjaustoimenpiteiden vaatimien kiertoteiden ennustettavuus.

Siltojen hiilikädenjälkeä ei ole tutkimuksessa huomioitu, sillä sen laskennassa on epävarmuuksia. Hiilikädenjälki voi sillalla syntyä betonin karbonatisoitumisesta tai rakenteen hiilivarastona toimimisesta. Silloilla betonin karbonatisoituminen on

usein vähäistä ja sitä pyritään yleisesti ehkäisemään esimerkiksi pinnoitteilla, jotka on tässä työssä jätetty tarkastelun ulkopuolelle.

Puun voi uuden rakennuksen ilmastaselvitysohjelun mukaan laskea hiilivarastoksi vasta, kun se on rakenteessa paikallaan vähintään 100 vuotta (Ympäristöministeriö 2021, 8). Tämä ei puusiltojen tapauksessa toteudu missään rakennosassa.

#### **4.4 Arvioitavat ympäristövaikutukset**

Tässä työssä keskityttiin ainoastaan ilmaston lämpenemistä kiihdyttävien CO<sub>2</sub>ekv päästöjen laskentaan ja niiden välisten korrelaatioiden etsintään, eikä muita ympäristölle haitallisia vaikutusmekanismeja huomioitu vertailussa. Rajaus on valittu yhdessä toimeksiantajan kanssa ja pohjautuu valtion pyrkimykseen erityisesti hiilineutraaliuden edistämiseen. Valintaa tehdessä tiedostetaan, että tarkastelu sulkee pois muita elinkaaren aikana syntyviä päästöjä ja vaikutuksia.

#### **4.5 Käytetyt ohjelmistot ja päästökertoimet**

Siltojen elinkaaripäästöjen vertailu suoritettiin Rambollin ZeroInfra-ohjelmalla ja vertailun vuoksi myös Norjassa käytössä olevalla VegLCA-laskentaohjelmalla. ZeroInfra on panospohjainen selaimella käytettävä ohjelmisto, joka on kehitetty Microsoft Excel-laskennan pohjalta ja josta tulokset voi tulostaa Exceliin jälkikäsitteilyä varten. VegLCA puolestaan on ETSI-projektin siltatyökalun pohjalta kehitetty Microsoft Excel -pohjainen laskentatyökalu (Statens Vegvesen, 2018; Kooste infrarakentamisen päästölaskennasta ja referenssikohteista, 2021).

Päästökertoimet rakennustuotteille on määritetty käyttäen ensisijaisesti tuotekohtaisia ympäristötietoselosteita (EPD). Mikäli näitä ei ole ollut saatavilla, on päästötiedot pyritty löytämään Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämän ja kehittämän päästötietokanta co2data.fi -palvelusta (Rakentamisen päästötietokanta,

n.d.). Infra-alalla ei toistaiseksi ole vastaavasti vakiintunutta omaa päästötietokantaa, mutta Suomen ympäristökeskus on tällä hetkellä kokoamassa sellaista (Pesu, J. & Häkkinen, T. 2021).

Eri työkoneiden ja kuljetusten päästöt on laskettu Teknologian tutkimuskeskuksen, VTT:n, ylläpitämän LIPASTO-yksikköpäästötietokannan arvojen mukaan (LIPASTO, liikenteen päästöt n.d.). Kuljetuksissa on oletettu maantieajon osuudeksi 80 % ja kuljetuskaluston on oletettu ajavan edestakaisen matkan, josta paluumatka tyhjänä. Purkujätteen loppusijoituksen ja jätteenkäsittelyn aiheuttama päästö laskettiin Rakentamisen päästötietokannasta löytyvillä kertoimilla Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmän ohjeiden mukaisesti (Ympäristöministeriö 2019, 27).

## 5 SILTATYYPPIEN ELINKAARIPÄÄSTÖT

Tarkasteltavat sillat olivat liimapuusta rakennettu palkkisilta, liimapuusta rakennettu laattasilta, teräsbetoninen laattasilta sekä liittorakenteinen teräspalkkisilta. Tässä luvussa on kerrottu siltatyypin tärkeimpiä käyttökohteita sekä esitelty niiden lasketut ilmastopäästöt siltakohtaisesti.

### 5.1 Liimapuusilta

Liimapuusilloista Suomessa käytetyin on ollut liimapuinen palkkisilta, joista on ollut olemassa tyyppiirustukset jo 1970-luvun lopulla. (Väylävirasto, 2021) Liimapuinen palkkisilta on esitetty sivusta katsottuna kuvassa 9 ja sillan alta katsottuna kuvassa 10. Uutena puusiltatyypinä Väylävirasto on viime vuosikymmenellä hyväksynyt käyttöönsä jo aiemmin Ruotsissa vuosia käytössä olleen poikittain jännetyn liimapuuisen laattasillan (Väylävirasto 2015).



KUVA 9. Liimapuinen palkkisilta, yleiskuva sivusta.



KUVA 10. Liimapuinen palkkisilta sillan alta kuvattuna.

Puun etuja sillanrakennusmateriaalina ovat sen keveys, asennusnopeus ja suunnittelun monipuolisuus, sillä erilaisia näyttäviä puusiltatyyppejä on useita. (Pulkkinen ym. 2018, 230) Puusiltoja voidaan käyttää niin ajoneuvoliikenteen kuin kevyenkin liikenteen siltana, mutta rautatiesiltoina niiden käyttö on nykyään lähes olematonta. Taitorakennerekisterin (29.12.2021) mukaan puusilloista yhteensä 57,2 % oli kevyen liikenteen siltoja ja loput tiesiltoja. Noin 0,5 % puusilloista käyttötarkoitukselle ei ollut syötetty arvoa. Tässä tutkimuksessa laskettiin sekä liimapuupalkkisillan että poikittain jännitetyn liimapuisen laattasillan elinkaaripäästöt.

### 5.1.1 Rakenneosat ja niiden käyttöiät

Väyläviraston selvityksen (Taitorakenteiden ylläpidon toimintalinjat 2015, 50) mukaan puusillan rakenneosien kokemusperäiset uusimivälit ovat seuraavat:

- Säältä suojatut rakenteet 50 vuotta. Näihin kuuluvat tässä tutkimuksessa sillan kantava rakenne, eli palkisto tai kantava massiivinen laatta.

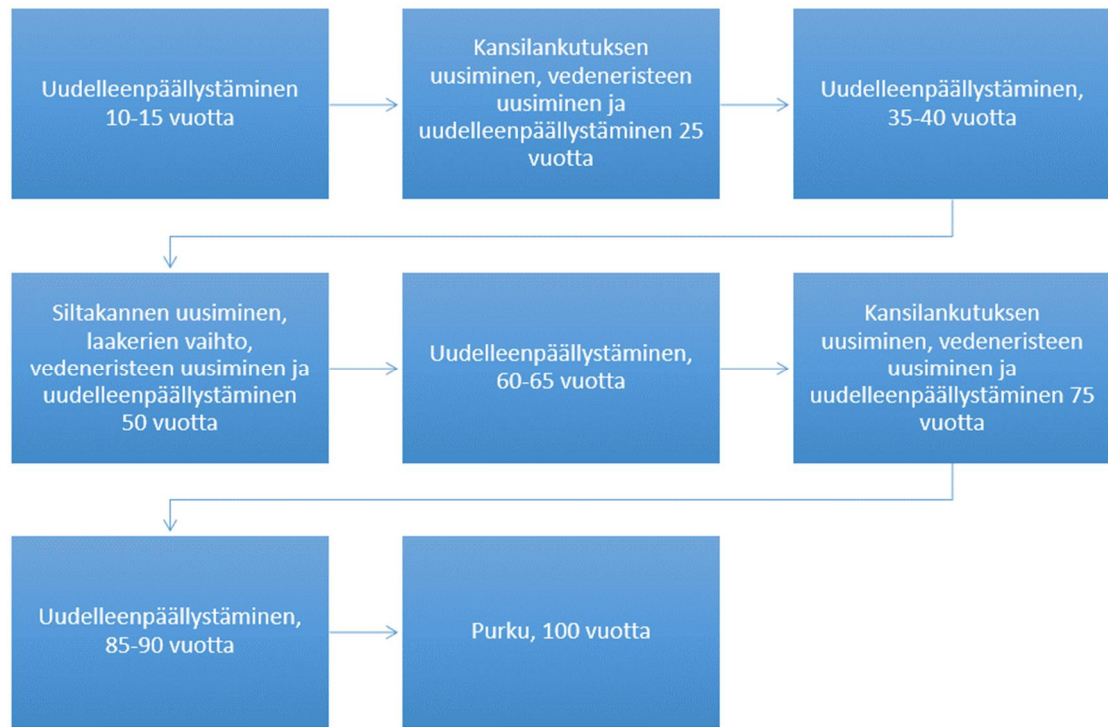


- Helposti uusittavat rakenteet 25 vuotta. Tähän ryhmään kuuluvia rakenteita ei tässä tutkimuksessa tarkasteltu.
- Kannet 20 vuotta. Tähän ryhmään kuuluu tässä tutkimuksessa sillan kansirakenteen se osa, joka on suoraan vedeneristeen alla.
- Kumilevy- tai kumipesälaakerit 50 vuotta. Tähän ryhmään kuuluu tässä tutkimuksessa sillan kumilevylaakerit.
- Vedeneristys, mastiksieristys 30 vuotta.

Edellä mainittujen toimenpiteiden lisäksi siltojen asfalttipäällystekerrokset kuluvat ja ne uusitaan yleensä 10-15 vuoden välein. Samalla uusitaan päällysteen saumaukset.

### **5.1.2 Toimenpiteet keskimääräisen elinkaaren aikana**

Edellisessä kappaleessa esitetyt puusillan keskimääräisen elinkaaren toimenpiteet on koottu uusimisvälien perusteella ja asetettu aikajanelle kuviossa 7. Uudelleenpäällystäminen tehdään sillan elinkaaren aikana yhteensä 7 kertaa, siltakansi uusitaan laakereineen kerran ja kansilankutus kahdesti. Silta puretaan 100 vuoden käyttöiän päätteeksi, kuljetetaan jätteenkäsittelyyn ja purkujäte hävitetään asianmukaisesti. Kun kansilankutus uusitaan, joudutaan uusimaan myös sillan kaiteet, eli kaiteet uusitaan sillassa yhteensä 3 kertaa.



KUVIO 7. Toimenpiteet puusillan keskimääräisen elinkaaren aikana.

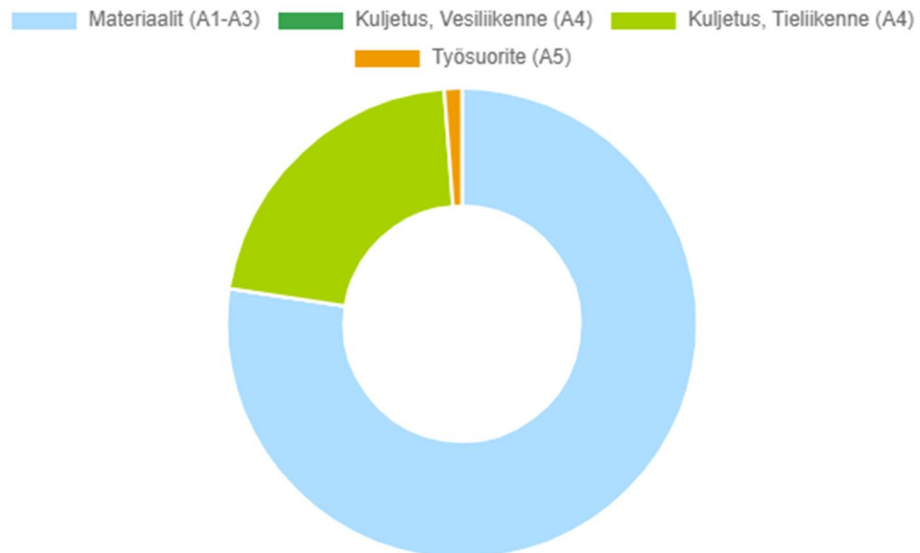
Liimapuisella laattasillalla toimenpiteet ovat muuten samat, mutta koska laattasillassa ei ole uusittavaa kansilankutusta, vaan laattarakenteen päällä vedeneriste ja asfaltti, jää kaksi kansilankutuksen uusimiskertaa pois. Vedeneriste ja päällysteet kuitenkin uusittiin samat 7 kertaa. Kaiteet uusittiin kerran.

### 5.1.3 Elinkaaren aikaiset laskennalliset päästöt, palkkisilta

Liimapuisen palkkisillan rakennusvaiheen päästöt olivat laskennan mukaan 51 895 kgCO<sub>2</sub>ekv. Päästöistä suurin osa aiheutui rakennusmateriaalien päästöistä, joita oli 40 156 kgCO<sub>2</sub>ekv (77 %). Toiseksi suurin päästölähde olivat tieliikenteen kuljetukset, 11 106 kgCO<sub>2</sub>ekv (21 %). Loput päästöistä, 633 kgCO<sub>2</sub>ekv aiheutui työsuoritteista (kuvio 8).

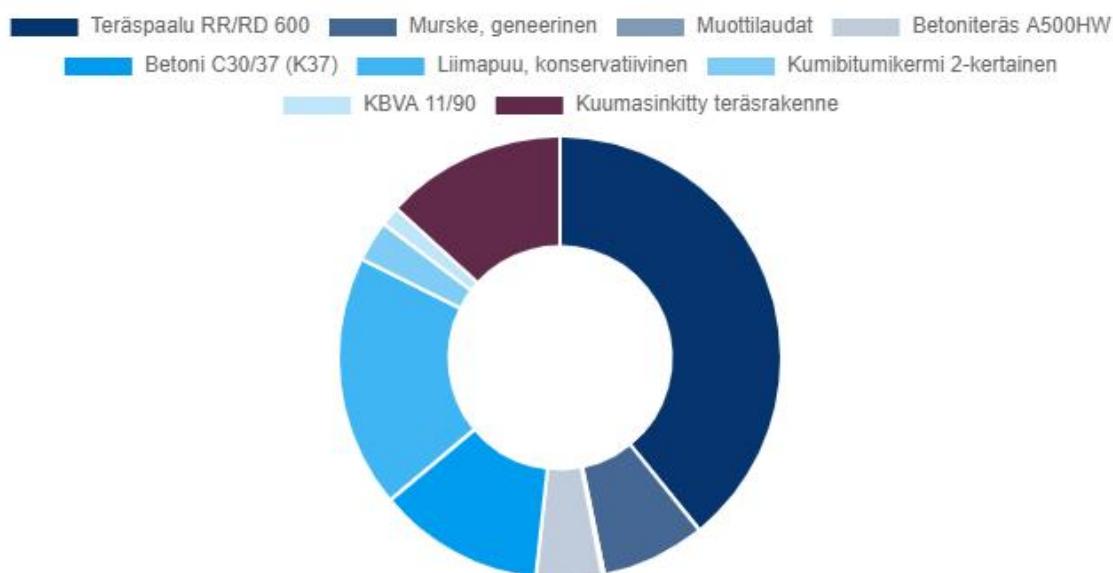
Palkkisillan koko elinkaaren päästöt olivat 103 220 kgCO<sub>2</sub>ekv, eli kun koko sillan elinkaari otettiin huomioon, päästöt olivat noin 99 % suuremmat kuin ainoastaan rakennusvaihetta tarkastellessa. Koko elinkaaren päästöistä 78 870 kgCO<sub>2</sub>ekv (76 %) aiheutui materiaaleista ja niiden loppukäsittelystä, 22 305 kgCO<sub>2</sub>ekv

(22 %) aiheutui tieliikenteen kuljetuksista ja loput 2045 kgCO<sub>2</sub>ekv työsuoritteista. Näiden arvojen välinen suhde on suurinpiirtein sama kuin pelkästään rakennusvaiheen päästöjä tarkasteltaessa. Sillan koko elinkaaren päästö kansineliötä kohden oli 688 kgCO<sub>2</sub>ekv /m<sup>2</sup>.



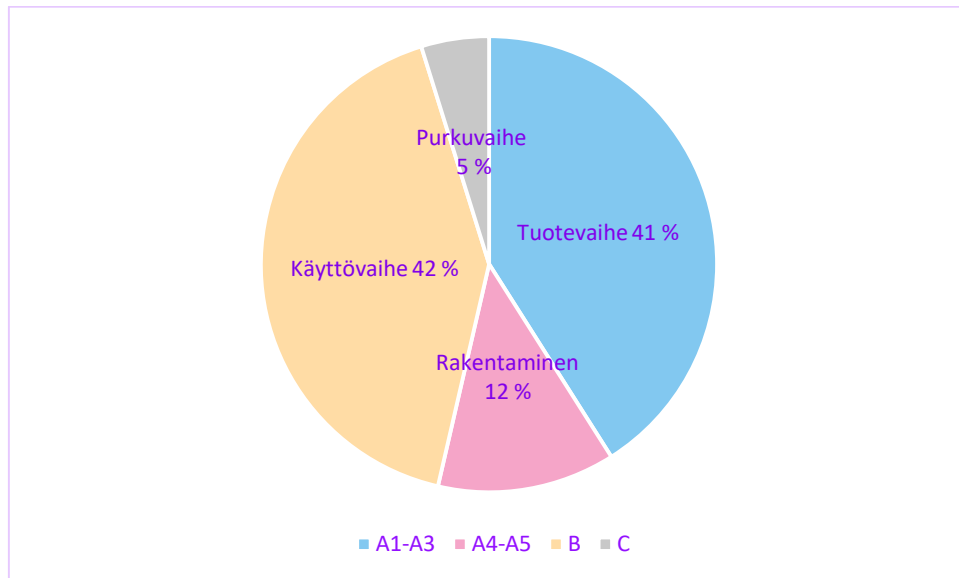
KUVIO 8. Liimapuupalkkisillan päästöjen muodostuminen rakennusvaiheessa piirakkakuvaajana (ZeroInfra). Päästöistä valtaosa muodostui rakennusmateriaalien päästöistä.

Liimapuisen palkkisillan tuotepäästöt muodostuivat suurelta osin teräsrakenteiden päästöistä (kuvio 8). Teräspaalut, kuumasinkitty teräsrakenne, sekä betoni-teräs tuottivat 39 %, 13 % sekä 5 % koko elinkaarenaikaisista päästöistä, eli yhteensä 57 % sillan päästöistä aiheutui teräsrakenteista. Itse päärakennusmateriaalin eli liimapuun päästöt olivat 18 % koko päästöistä.



KUVIO 9. Liimapuisen palkkisillan tuotepäästöjen muodostuminen materiaaleittain elinkaaren aikana. (ZeroInfra).

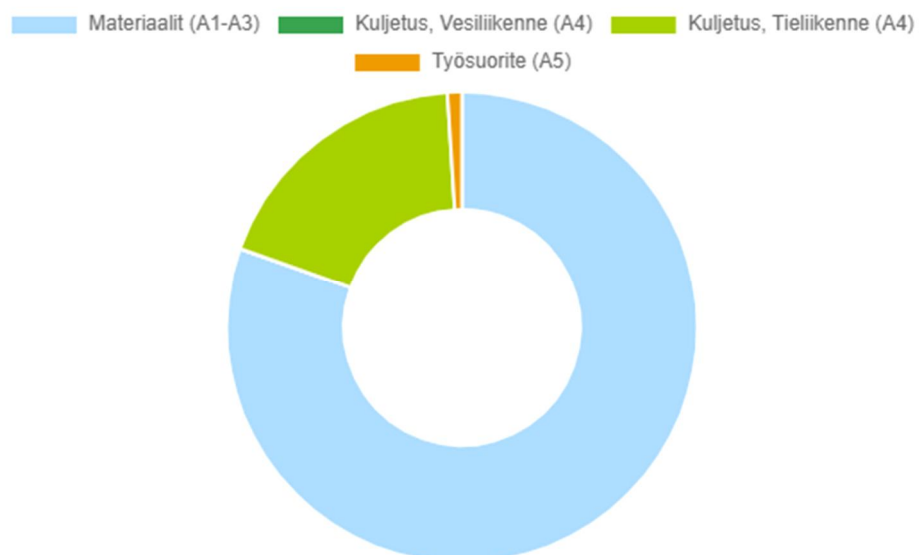
Kun elinkaaripäästöjä tarkastellaan moduuleittain, kuviosta 10 voidaan havaita, että merkittävimmät hiilidioksidipäästöt syntyvät tuotevaiheen (A1-A3), joka käsittää materiaalien valmistuksesta aiheutuvat päästöt sillan rakennusvaiheessa sekä käyttövaiheen (B-moduulit) aikana. Käyttövaiheeseen on laskettu mukaan korjaustuotteiden tuotevaihe, eli materiaalien valmistus, niiden kuljetus siltapaikalle sekä vanhan rakenteen purkutyöt. Käyttövaiheeseen sisältyvät päästöt syntyvät sillan elinkaaren aikana eli sen jälkeen, kun alkuperäinen rakenne on valmistunut. Sillan valmistuttua, eli moduulien A1-A5 jälkeen, silta on tuottanut noin 53 % koko elinkaaren ennustetusta hiilidioksidijalanjäljestään.



KUVIO 10. Elinkaaripäästöjen muodostuminen moduuleittain.

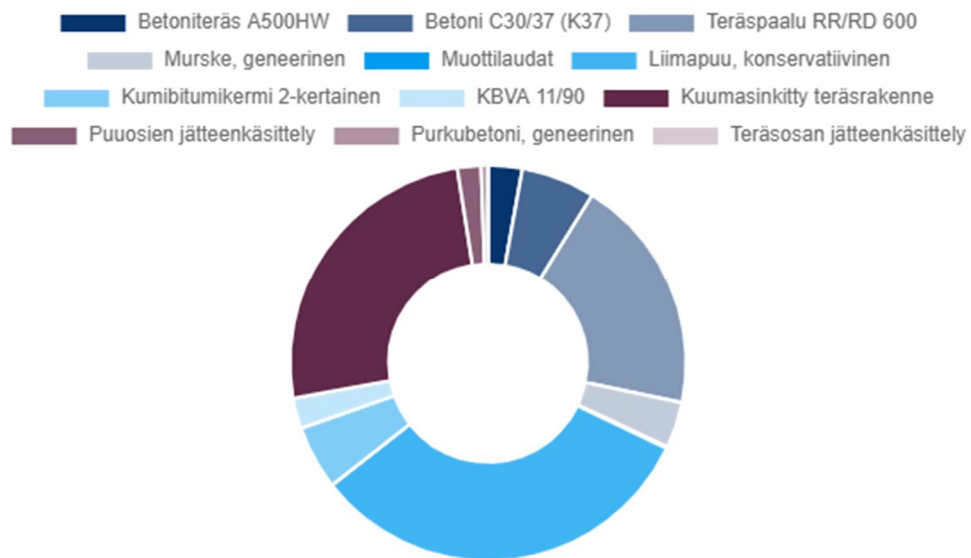
#### 5.1.4 Elinkaaren aikaiset laskennalliset päästöt, laattasilta

Laattasilalla kokonaispäästöt olivat 65 271 kgCO<sub>2</sub>ekv, rakennusmateriaalien päästöt 52 506 kgCO<sub>2</sub>ekv (80 %), kuljetusten päästöt 12 134 kgCO<sub>2</sub>ekv (19 %) ja loput 633 kgCO<sub>2</sub>ekv työsuoritteista (kuvio 11).



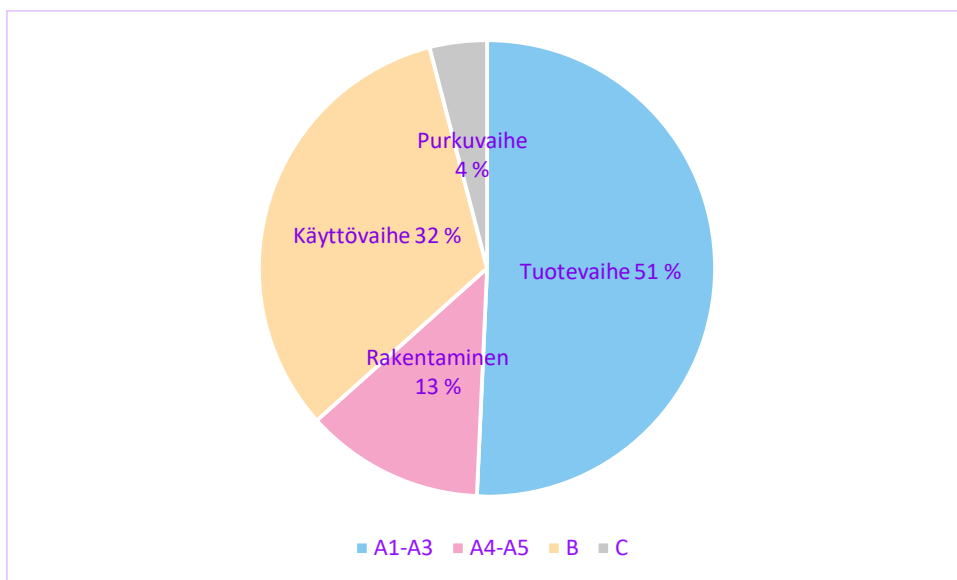
KUVIO 11. Liimapuisen laattasilan päästöjen muodostuminen rakennusvaiheessa piirakkakuvaajana (Kuva: ZeroInfra). Päästöistä valtaosa muodostui rakennusmateriaalien päästöistä.

Laattasillalla vastaavasti elinkaaripäästöt olivat 101 864 kgCO<sub>2</sub>ekv, eli kun koko sillan elinkaari otettiin huomioon, päästöt olivat noin 63,3 % suuremmat kuin ainoastaan rakennusvaihetta tarkastellessa. Koko elinkaaren päästöistä 75 406 kgCO<sub>2</sub>ekv (74 %) aiheutui materiaaleista ja niiden loppukäsittelystä, 25 806 kgCO<sub>2</sub>ekv (25 %) aiheutui tieliikenteen kuljetuksista ja loput 653 kgCO<sub>2</sub>ekv työsuoritteista. Laattasillalla ei ollut uusittavaa kansilankutusta, joten sen uusimisen ja purkamisen työvaiheet jäivät pois.



KUVIO 12. Puisen laattasillan päästöjen muodostuminen materiaaleittain elinkaaren aikana. (Zerolnfra).

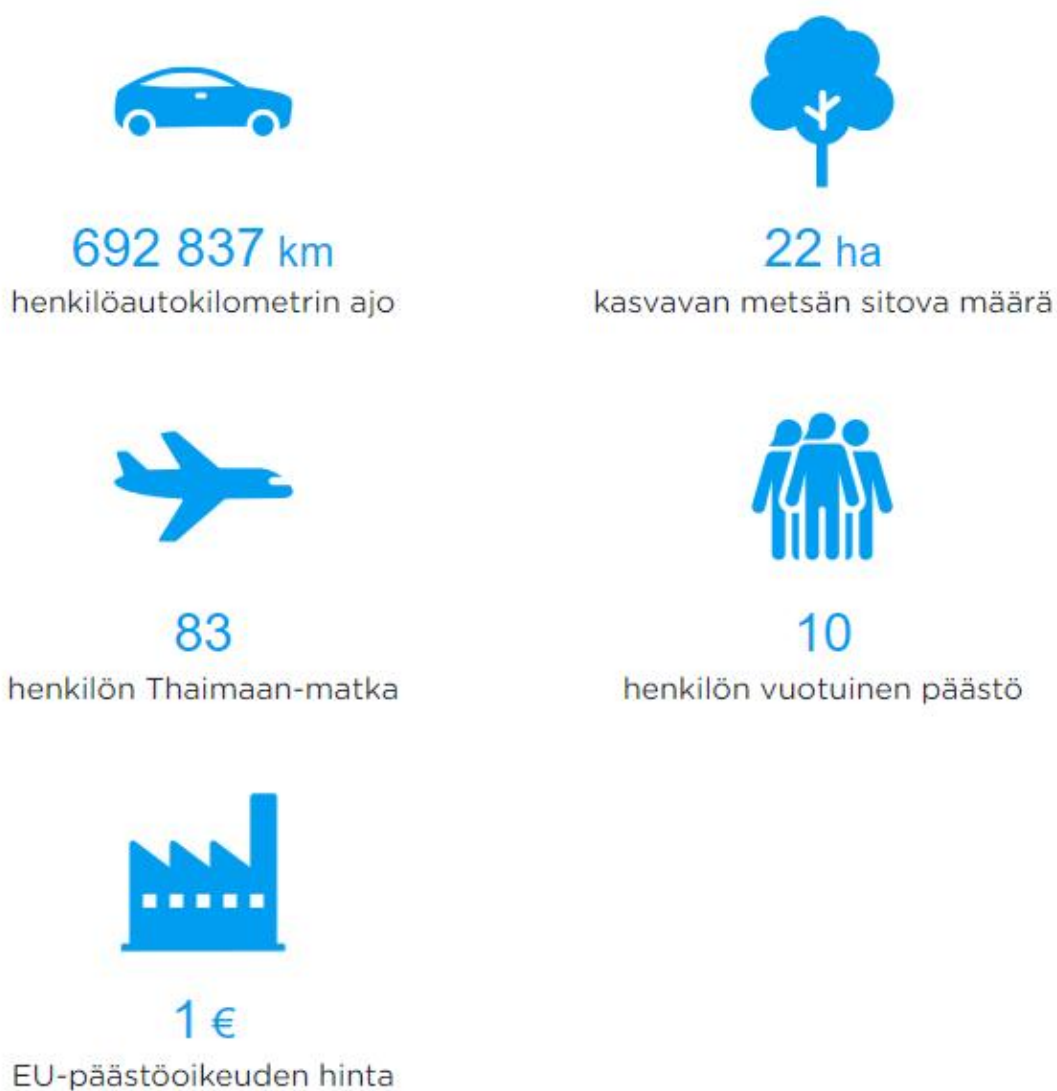
Liimapuisen laattasillan tuotepäästöistä merkittävimmän osan muodostivat teräsrakenteet (kuvio 12), kuten liimapuisella palkkisillallakin. Osuus kokonaispäästöistä oli kuitenkin pienempi, kuin palkkisillalla. Teräspaalut, kuumasinkitty teräsrakenne, sekä betoniteräs tuottivat 19 %, 25 % sekä 3 % koko elinkaarenaikaisista päästöistä, eli yhteensä 47 % sillan päästöistä aiheutui teräsrakenteista. Itse pääarakennusmateriaalin eli liimapuun päästöt olivat 32 % koko päästöistä.



KUVIO 13. Elinkaaripäästöjen muodostuminen moduuleittain.

Kun elinkaaripäästöjä tarkasteltiin moduuleittain, kuviosta 13 voitiin havaita, että merkittävimmät hiilidioksidipäästöt syntyivät tuotevaiheen (A1-A3) aikana. Seuraavaksi suurin päästölähde oli sillan käyttövaihe (B-moduulit). B-moduulissa eli käyttövaiheen aikana syntyvät päästöt olivat noin kolmannes koko sillan elinkaaren päästöistä. Sillan valmistuttua, eli moduulien A1-A5 jälkeen, silta on tuottanut noin 64 % koko elinkaaren arvioidusta hiilidioksidijalanjäljestään.

## Päästöjen havainnollistaminen



KUVA 11. Puisen laattasillan koko elinkaaren päästöjen havainnollistaminen (ZeroInfra)

Kuvassa 11 on esitetty päästöjen suuruusluokka, kun sitä vertaa esimerkiksi keskivertohenkilöautolla ajoon, edestakaiseen Thaimaan matkaan tai keskivertosuomalaisen hiilijalanjälkeen. Kuvassa on myös esitetty, kuinka monta hehtaaria metsää tulisi kasvaa, jotta vastaava määrä hiilidioksidia saataisi sidottua ilmasta.



## 5.2 Liittorakenteinen teräspalkkisilta

Teräs- tai liittopalkkisillat ovat useimmiten vesistösiltoja, joita on Taitorakennerekisterihaun mukaan (29.12.2021) 61,9 % teräsrakenteisista silloista. Seuraavaksi yleisin käyttötarkoitus terässilloille on alikulkukäytävä, joka tarkoittaa siltaa, jossa ajoneuvoliikenne ylittää kevyen liikenteen väylän. Näiden siltojen osuus kaikista teräsrakenteisista silloista oli 21,5 %. Näissä luvuissa on huomioitu myös teräkiset putkisillat, joita ei tässä tutkimuksessa tarkasteltu, mutta joita on lukumäärällisesti paljon.



KUVA 12. Kuva liittorakenteisesta teräspalkkisillasta. (Betoni-lehti 3/2015, 69).

Teräspalkkisilloilla liikenne kulkee eri materiaalista rakennetun kannen päällä. Kansi on useimmiten rakennettu joko puusta tai teräksestä. Teräspalkkisiltaa rakentaessa teräspalkit tulevat työmaalle valmiina, ja ne nostetaan paikalleen. Mikäli betoninen kansi valetaan teräspalkkeihin jäykästi kiinni siten, että teräs ja betoni kantavat sillalle aiheutuvan rasituksen yhdessä, puhutaan liittorakenteisesta sillasta eli toisin sanoen liittopalkkisillasta. Kannen voi rakentaa joko tehtaalla valmistettavista kansielementeistä, jotka kiinnitetään teräspalkkeihin, tai

sen voi rakentaa paikalla. Tässä tutkimuksessa tarkasteltavassa sillassa oli paikalla valettava betonikansi.

### **5.2.1 Rakenneosat ja niiden käyttöiät**

Väyläviraston selvityksen (Taitorakenteiden ylläpidon toimintalinjat 2015, 50) mukaan terässillan rakenneosien kokemusperäiset uusimisvälit ovat seuraavat:

- Reunapalkit, suolarasitus 40 vuotta, ei suolarasitusta, 50 vuotta. Tähän ryhmään kuuluvat tässä tutkimuksessa sillan teräsbetonisen kansilaatan reunapalkit.
- Kalottilaakerit 70 vuotta. Tähän ryhmään kuuluu tässä tutkimuksessa sillan laakerit.
- Vedeneristys, kumibitumikermi 40 vuotta. Tähän ryhmään kuuluu tässä tutkimuksessa sillan vedeneriste.

Edellä mainittujen toimenpiteiden lisäksi siltojen asfalttipäällystekerrokset kuluvat ja uusitaan yleensä 10 - 15 vuoden välein. Samalla uusitaan päällysteen saumaukset ja ajoratamerkinnot.

Tutkimukseen valittu liittorakenteinen terässilta on säänkestävää (tuotenimi COR-TEN) terästä, joka ei tarvitse säännöllistä pintakäsittelyä. Teräs muodostaa lisäaineidensa avulla materiaalin pinnalle suojaavan kerroksen, kun teräs altistuu sääolosuhteille. (Ruukki, n.d.)

### **5.2.2 Toimenpiteet keskimääräisen elinkaaren aikana**

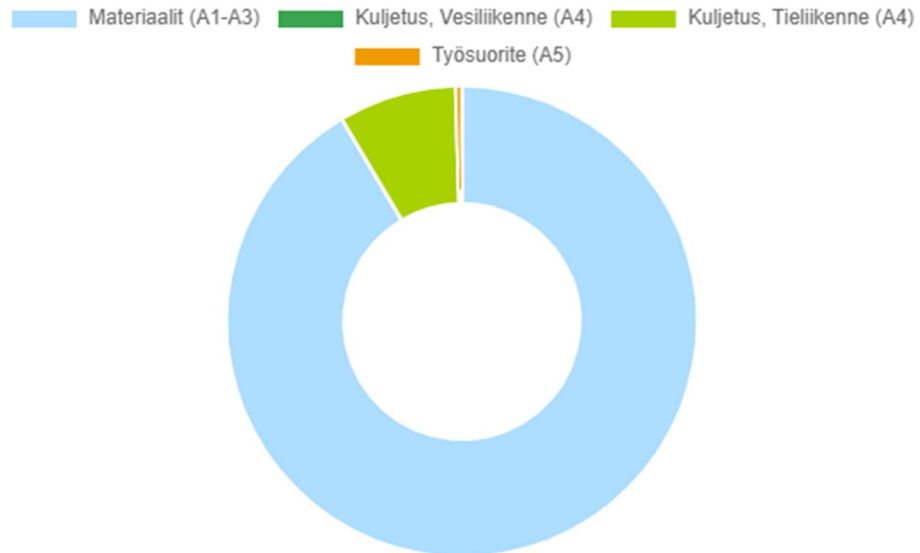
Edellisessä kappaleessa esitetyt teräspalkkisillan keskimääräisen elinkaaren korjaustoimenpiteet on esitetty kuviossa 14. Aika korjaustoimenpiteen suorittamiseen on laskettu sillan valmistumisesta. Uudelleenpäällystäminen tehdään sillan elinkaaren aikana yhteensä seitsemän kertaa, vedeneriste uusitaan kaksi kertaa ja laakerit uusitaan kerran. Reunapalkit ja kaiteet uusitaan sillan käyttöiän aikana kahdesti. Silta puretaan 100 vuoden käyttöiän päätteeksi. Tällöin purkujäte kuljetetaan jätteenkäsittelyyn ja hävitetään asianmukaisesti.



KUVIO 14. Toimenpiteet keskimääräisen elinkaaren aikana.

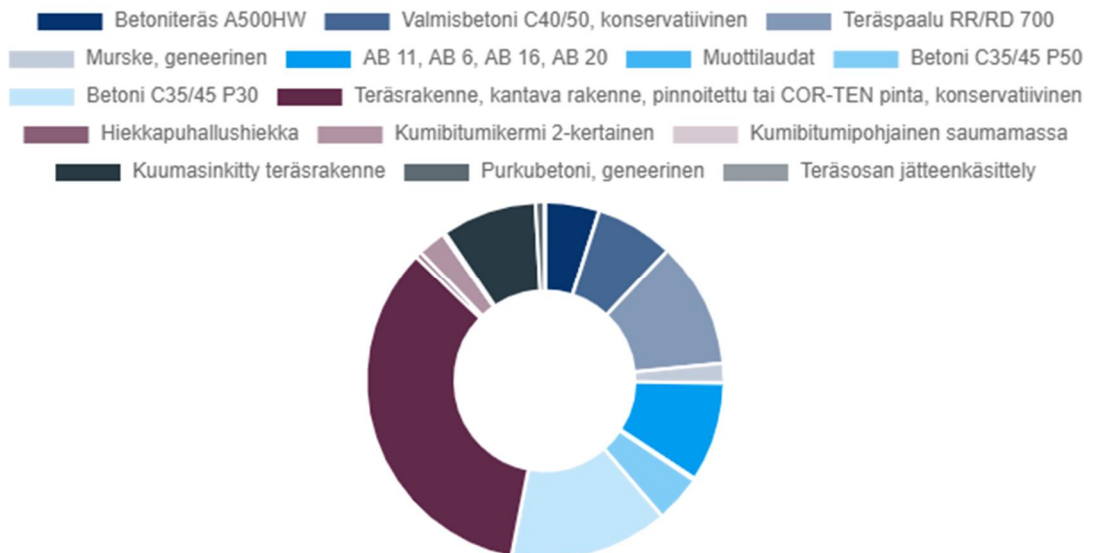
### 5.2.3 Elinkaaren aikaiset laskennalliset päästöt

Teräspalkkisillan rakennusvaiheen päästöt olivat laskennan mukaan 157 402 kgCO<sub>2</sub>ekv. Päästöistä 144 015 (91 %) aiheutui materiaaleista, 12716 kgCO<sub>2</sub>ekv (8 %) tieliikenteen kuljetuksista ja loput 672 kgCO<sub>2</sub>ekv työsuoritteista. Kuviossa 15 on esitetty sama tieto piirakkakuvaajana.



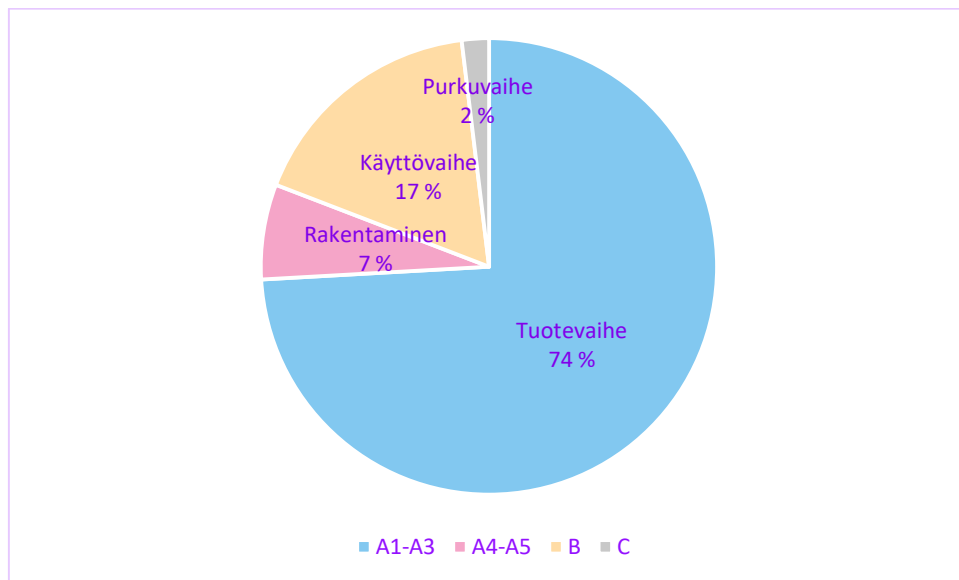
KUVIO 15. Teräspalkkisillan päästöjen muodostuminen rakennusvaiheessa (Kuva: Zerolnra). Päästöistä valtaosa muodostui rakennusmateriaalien päästöistä.

Sillan koko elinkaaren päästöt olivat 197 357 kgCO<sub>2</sub>ekv, eli kun huomioitiin sillan koko elinkaari, päästöt olivat noin 25,4 % suuremmat kuin ainoastaan rakennusvaihetta tarkastellessa.



KUVIO 16. Teräksisen liittopalkkisillan päästöjen muodostuminen materiaaleittain elinkaaren aikana. (Kuva: Zerolnra).

Teräksisen liittopalkkisillan tuotepäästöistä merkittävimmän osan muodostivat odotetusti teräsrakenteet (kuvio 16). Teräksen päästöistä 11 % aiheutui teräs-paaluista, 5 % aiheutui betoniteräksistä, 34 % aiheutui kantavasta rakenteesta ja 9 % kuumasinkitystä teräsrakenteesta, eli kaiteista. Yhteensä päästöistä teräksestä peräisin oli 59 %. Seuraavaksi merkittävin päästölähde oli betoni, joka aiheutti sillan päästöistä yhteensä 25 %. Muiden tuotepäästöjen osuus koko sillan elinkaaripäästöistä oli vähäinen, ja esimerkiksi uudelleenpäällystäminen asfaltti-betonilla ja bitumipohjaisen vedeneristeen uusiminen aiheuttivat päästöistä vain 13 %, vaikka päällysteitä uusittiin sillan elinkaaren aikana peräti seitsemän kertaa. Pintarakenteet uusittiin kahdesti.



KUVIO 17. Elinkaaripäästöjen muodostuminen moduuleittain.

Kun elinkaaripäästöjä tarkasteltiin moduuleittain, kuviosta 17 voitiin havaita, että merkittävimmät hiilidioksidipäästöt syntyivät tuotevaiheen (A1-A3) aikana, josta aiheutui peräti 74 % sillan koko elinkaaren aikaisista päästöistä. Sillan valmistuttua, eli moduulien A1-A5 jälkeen, silta on tuottanut noin 81 % koko elinkaaren arvioidusta hiilidioksidijalanjäljestään. Seuraavaksi suurin päästölähde oli sillan käyttövaihe (B-moduulit) ja kolmanneksi suurimmat päästöt aiheutuivat kuljetuksista ja rakennustöistä. C-moduulissa eli purkuvaiheessa muodostui sillan päästöistä enää 2 %. Purkuvaiheeseen otettiin huomioon myös päarakennusmateriaalien hävitys.

## Päästöjen havainnollistaminen



KUVA 13. Liittorakenteisen teräspalkkisillan koko elinkaaren päästöjen suuruusluokan havainnollistaminen (ZeroInfra).

Kuvassa 13 on esitetty päästöjen suuruusluokka, kun sitä vertaa esimerkiksi keskivertohenkilöautolla ajoon, edestakaiseen Thaimaan matkaan tai keskivertosuomalaisen hiilijalanjälkeen. Kuvassa on myös esitetty, kuinka monta hehtaaria metsää tulisi kasvaa, jotta vastaava määrä hiilidioksidia saataisi sidottua ilmasta.

### 5.3 Paikallavalettu teräsbetoninen laattasilta

Teräsbetoninen laattasilta on Suomessa paljon käytetty siltatyyppejä. Laattasilta on kustannuksiltaan edullinen varsinkin pienillä jännemitoilla ja sen rakentamistapa on selkeä. Laattasilta on käyttökelpoinen varsinkin risteysilloissa, kun käytettävissä olevaa tilaa ei pystysuunnassa rakenteelle ole paljoa (Pulkkinen ym. 2018, 199). Kuvassa 14 on esitetty risteysilta.



KUVA 14. Teräsbetoninen laattasilta.

Teräsbetoninen laattasilta rakennetaan yleensä kokonaan siltapaikalla. Siltaa varten rakennetaan muotit, joiden sisään asennetaan betoniteräksiset ja muut silta-avusteet suunnitelmien mukaan. Tämän jälkeen sillan kansi valetaan betonista.

### 5.3.1 Rakenneosat ja niiden käyttöiät

Väyläviraston selvityksen (Taitorakenteiden ylläpidon toimintalinjat 2015, 50) mukaan teräsbetonisen sillan rakenneosien kokemusperäiset uusimisvälit ovat seuraavat:

- Reunapalkit, suolarasitus 40 vuotta, ei suolarasitusta, 50 vuotta. Tähän ryhmään kuuluvat tässä tutkimuksessa sillan teräsbetonisen kansilaatan reunapalkit.
- Kalottilaakerit 70 vuotta. Tähän ryhmään kuuluu tässä tutkimuksessa sillan laakerit.
- Vedeneristys, kumibitumikermi 40 vuotta. Tähän ryhmään kuuluu tässä tutkimuksessa sillan vedeneriste.

Edellä mainittujen toimenpiteiden lisäksi siltojen asfalttipäällystekerrokset kuluvat ja uusitaan yleensä 10-15 vuoden välein. Samalla uusitaan päällysteen saumaukset.

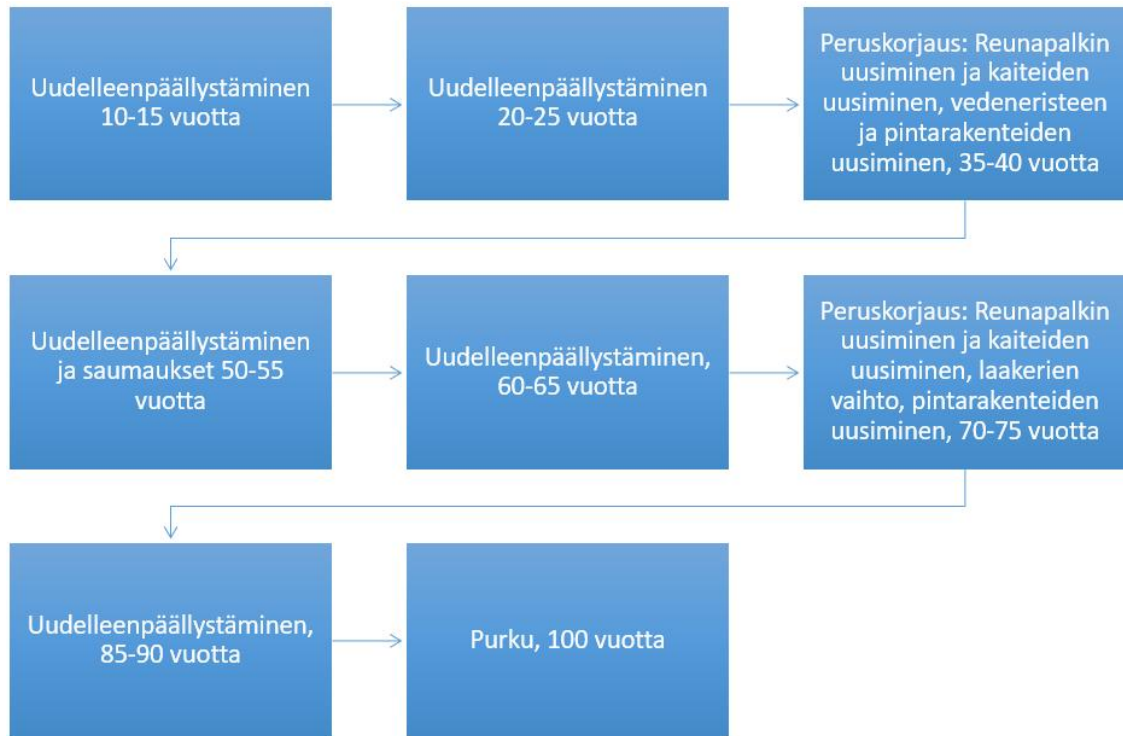
Kuten alalla yleisesti tiedetään, teräsbetonista siltaa saatetaan joutua myös paikkaamaan tai pinnoittamaan käyttöikänsä aikana, mikäli betonissa havaitaan vaurioita. Tällaisten vaurioiden määrän ennustaminen on haasteellista, sillä vauriot aiheutuvat usein työvirheistä sillan rakennusaikana tai käyttö- ja kunnossapitovirheistä sillan elinkaaren aikana. Esimerkki työvirheestä voi olla esimerkiksi betonivalun aikana tapahtuva virhe betonin tiivistyksessä, joka aiheuttaa rakenteeseen valuvian ja kunnossapitovirhe voi olla esimerkiksi törmäysvaurio, joka on aiheuttanut betonirakenteeseen lohkeaman. Tässä tutkimuksessa paikallisille korjauksille ei ole vaurioiden epävarman luonteen vuoksi arvioitu korjausten lukumäärää tai betonitilavuutta.

### 5.3.2 Toimenpiteet keskimääräisen elinkaaren aikana

Teräsbetonisen laattasillan keskimääräinen elinkaari on esitetty alla olevassa kuviossa 18. Aika korjaustoimenpiteen suorittamiseen on laskettu sillan valmistumisesta. Uudelleenpäällystäminen tehdään sillan elinkaaren aikana yhteensä seit-



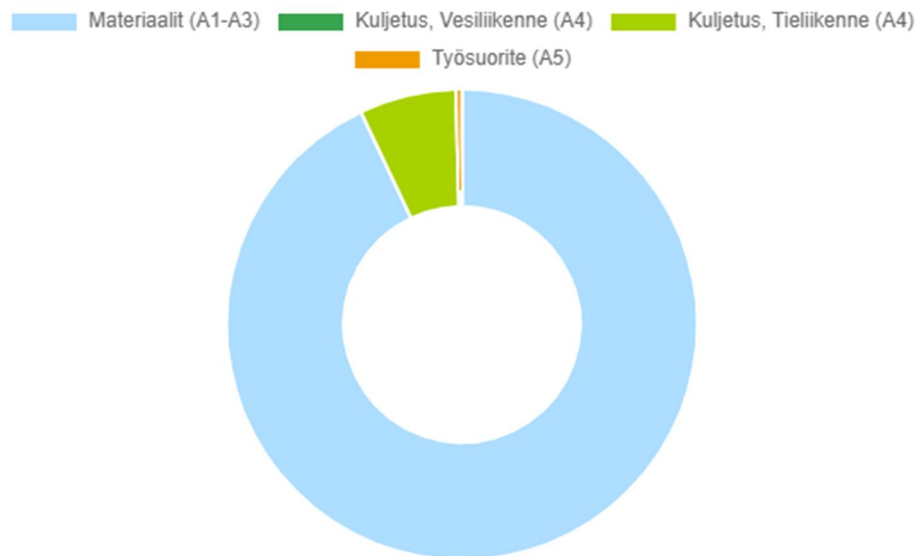
semän kertaa, vedeneriste uusitaan kaksi kertaa ja laakerit uusitaan kerran. Reunapalkit ja sillankaiteet uusitaan sillan käyttöiän aikana kahdesti. Silta puretaan 100 vuoden käyttöiän päätteeksi, kuljetetaan jätteenkäsittelyyn ja purkujäte hävietään asianmukaisesti.



KUVIO 18. Toimenpiteet betonisen laattasillan keskimääräisen elinkaaren aikana.

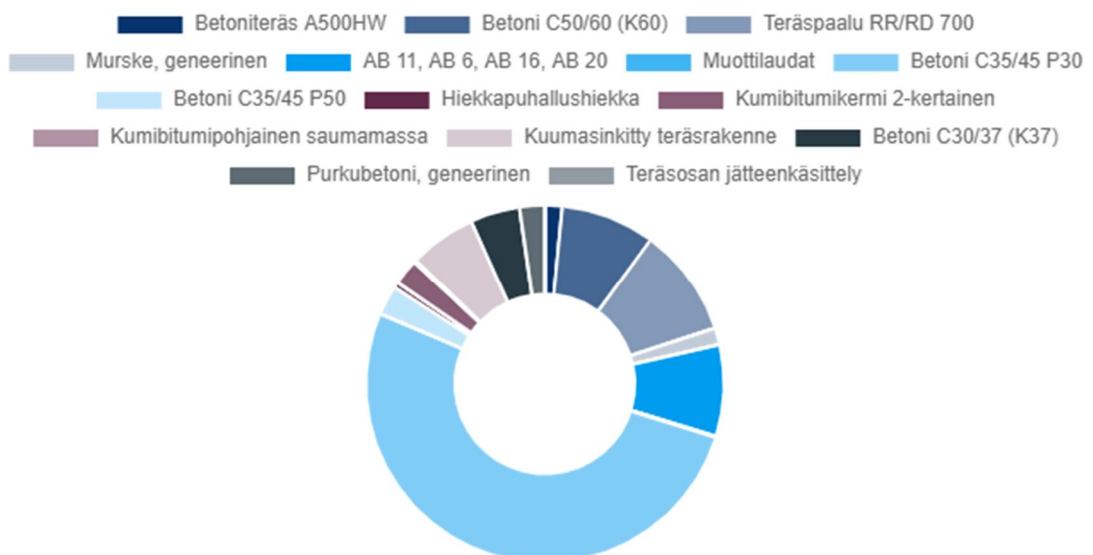
### 5.3.3 Elinkaaren aikaiset laskennalliset päästöt

Teräsbetonisen laattasillan rakennusvaiheen päästöt olivat laskennan mukaan 179 640 kgCO<sub>2</sub>ekv. Päästöistä 166 951 (93 %) aiheutui materiaaleista, 11951 kgCO<sub>2</sub>ekv (7 %) tieliikenteen kuljetuksista ja loput 722 kgCO<sub>2</sub>ekv työsuoritteista. Kuviossa 19 on esitetty sama tieto piirakkakuvaajana.



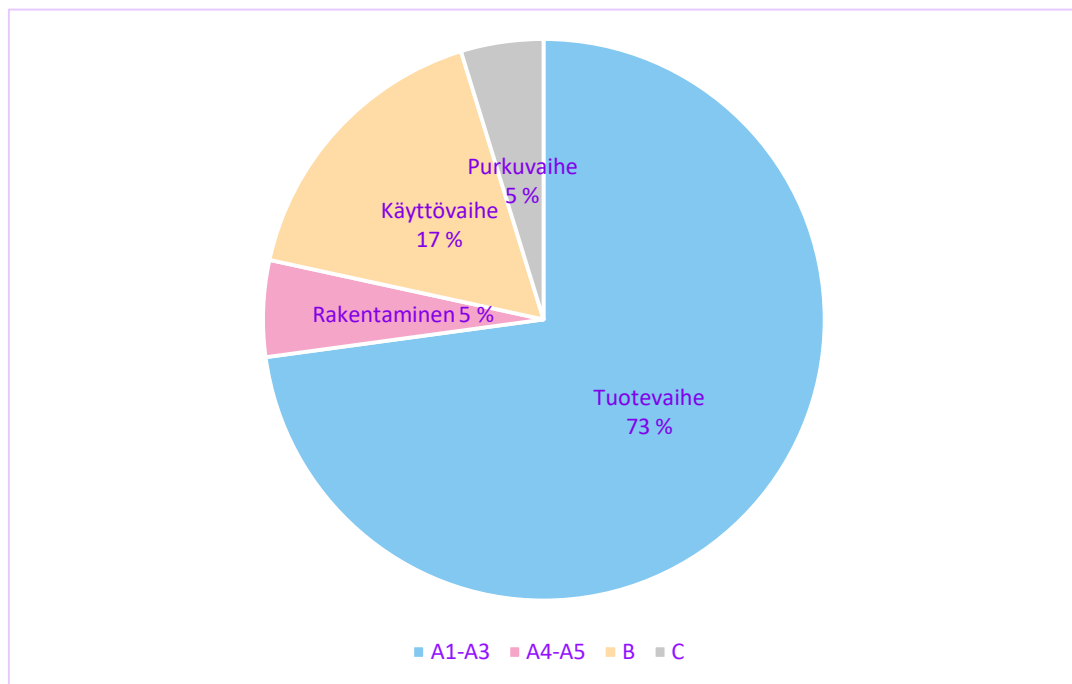
KUVIO 19. Teräsbetonisen laattasillan päästöjen muodostuminen koko elinkaari huomioiden. (Kuva: ZeroInfra). Päästöistä valtaosa muodostui rakennusmateriaalien päästöistä.

Sillan koko elinkaaren päästöt puolestaan olivat 229 161 kgCO<sub>2</sub>ekv, eli kun huomioitiin sillan koko elinkaari, päästöt olivat noin 27,6 % suuremmat kuin ainoastaan rakennusvaihetta tarkastellessa.



KUVIO 20. Teräsbetonisen laattasillan päästöjen muodostuminen materiaaleittain elinkaaren aikana. (Kuva: ZeroInfra).

Teräsbetonisen laattasillan tuotepäästöistä merkittävimmän osan muodosti odotetusti rakennebetoni (kuvio 20). Sen osuus sillan päästöistä oli yhteensä 68 %. Mikäli betoniteräkset lasketaan mukaan, oli teräsbetonirakenteen yhteispäästö 70 % koko elinkaaripäästöistä. Muiden tuotepäästöjen osuus koko sillan elinkaaripäästöistä oli vähäinen, ja esimerkiksi uudelleenpäällystäminen asfalttibetonilla ja bitumipohjaisen vedeneristeen uusiminen aiheuttivat päästöistä vain 11 %, vaikka päällysteitä uusittiin sillan elinkaaren aikana peräti seitsemän kertaa ja pintarakenteita kaksi.



KUVIO 21. Elinkaaripäästöjen muodostuminen moduuleittain.

Kun elinkaaripäästöjä tarkasteltiin moduuleittain, kuviosta 21 voitiin havaita, että merkittävimmät hiilidioksidipäästöt syntyivät tuotevaiheen (A1-A3) aikana, josta aiheutui peräti 73 % sillan koko elinkaaren aikaisista päästöistä. Sillan valmistuttua, eli moduulien A1-A5 jälkeen, silta on tuottanut noin 78 % koko elinkaaren arvioidusta hiilidioksidijalanjäljestään. Seuraavaksi suurin päästölähde oli sillan käyttövaihe (B-moduulit), josta aiheutui noin kuudennes sillan koko elinkaaren päästöistä. Pienimmät päästöt aiheutuivat itse rakentamisesta (moduulit A4-A5) sekä purkuvaiheesta (C-moduuli).

## Päästöjen havainnollistaminen



KUVA 15. Sillan koko elinkaaren päästöjen suuruusluokan havainnollistaminen. Henkilöinä laskennassa on käytetty keskivertosuomalaista, jonka vuotuisen päästön sisältyvät myös edellä mainitut Thaimaan matkat.

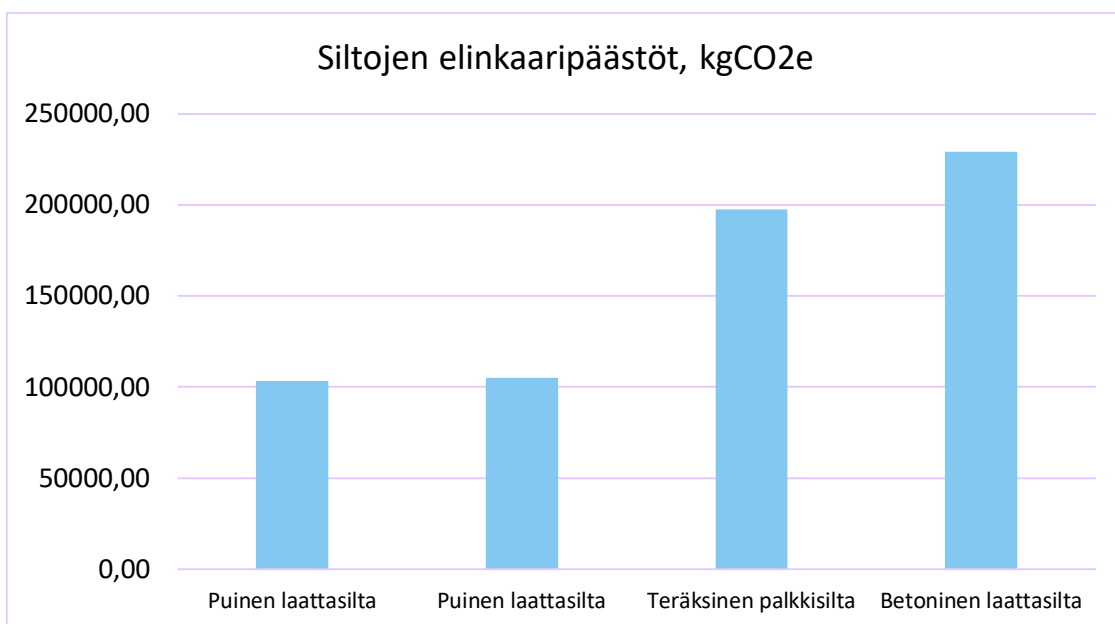
### 5.4 Yhteenveto ja siltatyyppien keskinäinen vertailu

Kuviossa 22 on esitetty eri siltatyyppien rakennusvaiheen päästöt. Siltatyypeistä eniten päästöjä syntyi teräsbetonisen laattasillan rakentamisesta ja elinkaaresta. Liittorakenteisen teräspalkkisillan päästöt olivat noin 15 % pienemmät. Puusilltojen ilmastopäästöt olivat vain noin kolmasosa kahden muun päärakennusmateriaalin silloista. Kun huomioon otettiin 100 vuoden elinkaari, ero puusillan hyväksi

kapeni, mutta oli silti noin kaksinkertainen (kuvio 23). Liimapuisen palkkisillan päästöistä vain reilu puolet aiheutui rakennusaikana, mikä johtuu varmasti osittain siitä, että puusillan kantavan rakenteen suunnittelukäyttöikä on vain puolet siitä (50 vuotta) mitä betonisella tai teräspalkkisillalla suunnittelukäyttöikä on (100 vuotta).

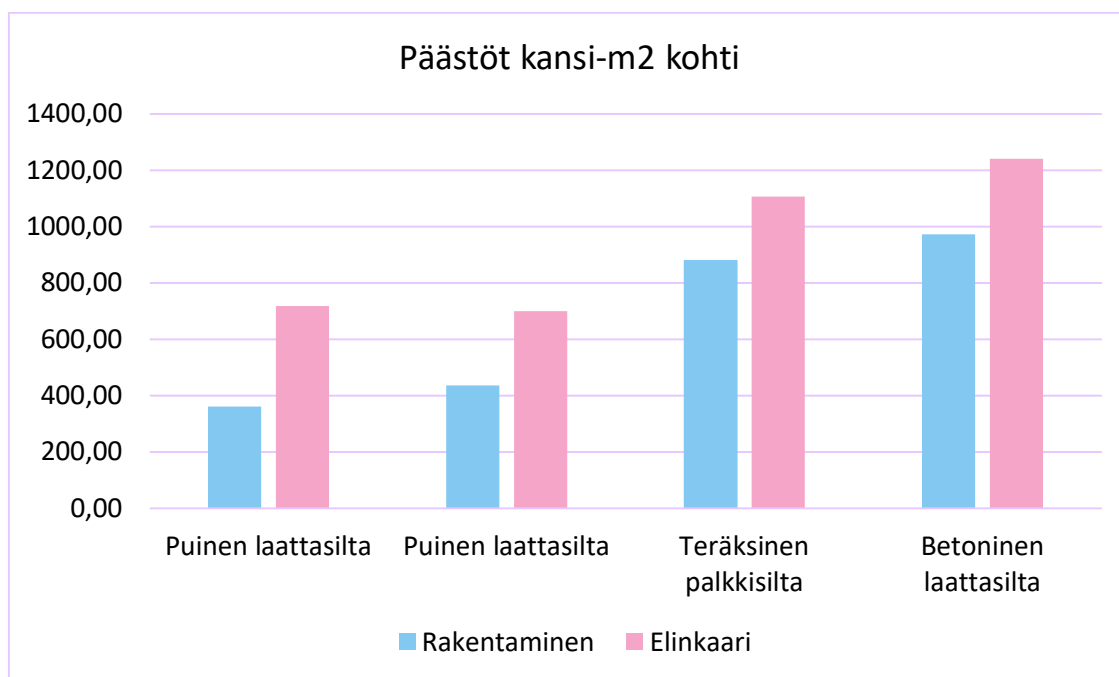


KUVIO 22. Siltojen rakennusmateriaaleista ja rakentamisesta aiheutuneet päästöt siltatyypeittäin.



KUVIO 23. Siltojen elinkaaripäästöt siltatyypeittäin.

Teräsbetonisella sillalla oli muista silloista poiketen siirtymälaatat. Siirtymälaattojen päästöiksi arvioitiin yhteensä 9415 kgCO<sub>2</sub>e. Lisäksi teräspalkkisillalla ei ollut mukana erillistä teräsbetonista valettua alusrakennetta toisin kuin muilla silloilla, vaan valittu siltatyyppe oli sellainen, jossa laakerit lepäävät paalujen päällä. Sillan kansi on laakereiden varassa siis suoraan paaluilla.



KUVIO 24. Siltojen elinkaaripäästöt esitettynä kansineliometriä kohden. Yksikkö kgCO<sub>2</sub>e.

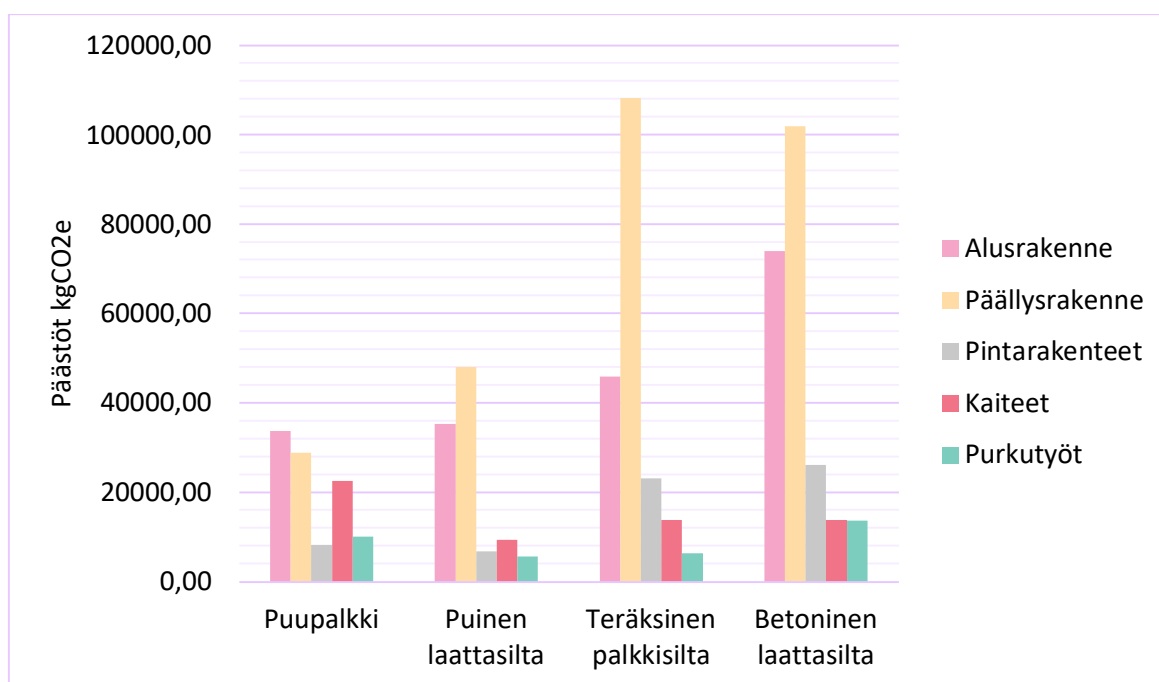
Kun päästöjä tarkasteltiin kansineliometriä kohti (kuvio 24), siltatyyppeien keskinäinen järjestys pysyy muuttumattomana, mutta erot kapenevat hieman. Tämän voidaan olettaa johtuvan siitä, että teräsbetonisella laattasilalla kansirakenne oli tarkasteltavista silloista suurin, 185 m<sup>2</sup>. Teräksisessä palkkisillassa kansineliöitä oli 178,5 m<sup>2</sup>, liimapuisessa palkkisillassa 150 m<sup>2</sup> ja liimapuisessa laattasillassa 144 m<sup>2</sup>.

Eri siltaratkaisujen kootut päästöt on taulukossa 4 jaoteltu rakentamisen päästöihin, korjausten ja purkamistoimenpiteiden päästöihin sekä elinkaaren päästöihin. Taulukosta voidaan havaita, että elinkaaren päästöistä suurempi osa muodostuu korjaus- ja purkamistoimenpiteistä liimapuusta rakennetuissa silloissa, kuin teräsbetonista ja teräspalkeista rakennetuissa silloissa.

TAULUKKO 4. Eri siltatyypin kootut päästöt jaoteltuna siltatyypeittäin.

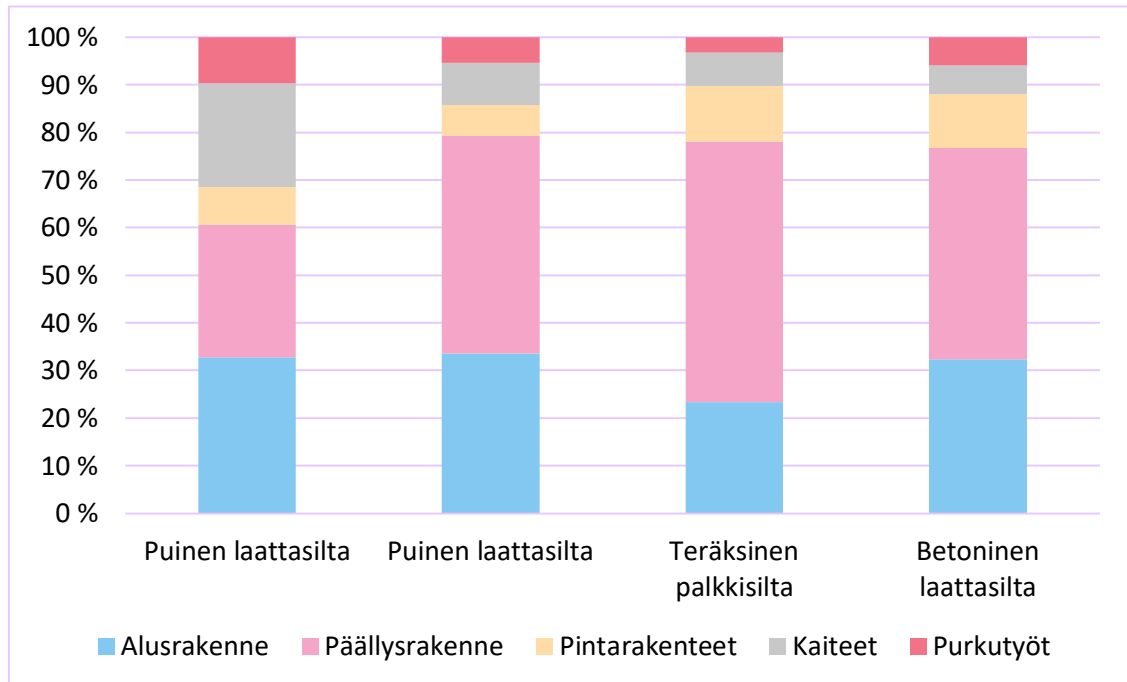
Siltatyyppi	Rakentamisen päästöt	Korjaukset ja purkaminen	Elinkaaren päästöt
Liimapuinen palkkisilta	51 895 kgCO <sub>2</sub> e	51 325 kgCO <sub>2</sub> e	103 220 kgCO <sub>2</sub> e
Liimapuinen laattasilta	65 271 kgCO <sub>2</sub> e	39 694 kgCO <sub>2</sub> e	104 965 kgCO <sub>2</sub> e
Teräspalkkisilta	157 402 kgCO <sub>2</sub> e	39 955 kgCO <sub>2</sub> e	197 357 kgCO <sub>2</sub> e
Teräsbetoninen laattasilta	179 640 kgCO <sub>2</sub> e	49 522 kgCO <sub>2</sub> e	229 162 kgCO <sub>2</sub> e

Kun tarkasteltiin, mistä päästöt muodostuivat päärakenneosittain (kuvio 25), havaittiin, että teräspalkkisillalla ja teräsbetonisella sillalla alusrakenteen päästöt ovat suuremmat kuin puisilla silloilla. Tässä merkittävä ero tulee paalukoosta: Puusilloilla käytettiin halkaisijaltaan 600 mm teräspaalua, joka raudoitettiin ja valettiin täyteen betonia. Teräsbetonisella ja teräspalkkisillalla paalun halkaisija oli 700 mm päällysrakenteen suuremman massan vuoksi. Suurempi paalu vaatii myös enemmän betonitäyttöä.



KUVIO 25. Eri siltatyypin elinkaaripäästöt esitetty päärakenneosittain.

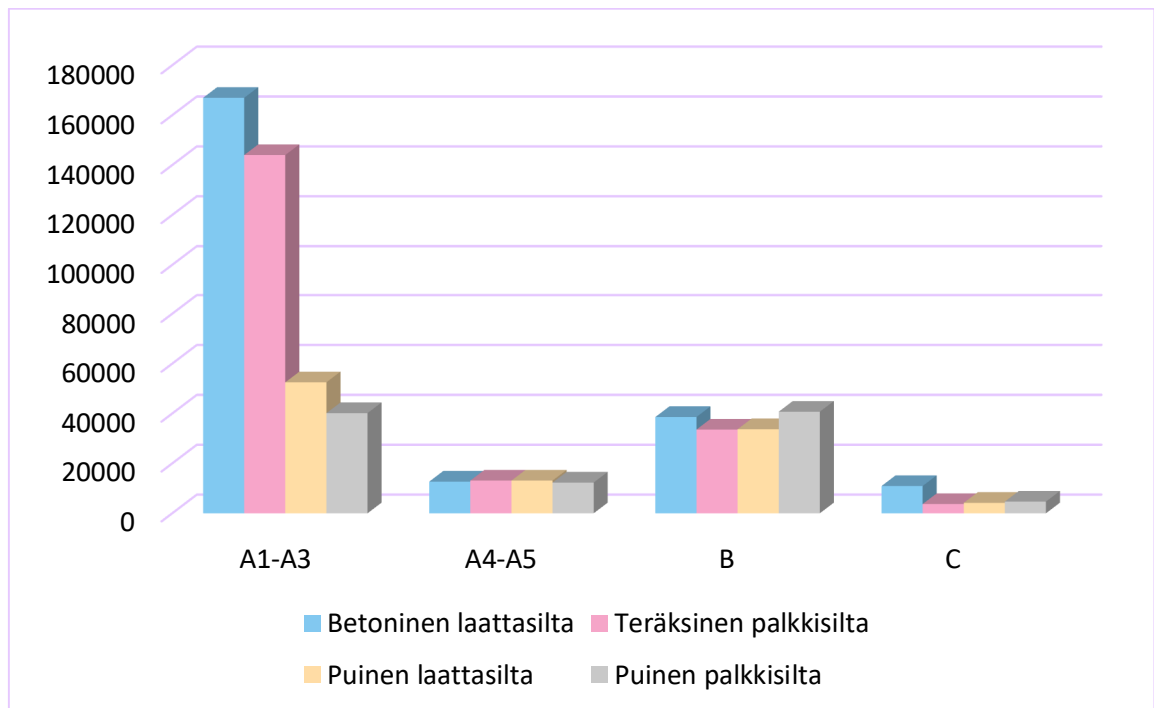
Kuviosta 25 voidaan myös havaita, että liimapuisella palkkisillalla purkutöiden osuus on muita vertailtuja siltoja suurempi, sillä sen kansirakenne uusittiin useaan kertaan sillan elinkaaren aikana. Todellisuudessa hyväkuntoista kansilankutusta ei välttämättä ole tarpeen uusia yhtä usein. Purkutöihin on taulukossa laskettu kaikki purkutyt, myös elinkaareen, eli rakenteiden uusimiseen, sisältyvät purkutyt.



KUVIO 26. Elinkaaripäästöjen muodostuminen päärakenneosittain, prosentuaalinen osuus.

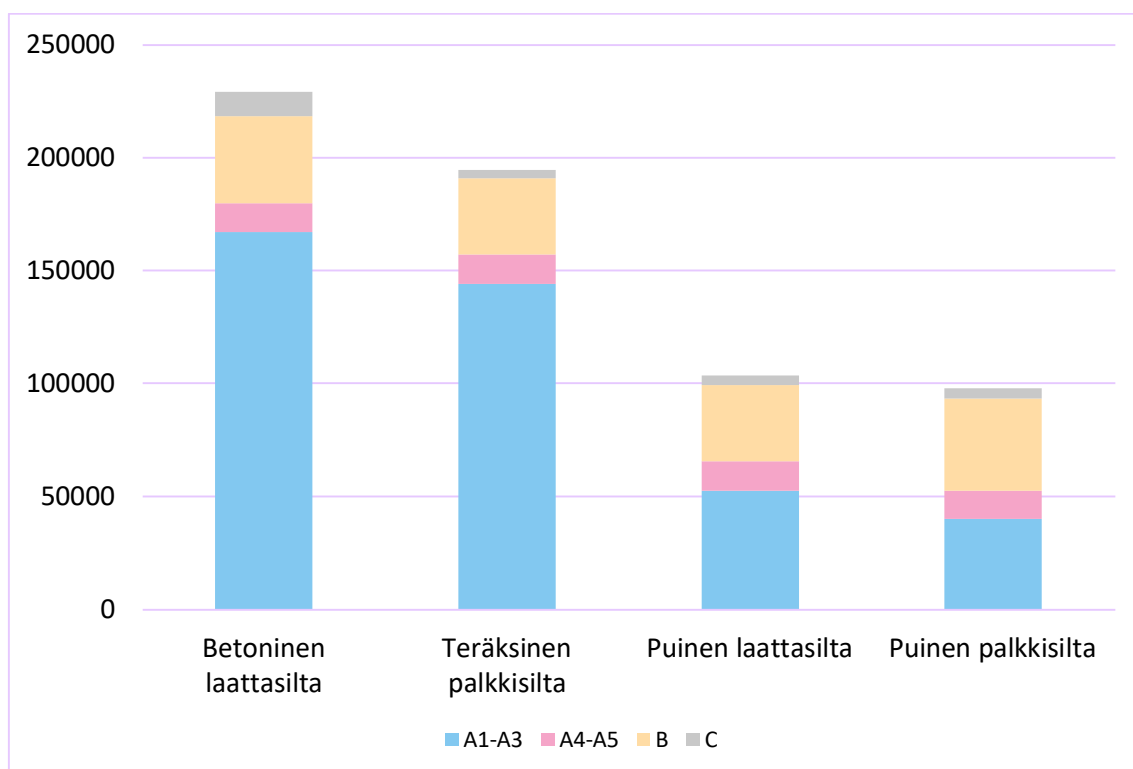
Kun tarkastellaan elinkaaripäästöjen prosentuaalista osuutta siltatyypeittäin (kuvio 26), puusilloilla alusrakenteesta aiheutuu päästöistä yli kolmasosa, vaikka tässä tutkimuksessa ei alusrakenteille oletettu tehtävän toimenpiteitä rakennusvaiheen jälkeen. Alusrakenteen materiaalit ovat kuitenkin raskaita rakennusmateriaaleja, betonia ja terästä, mikä selittää myös päästöjen suurta osuutta. Teräsbetonisella laattasilalla päällysteiden määrä oli suhteellisesti hieman suurempi kuin muissa, sillä teräsbetonisillalla oli kahden ajoradan lisäksi myös kevyen liikenteen väylä, joten sillalla päällystettävää pinta-alaa oli enemmän kuin kolmessa muussa siltavaihtoehdossa.





KUVIO 27: Päästöt moduuleittain. Yksikkö kgCO<sub>2</sub>e.

Kun tarkastellaan päästöjä moduuleittain rinnakkain (kuvio 27), voidaan havaita, että siltatyypeittäin moduulipäästöissä suurimmat erot syntyvät rakennusmateriaalien valmistuksesta (A1-A3). Käytönaikaiset (B) ja esimerkiksi kuljetusten (A4-A5) päästöt ovat kaikilla silloilla melko samansuuruiset riippumatta päärakennusmateriaalista. Vaikka betonisella ja teräksisellä sillalla kuljetusten massa on suurempi, tulee puurakenteisilla silloilla kuljetuksia yhteensä elinkaaren aikana enemmän. Nämä toimenpiteet johtavat suurin piirtein yhtä suuriin kuljetuspäästöihin. Massojen vaikutus havaitaan kuitenkin purkuvaiheessa (C), jossa massaltaan raskain betonirakenne, aiheuttaa selvästi muita päärakennusmateriaaleja suuremmat ilmastopäästöt.



KUVIO 28: Päästöt siltatyypeittäin jaettuna moduuleihin.

Kuviossa 28 on puolestaan esitetty, miten suuri osa absoluuttisista päästöistä aiheutui kullakin sillalla eri moduulien aikana. Sillan rakentamisvaiheen moduulit (A-moduuli) on jaettu tuotevaiheeseen (A1-A3) sekä rakentamisvaiheeseen (A4-A5) havainnollisemman tarkastelun mahdollistamiseksi.

## 6 ELINKAARIPÄÄSTÖJEN SUHDE INVESTOINTIPÄÄSTÖIHIN

Usein rakentamissuunnitteluvaiheessa keskitytään laskemaan ainoastaan rakennushankkeen hiilijalanjälkeä, eikä huomioon oteta sillan koko elinkaarta. Siltojen keskimääräinen elinkaari kuitenkin tunnetaan kohtuullisen hyvin, joten myös elinkaaripäästöt olisivat kohtuullisen helposti laskettavissa. Tämän tutkimuksen perusteella erityyppisillä silloilla elinkaaren (moduulit A-C) päästöjen suhde pelkän rakentamisajan (moduulit A1-A5) päästöihin vaihtelee merkittävästi siltatyypistä riippuen. Ero korostuu varsinkin kevyempiä ja sitä kautta vähemmän päästöjä aiheuttavia materiaaleja, eli sillanrakennusmaailmassa käytännössä liimapuuta käytettäessä. Terässillalla ja teräsbetonisella laattasillalla koko elinkaaren päästöistä suurin osa syntyi jo rakennusaikana.

Erityyppisillä silloilla päästöjen suuruusluokka vaihtelee suuresti. Vaikka teräsbetonisen laattasillan tai teräspalkkisillan korjaustoimenpiteistä syntyy vain pieni osa koko sillan elinkaaren päästöistä, voidaan huomata, että varsinkin teräsbetonisen laattasillan rakentamisen jälkeen aiheutuvilla päästöillä (49 522 kgCO<sub>2e</sub>) voisi lähestulkoon rakentaa liimapuisen palkkisillan, jonka rakentamispäästö oli 51 895 kgCO<sub>2e</sub>.

### 6.1 Epätarkkuudet

Suurimmat epävarmuustekijät tutkitun kirjallisuuden perusteella ovat työssä yleensä työn rajojen määrittäminen. Rakennusvaiheessa merkittävimmät epävarmuudet ovat lähtötietojen luotettavuus ja vertailtavuus keskenään, eri materiaalien ominaisuudet (mm. valmistustapa, resepti ja muut tuoteominaisuudet vaihtelevat valmistajasta riippuen). Esimerkiksi Marinkovic ym. (2014) toteaa, että vähähiiliseen betoniin lisättävän lentotuhkan päästöjen allokointi on haastavaa, sillä sitä syntyy kivihiilen polton sivutuotteena (Marinkovic ym. 2014, 9).

Kuljetusten osalta kuljetusmatkat sekä kuljetustavasta aiheutuvat päästöt ovat epävarmoja, sillä siinä vaiheessa kun päätös sillan rakentamisesta tehdään, on

mahdotonta tietää, tuleeko rakennustuote lähimmästä mahdollisesta toimituspai-  
kasta, vai tuodaanko se esimerkiksi lentorahdilla Kiinasta. Urakoitsija tilaa tuot-  
teet, ja tulee samalla määrittäneeksi kuljetusmatkat.

Elinkaaren aikaisia epävarmuustekijöitä, joita ei usein voida ennakoida, ovat yl-  
läpitoimenpiteiden epäsäännöllisyys ja materiaalien ennakoitua nopeampi ku-  
luminen käyttöympäristössään ympäristötekijöiden tai muiden tekijöiden vaiku-  
tuksesta. Lisäksi ennakoimattomat vauriot ja ilmaston nopea muuttuminen voivat  
muuttaa rakenteiden korjaustarvetta.

Koska tutkimus toteutettiin eräänlaisena case-tutkimuksena ja siltatyypit päätet-  
tiin valita valmiista silloista, siltatyypit eroavat jonkin verran keskenään esimer-  
kiksi hyötyleveyden tai jännemitan suhteen. Mitat pyrittiin vakioimaan, mutta siitä  
huolimatta päällysteitä ja vedeneristeitä on eri siltatyypeille hieman eri määrä,  
koska siltoja ei haluttu mitoittaa kokonaan uudesta. Tästä syystä siltatyypien  
väliset erot eivät ole puhtaasti kokonaispäästöjä tarkasteltaessa täysin vertailta-  
vissa. Siltatyypeistä palkkisilloilla siltakannen leventäminen saattaa kuitenkin  
muuttaa kantavan rakenteen rakennekorkeutta ja täten määriä suhteessa kan-  
sinieliöihin. Tästä syystä täysin tarkkoja tuloksia olisi mahdollista saavuttaa aino-  
astaan tarkastelussa, jossa samalle siltapaikalle suunniteltaisi täysin samoilla  
reunaehdoilla uusi silta.

Epätarkkuudeksi voidaan laskea myös se, että lähitulevaisuudessa betoniraken-  
tamisen päästöt tulevat todennäköisesti laskemaan, kun päästölaskentojen tulok-  
sia saadaan mukaan päätöksentekoon. Tällä on vaikutusta elinkaaripäästöihin.  
Betonin vähähiilisyysluokittelulla voidaan olettaa olevan samankaltainen vaiku-  
tus, sillä se helpottaa tilaajien mahdollisuuksia valita vähäpäästöisempää beto-  
nia.

Terästeollisuudella on myös kunnianhimoisia vähähiilisyysuunnitelmia, joten  
myös teräsosien hiilipäästöt saattavat jo joidenkin vuosien kuluttua erota merkit-  
tävästi tässä laskennassa käytetyistä päästöistä. (Ollikainen 2020)

Arvio sillanrakentamisessa käytetyistä toimenpiteistä ja työkoneiden aiheutta-  
mista päästöistä on parhaimmillaankin vain arvio. Eri urakoitsijoilla on erilaisia

tapoja toteuttaa vastaavanlainen urakka, ja esimerkiksi nostokalusto saattaa vaihdella saatavuuden mukaan. Tästä syystä tarkkaa päästötietoa on mahdollista laskea etukäteen.

## 6.2 Päästökerrointen suuruusluokkatarkastelu

Laskennassa käytettyjen materiaalien päästökerrointen lähteet on esitetty liitteessä 5, jossa on myös vertailtu hieman eri päästölähteiden suuruusluokkia. Kuljetusten ja maatyökoneiden päästöt on laskettu LIPASTO-työkonetietokannan arvojen mukaan. Tätä työtä varten poimittiin vertailuun arvoja Väyläviraston selvityksen muodostamasta taulukkomuotoisesta tietokannasta vuodelta 2014 (Aulakoski ym. 2014), Rakentamisen päästötietokannasta (co2data.fi), Suomen ympäristökeskuksen selvitykseen (2021) perustuvasta, vielä keskeneräisestä, infrapäästötietokannasta sekä eri tuotteista löytyviä ympäristötietoselosteista.

Talonrakentamisessa käytetään yleisesti Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämää (SYKE) ja kehittämää Rakentamisen päästötietokantaa, jossa on geneerisiä tuotteiden ja palveluiden ominaispäästötietoja (Palvelukuvaus n.d.). Infrarakenusallalla ei ole vastaavasti vakiintunutta päästötietokantaa, mutta sellainen on kehitteillä SYKE:n toimesta (Pesu, J. & Häkkinen, T. 2021).

Päästökertoimissa oli paikoin merkittäviä eroja eri lähteiden välillä varsinkin erityyppisillä betoneilla, joita sillanrakennuksessa käytetään yleisesti. Päästökerrointen suuruusluokka saattaa saman lujuisella betonilla vaihdella jopa 30 % riippuen siitä, onko betoni huokostettua tai pakkasenkestävää betonia vai ei. Koska betonin määrä on kahdessa silloista merkittävä, eron voidaan arvioida vaikuttavan merkittävästi laskennan tuloksiin. Myös betoniterästen päästökertoimissa oli merkittäviä eroja eri lähteiden välillä. Vuoden 2014 päästötiedon perusteella betoniteräksen päästö olisi yli kaksinkertainen verrattuna siihen, mitä Celsan ympäristötietoselosteessa ilmoitetaan. Päästökerrointen valinnassa onkin noudatettava huolellisuutta ja valittava mieluiten mahdollisimman tarkka päästöarvo, mikäli sellainen on saatavilla. Yleiseurooppalaiset päästöarvot saattavat poiketa merkittävästi paikallisten toimijoiden rakennusmateriaalien päästöistä, puhumattakaan yleismaailmallisista päästöarvoista.

Painekyllästetylle puulle ei löytynyt suoraan päästötietoa mistään lähteestä. Tutkimuksessa käytetty arvo on saatu laskemalla ensin painekyllästyksen päästöarvo vähentämä puutavaran päästöarvo painekyllästetyn puutavaran päästöstä (yksikkö kg/kg), jotka löytyvät Rakentamisen päästötietokannasta. Tämän jälkeen on laskettu yhteen painekyllästetyn liimapuun ja painekyllästyksen päästö. Laskennassa käytetty painekyllästetyn puutavaran arvo löytyy liitteestä 5.

## 7 TULOSTEN ANALYSOINTI

Tulosten voidaan katsoa olevan linjassa sen kanssa, mitä oletuksia ja lähtötietoja siltatyypin päästöintensiteetistä jo alun perin oli. Kansim<sup>2</sup>-päästöiltään suurimmat päästöt silloista oli oletetusti teräsbetonisella laattasillalla, joka on myös massaltaan silloista raskain. Siltatyypeistä vähäpäästöisin oli puinen liimapuupalkkisilta, jossa materiaalia on massaltaan selvästi vähiten ja materiaali on käytettyä kuutiota kohden vähäpäästöisempi kuin muut päärakennusmateriaalit teräs ja teräsbetoni.

Tämän tutkimuksen luvussa 1 haarukoitiin erityyppisten siltojen elinkaaren kansineliömetripäästöjä. Aiemmin tehdyissä tutkimuksissa ei oltu huomioitu materiaalien kuljetuksia, ja niissä liittorakenteisen teräspalkkisillan elinpäästöksi saatiin 805 – 995 kgCO<sub>2</sub>e kansineliometriä kohti. Tässä tutkimuksessa liittorakenteisen teräspalkkisillan elinkaaripäästö oli 1106 kgCO<sub>2</sub>e. Teräsbetonirakenteisen sillan päästöksi oli aiemmin tehdyissä tutkimuksissa saatu 733 – 1107 kgCO<sub>2</sub>e, kun tässä tutkimuksessa teräsbetonirakenteisen laattasillan päästö kansineliötä kohti oli 1239 kgCO<sub>2</sub>e. Koska tässä tutkimuksessa lasketut materiaalien kuljetuksesta aiheutuneet päästöt olivat liittorakenteisella teräspalkkisillalla 9 % ja betonisillalla noin 10 % elinkaaren kokonaispäästöistä, voidaan todeta tulosten olevan linjassa Du ym. (2014) tutkimuksen kanssa. Tarkempi erittely on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 5. Vertailun tulokset: Sillan koko elinkaaren päästöt, Du ym. 2014, Rantala 2010, Martikkala 2022.

Tutkimus	Liittorakenteinen teräspalkkisilta	Paikallavalettu teräsbetoninen laattasilta
Du ym. 2014		
▪ Siltatyyppi 1	995 kgCO <sub>2</sub> e	
▪ Siltatyyppi 2	979 kgCO <sub>2</sub> e	
▪ Siltatyyppi 5		1107 kgCO <sub>2</sub> e
Rantala 2010	805 kgCO <sub>2</sub> e	733 kgCO <sub>2</sub> e
Martikkala 2022	1106 kgCO <sub>2</sub> e	1239 kgCO <sub>2</sub> e

On kuitenkin huomattava, että tässä tutkimuksessa ja Rantalan (2010) tutkimuksessa sillat olivat suurin piirtein samankokoisia. Du ym. (2014) tutkimuksessa sillat olivat pidempiä, jolloin myös sillan rakennekorkeus oli suurempi. Syy miksi tässä tutkimuksessa päästöt olivat suurempia verrattuna Rantalan (2010) tutkimukseen, johtuu todennäköisesti erilaisista käytetyistä päästökertoimista. Tässä tutkimuksessa käytettiin esimerkiksi betonille SYKE:n päästötietoselvityksen mukaisia infrabetonien päästöarvoja, jotka ovat geneerisiä betonin päästöarvoja suurempia. Aiemmin laadituissa tutkimuksissa laskentamenetelmät materiaali-päästöille on laadittu edellisen päästölaskentastandardin voimassaoloaikana, joten vaatimukset huomioon otettavista päästöistä saattoivat olla erilaiset.

Toinen kevyt vertailulaskenta tulosten suuruusluokasta tehtiin Norjan väylistä vastaavan viraston Vegvesetin VegLCA -taulukkolaskentaohjelmalla, johon syötettiin samat määrät kuin Zerolnfran laskentaan niille varatuille kohdin. Tulosten keskinäinen suuruusluokkatarkastelu osoittaa tulosten olevan jokseenkin linjassa laskettujen päästöjen kanssa, mutta yleinen suuruusluokka poikkeaa tässä työssä lasketuista jopa kymmeniä prosentteja. Syitä poikkeamiin ovat erilaiset käytetyt päästökertoimet ja systeemin erilainen rajausta. Nämä kaksi vertailua osoittavatkin, kuinka suuri merkitys laskennassa tehdyillä valinnoilla on lopputulosten kannalta.

TAULUKKO 1. Vertailun tulokset: VegLCA, sillan rakentamisesta aiheutuneet päästöt.

<b>Siltatyyppi</b>	VegLCA ilmastopäästöt	Zerolnfra ilmastopäästöt	Poikkeama
<b>Teräsbetoninen laattasilta</b>	135 379 kgCO <sub>2</sub> e	179 640 kgCO <sub>2</sub> e	44 261 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Teräspalkkisilta, liittorakenteinen</b>	123 087 kgCO <sub>2</sub> e	157 402 kgCO <sub>2</sub> e	34 315 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Liimapuinen laattasilta</b>	53 106 kgCO <sub>2</sub> e	65 270 kgCO <sub>2</sub> e	12 164 kgCO <sub>2</sub> e
<b>Liimapuinen palkkisilta</b>	44 277 kgCO <sub>2</sub> e	51 895 kgCO <sub>2</sub> e	7 618 kgCO <sub>2</sub> e



## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA LISÄTUTKIMUSTARPEET

Elinkaaripäästöjen laskenta on infra-alalla vasta tulossa mukaan yleisiin prosesseihin, ja standardien ja ohjeiden kehitystyö on vielä suurilta osin kesken. Seuraavien viiden vuoden aikana julkaistavat standardit selkeyttävät ja tarkentavat laskentaa. Kokemusta standardien ja ohjeiden käytöstä tarvittaisiin lisää, jotta päästölaskentaprosessista tulisi luonteva osa hanketta. Nykyisellään päästöillä ei ole myöskään minkäänlaisia laatuvaatimuksia hankkeen kilpailutuksessa. Päästölaskennan ja -kriteeristön yleistymisen myötä päästöjen vähentäminen tulee kuitenkin 2020-luvun aikana todennäköisesti merkittävään rooliin myös sillanrakennushankkeissa. Tiedon lisääntyessä menetelmät tarkentuvat ja eri vaihtoehtoista vähähiilisempiä ratkaisuja tullaan todennäköisesti käyttämään enemmän kuin mitä niitä nyt käytetään.

Sillat ovat useimmiten julkisessa omistuksessa, ja julkisissa hankinnoissa budjetti usein määrittää lopulta käytetyn siltaratkaisun. Koska tässä tutkimuksessa keskityttiin ainoastaan hiilidioksidipäästöihin eikä euroihin, säästetyn hiilidioksidikilogramman hinta jäi selvittämättä. Voidaan kuitenkin olettaa, että mitä useammin rakenneosia tulee vaihtaa, sen kalliimmaksi säästetty hiilidioksidikilogramma tulee. Voidaan siis päätellä, että vaikka liimapuinen palkkisilta on laskennan perusteella vähäpäästöisin, se ei välttämättä ole kokonaisedullisin ratkaisu. Koska kyse on julkisista varoista ja päästövähennystoimenpiteet on määritelty hallituksen toimesta, olisi tietoa päästövähennystoimenpiteiden kustannuksia myös tärkeä tutkia. Erilaisten päästövähennystoimenpiteiden merkittävyyttä ja kannattavuutta voisi myös arvioida kustannusten kautta, ja kohdentaa julkiset varat sellaisiin päästövähennystoimenpiteisiin, jotka ovat rakennusalalla tehokkaimpia.

Työmaan päästöjen vaikutukset jätettiin standardin SFS-EN 15643 mukaisesti pois tarkastelusta. Niitä olisi kuitenkin syytä tutkia vielä enemmän, jotta niiden suuruusluokasta saataisiin käsitys. Tässä tutkimuksessa keskityttiin tarkastelemaan erilaisten siltatyyppeiden keskinäisiä eroja, jotta siltojen suunnittelijat ja omistajat tai ylläpitäjät pääsisivät kiinni siihen, millaisista kokonaisuuksista erityyppisillä silloilla päästöt muodostuvat. Rajauksen takia työmaan yhteisiä päästöjä ei

huomioitu. Työmaan päästöt ovat esimerkiksi työmaan perustamisesta aiheutuvat päästöt, työnaikaisten kulkureittien ja apusiltojen rakentamisesta aiheutuvat päästöt, nostotöiden edellyttämät mahdolliset pohjanvahvistustoimenpiteet sekä työkoneiden paikalle toimittaminen ja poisvienti. Myös nostotöissä käytettävien koneiden saatavuus ja liikuteltavuus työmaan aikana vaikuttaa päästöihin. Lisäksi todellisiin toteutuviin päästöihin kuuluvat muun muassa työmaatoimiston ylläpidosta aiheutuvat päästöt ja muut työmaan pyöryksestä aiheutuvat ympäristövaikutukset. Myös työntekijöiden liikkuminen työmaalle ja sieltä pois päivittäin tapahtuu sillanrakentamisen vuoksi jopa pitkienkin matkojen päähän. Kokonaisuuteen vaikuttavia työmaan yhteiskäyttöpäästöjä on suunnittelu- tai rakennuttamispäätöstä tehdessä haastavaa, ellei mahdotonta arvioida ilman tarkempia lisätutkimuksia. Yhtäkään siltaa ei kuitenkaan voida rakentaa ainoastaan sillanrakennusmateriaaleista ilman työmaatoimintoja.

Suomessa on käynnissä päästötön työmaa -sopimus, joka on eräänlainen rakennustyömaiden green deal. (Kestävän kehityksen toimikunta, 2020) Sen tavoitteena on vähentää työkoneiden aiheuttamia päästöjä ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Vaikka työkoneiden päästöjen vaikutus osoitettiin tässä tutkimuksessa vähäiseksi verrattuna rakennusmateriaalien aiheuttamiin päästöihin, työmaatoimintojen päästöistä aiheutuva epävarmuus tutkimustuloksiin vähenee entisestään, kun työkoneiden päästöt pienenevät.

Siltarakenteiden kiertotalouspotentiaalia olisi myös hyvä tutkia laajemmin. Kiertotalousperiaatteiden mukaan tuotteen käytöstä poiston jälkeen on tehokkainta, mikäli tuotetta voidaan käyttää uudelleen samassa käyttötarkoituksessa, eli mitä tiiviimpi silmukka on. Siltaa purkaessa parhaiten ehjänä saadaan talteen sillan palkit. Hyvällä ylläpidolla esimerkiksi teräs- tai liimapuupalkit voisivat ennustetun käyttöiän lopussa olla vielä käyttökelpoisia, ja voisivat saavuttaa esimerkiksi lyhennetyin käyttöiän toisessa siltakohteessa. Seuraava kiertotalouden taso olisi käyttää tuotetta sellaisenaan, mutta toisessa käyttötarkoituksessa. Tällainen käyttötarkoituksen muutos voisi olla esimerkiksi siltapalkin käyttäminen talojen tai toimitilojen rakentamiseen. Mikäli tämä ei ole mahdollista, seuraava kiertotalouden taso olisi materiaalien kierrätys. Koska tässä tutkimuksessa tarkasteltiin paikallavalettavia betonirakenteita, niiden kiertotalouspotentiaali olisi korkeintaan kierrätystasolla. Betonimurskeen käyttöön on kuitenkin lukuisia mahdollisuuksia

materiaalin uudessa elinkaassa. Kiertotaloustietoisuuden ja -ratkaisujen lisääntyessä erilaisia ja uusia siltarakenteiden kiertotalousmahdollisuuksia olisi syytä kartoittaa vielä tarkemmin. Tässä tutkimuksessa tutkittiin ainoastaan uusia rakenteita, mutta esimerkiksi teräspalkkisillan päästöt vähenisivät huomattavasti, mikäli sillalla olisi mahdollista käyttää jo kertaalleen käytöstä poistettuja teräspalkkeja.

## LÄHTEET

- Aulakoski, A., Montin, P., Lydman, P. & Häyrynen, K. 2014. Panospohjaisen CO<sub>2</sub>-laskennan pilotointi väylähankkeessa. Kehä I liittymän parantaminen Kivi-konttien eritasoliittymän kohdalla. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 26/2015. Luettu 28.12.2021. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts\\_2014-18\\_panos-pohjaisen\\_co2-laskennan\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2014-18_panos-pohjaisen_co2-laskennan_web.pdf)
- Airaksinen Matti, yksikönpäällikkö, siltojen omaisuudenhallinta. Haastattelu 8.11.2021.
- Betonijulkisivun kuntotutkimus. 2019. 4. päivitetty painos. Suomen betoniyhdistys ry, julkaisu 42. Helsinki: BY-koulutus Oy.
- Brattebo, H. 2012. ETSI Stage 3. Task Group 4: Life Cycle Assessment of Bridges. Verkkojulkaisu. Luettu 20.1.2022. [http://etsi.aalto.fi/Etsi3/PDF/TG4/BridgeLCA\\_Report.pdf](http://etsi.aalto.fi/Etsi3/PDF/TG4/BridgeLCA_Report.pdf)
- Dinis-Almeida, M., Afonso, M. L. 2015. Warm Mix Recycled Asphalt - a sustainable solution. Journal of Cleaner Production 107, 310-316.
- Du, G., Safi, M., Pettersson, L. ja Karoumi, R. 2014. Life cycle assessment as a decision support tool for bridge procurement: environmental impact comparison among five bridge designs. The international journal of life cycle assessment, Vol.19 (12), 1948-1964.
- ETSI Project Stage III. 2012. Verkkosivu. Luettu 13.8.2021. <http://etsi.aalto.fi/>
- FIGBC Kestävä infra -toimikunta. 2021. Kooste infrarakentamisen päästöläskennasta ja referenssi-kohteista. Pdf-dokumentti. Luettu 13.2.2022. [https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2021/12/Infran-hiilijalanjaljen-arviointimenetelmat-ja-tyokalut\\_FIGBC\\_2021.pdf](https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2021/12/Infran-hiilijalanjaljen-arviointimenetelmat-ja-tyokalut_FIGBC_2021.pdf)
- Ilmatieteen laitos, n.d. Verkkosivu Luettu 16.10.2021. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/suomen-ilmastovyohykkeet>
- IPCC. 2021. Climate Change 2021, The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Verkkojulkaisu. Luettu 13.9.2021. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf)
- Kestävän kehityksen toimikunta, 2020. Päästöttömät työmaat – kestävien hankintojen green deal -sopimus, verkkosivu. Luettu 30.1.2022. <https://sitoumus2050.fi/paastotontyomaa#/>
- Laine A., Raivio T., Jonsson H., Heino A., Klimscheffskij M., Lehtomäki J. 2020. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035. Osa 1. Rakennetun ympäristön hiilielinkaaren nykytila. Taustaraportti. [https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vahahiili\\_seminaaries/raportit\\_lopulliset/rt-raportti-1\\_rakennetun-ympariston-hiilielinkaaren-nykytila\\_final.pdf](https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vahahiili_seminaaries/raportit_lopulliset/rt-raportti-1_rakennetun-ympariston-hiilielinkaaren-nykytila_final.pdf)

Marinkovic, S., Carevic, V. & Dragas J. 2021. The role of service life in Life Cycle Assessment of concrete structures. *Journal of Cleaner Production* 290 (2021)

Ollikainen, M. 2020. Jättilä-investointi vähentää 7 prosenttia Suomen hiilidioksidipäästöistä – SSAB:n investointi ja bisnes ovat mallikappale teknologiateollisuuden kädenjäljestä. *Teknologiateollisuus*. Luettu 14.2.2022. <https://teknologiateollisuus.fi/fi/ajankohtaista/artikkeli/jatti-investointi-vahentaa-7-prosenttia-suomen-hiilidioksidipaastoista>

Pakkala, T. 2020. Assessment of the Climate Change Effects on Finnish Concrete Facades and Balconies. *Civil Engineering*. Tampereen yliopisto. Tampere University Dissertations 204. Väitöskirja. ISBN 978-952-03-1423-1.

Palvelukuvaus. n.d. [co2data.fi](https://co2data.fi)-palvelun palvelukuvaus. Verkkosivu. Luettu 16.2.2022. <https://co2data.fi/docs/Palvelukuvaus.pdf>

Pesu, J. & Häkkinen, T. 2021. Infrarakentamisen CO<sub>2</sub>-päästötietokantatyön tilannekatsaus. Esitysmateriaali. Infrarakentamisen CO<sub>2</sub>-päästötietokantahanke, sidosryhmätilaisuus 1.12.2021. Väylävirasto. Verkkotilaisuus.

Pulkkinen, P., Aalto, O., Laaksonen, A., Rantala, S., Söderqvist, M., Tirkkonen, T., Vilonen, I. ja Åström, G., toim. 2018. Sillat - suunnittelu, toteutus ja ylläpito. RIL 179-2018. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry. ISBN: 978-951-758-629-0.

Päivittyvä ohje betonin alkali-kiviainesreaktion hallitsemiseksi. 2021. 1. painos, 1. versio. Suomen betoniyhdistys ry. Helsinki: By-koulutus Oy. ISBN 978-952-7314-04-3 (e-kirja).

Rajabipour F., Giannini E., Dunant C., Ideker J. & Thomas M. 2015. Alkali-silica reaction: Current understanding of the reaction mechanisms and the knowledge gaps. *Cement and Concrete Research* (76), 130-146.

Rakennusteollisuus, n.d. Verkkosivu. Luettu 17.8.2021. <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Materiaalitehokkuus/>

Rantala, T. 2010. Life Cycle Analysis of three Finnish Standard Bridges. Verkkojulkaisu. Luettu 13.9.2021. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/life\\_cycle\\_analysis\\_of\\_three\\_finnish\\_standard\\_bridges\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/life_cycle_analysis_of_three_finnish_standard_bridges_web.pdf)

Ruukki. n.d. Cor-Ten®. Verkkosivu. Luettu 13.2.2022. <https://www.ruukki.com/fin/building-envelopes/products/facade-claddings/facade-cladding-materials/cor-ten>

Salokangas, L. 2013. ETSI Project. Bridge Life Cycle Optimisation Stage 3. Verkkojulkaisu. Luettu 20.1.2022. [http://etsi.aalto.fi/Etsi3/PDF/Reports/ETSI\\_Stage3.pdf](http://etsi.aalto.fi/Etsi3/PDF/Reports/ETSI_Stage3.pdf)

Sementti ja kasvihuonekaasupäästöt. Betoniteollisuus ry. Luettu 20.1.2022. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/sementti-seosaineiden-kaytto/>

SFS-EN ISO 14040:2006+A1:2020. 2021. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 20.1.2022. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index>

SFS-EN ISO 14044:2006+A1:2018. 2018. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 20.1.2022. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index>

SFS-EN 15643:2021:en. 2021. Sustainability of construction works. Framework for assessment of buildings and civil engineering works. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 20.1.2022. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index>

Shi, C., Qu, B., Provis, J. L. 2019. Recent progress in low-carbon binders. Cement and Concrete Research (122), 227-250.

Statens vegvesen. 2018. Regneverktøyet VegLCA v2.01. Verkkosivu. Luettu 13.2.2022. <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/2616441>

Taitorakennerekisteri. Verkkopalvelu. Siltatietojen hakuja tehty 13.9.2021-1.2.2022. Vaatii käyttöoikeuden. <https://extranet.vayla.fi/taitorakennerekisteri>

Taitorakenteiden ylläpidon toimintalinjat, taustaselvitys. 2015. Verkkojulkaisu. Luettu 8.9.2021. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts\\_2015-26\\_taitorakenteiden\\_yl-lapidon\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2015-26_taitorakenteiden_yl-lapidon_web.pdf)

Tie - ja raitinfraktuurin elinkaariarvioinnin opas. 2020. Verkkojulkaisu. Väyläviraston julkaisuja 64/2020. Luettu 28.1.2022. ISBN 978-952-317-830-4. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj\\_2020-64\\_tie\\_raitinfraktuurin\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2020-64_tie_raitinfraktuurin_web.pdf)

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2019. Tiedote 28.3.2019. Kivihiilen energiakäytön vuonna 2029 kieltävä laki voimaan huhtikuun alussa. Luettu 20.1.2022. <https://tem.fi/-/kivihiilen-energiakayton-vuonna-2029-kieltava-laki-voimaan-huhtikuun-alussa>

Vellamo Mikko, rakennuttajainsinööri, sillanrakennus. Haastattelu 22.12.2021.

Versowood. n.d. Tyyppihyväksytyt sillat. Verkkosivu. Kuvaviite, luettu 13.2.2022. <https://www.versowood.fi/fi/tuotteet/maa-ja-tierakentamisen-tuotteet/tyyppihyvaksytyt-sillat>

Väylävirasto. 2021. Teiden sekä kävelyn ja pyöräilyn väylien talvihoito. Verkkosivu. Luettu 16.10.2021. <https://vayla.fi/kunnossapito/tieverkon-kunnossapito/talvihoito>

Väylävirasto. 2015. Versowood Oy:n ajoneuvoliikenteen laattasilta: käyttö lupa Liikenneviraston töissä. Päätös. Luettu 15.2.2022. [https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/kirjeet/versowood\\_ajoneuvoliikenteen\\_laattasilta\\_kayttolupa\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/kirjeet/versowood_ajoneuvoliikenteen_laattasilta_kayttolupa_web.pdf)

Väylävirasto, n.d. Siltojen tyyppiirustukset. Verkkosivu. Luettu 12.12.2021. [https://julkaisut.vayla.fi/sillat/tyyppiirustukset/vanhat/plp\\_lista.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/sillat/tyyppiirustukset/vanhat/plp_lista.pdf)

Väylävirasto, n.d. Lahottajasienten aiheuttamat vauriot puusilloissa on kartoitettu. Verkkotiedote. Luettu 30.1.2022. <https://vayla.fi/-/lahottajasienten-aiheuttamat-vauriot-puusilloissa-on-kartoitettu>

Yle. 2013. Yrittäjä 76-tonnisen tukkirekan ratissa: Tämä on tulevaisuutta. Verkko uutinen. Luettu 16.2.2022. <https://yle.fi/uutiset/3-6877384>

Ympäristöministeriö. 2019. Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä. Luettu 6.8.2021. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM\\_2019\\_22\\_Rakennuksen\\_vahahiilisyden\\_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisyden_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ympäristöministeriö. 2021. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmastot selvityksestä. Luonnos. Luettu 6.8.2021. <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=0b297461-cdee-4657-9a4e-d2791315257d>

Ympäristöministeriö. n. d. Kysymyksiä ja vastauksia vähähiilisestä rakentamisesta. Verkkosivu. Luettu 12.12.2021. <https://ym.fi/kysymyksiä-ja-vastauksia-vahahiilisesta-rakentamisesta>

Ympäristöministeriö, n. d. Vähähiilinen rakentaminen. Verkkosivu. Luettu 12.12.2021. <https://ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen>

## LIITTEET

## Liite 1. Betonisillan päästölaskennan tulokset

Tunniste	Rakentamismuutos	Matka	Määrä	Yksikkö	Osittaispäästöt			Kokonaisp.
	Nimi				Materiaali	Kuljetus	Työ	
	<b>Alusrakenne</b>							
1311	Paalujen raudoitustyöt betoniteräs A500HW	390,00	2500,00	kg	1050,00	343,85	0,00	1393,85
1321.1212	Teräsputkipaalu RR700	430,00	31,00	jm	20228,31	773,61	71,82	21073,73
1624	Rakennuskaivanto	20,00	300,00	m³ktr	0,00	4109,23	356,00	4465,23
1835	Ympäristäyttö murskeella	20,00	300,00	m³rtr	3150,00	1799,66	188,57	5138,23
1311	Paalujen betonointityöt, betoni C50/60 (K60)	50,00	44,00	m³	17380,00	179,91	11,00	17570,00
4211.14	Sillan maa-/päätytukien betonointityöt, valmisbetoni C35/45 P30	50,00	71,50	m³rtr	23595,00	629,68	17,88	24242,55
4211.1	Sillan päätytukien teline- ja muotittimet	50,00	20,00	m²	16,00	44,08	0,00	60,98
	<b>Päällysrakenne</b>							
4221.1	Paikalla valettavan betonisillan päällysrakenteen muotittimet	30,00	200,00	m²	169,00	26,45	0,00	195,45
4221.2	Sillan päällysrakenteen raudoitustyöt, betoniteräs B500B (A500HW)	390,00	5068,00	kg	2128,56	343,85	0,00	2472,41
4221.4	Sillan päällysrakenteen betonointityöt valmisbetoni C35/45 P30	50,00	248,00	m³rtr	81840,00	2158,90	62,00	84060,91
4412	Siirtymälaatat, betoni C30/37 (K37), raudoite A500 HW	50,00	31,00	m³	9145,00	269,86	0,00	9414,86
	<b>Pintarakenteet</b>							
4241.4	Elastiset saumamassat	50,00	77,00	m	53,90	0,00	0,00	53,90
4231.1	Sillan kannen eristysalustan hiekkapuhallus	0,00	220,00	m²tr	344,52	0,00	0,00	344,52
4231.3	Sillan kannen kumibitumikermieristys, 2-kert.	50,00	220,00	m²tr	1601,60	30,34	0,00	1631,94
2141.11	AB 16 / 100	20,00	211,00	m²tr	1055,00	539,73	14,37	1609,09
4233.1	AB 11/70, sillan päällyste *	20,00	211,00	m²tr	1055,00	197,50	14,37	1252,50
	<b>Kaiteet</b>							
4245.12	Sillan harva kaide, korkea (H2)	430,00	64,00	mtr	3310,46	260,93	0,00	3571,40
4245.12	Siltakaiteen vino pää	430,00	16,00	mtr	827,62	260,93	0,00	1088,55
Yhteensä					166949,97	11968,51	736,00	179640,10

Tunniste	Koko elinkaari	Matka	Määrä	Yksikkö	Osittaispäästöt			Kokonaisp.
	Nimi				Materiaali	Kuljetus	Työ	
	<b>Alusrakenne</b>							
1311	Paalujen raudoitustyöt betoniteräs A500HW	390,00	2500,00	kg	1050,00	343,85	0,00	1393,85
1311	Paalujen betonointityöt, betoni C50/60 (K60)	50,00	44,00	m³	17380,00	179,91	11,00	17570,00
1321.1212	Teräsputkipaalu RR700	430,00	31,00	jm	20228,31	773,61	71,82	21073,73
1624	Rakennuskaivanto	20,00	300,00	m³ktr	0,00	4109,23	356,00	4465,23
1835	Ympäristäyttö murskeella	20,00	300,00	m³rtr	3150,00	1799,66	188,57	5138,23
4211.1	Sillan päätytukien teline- ja muotittimet	50,00	20,00	m²	16,00	44,08	0,00	60,98
4211.14	Sillan maa-/päätytukien betonointityöt, valmisbetoni C35/45 P30	50,00	71,50	m³rtr	23595,00	629,68	17,88	24242,55
	<b>Päällysrakenne</b>							
4221.1	Paikalla valettavan betonisillan päällysrakenteen muotittimet	30,00	200,00	m²	169,00	26,45	0,00	195,45
4221	Sillan reunapalkin uusiminen x2 *	50,00	44608,00	m³rtr	5508,00	179,91	4,40	5691,96
4221.2	Sillan päällysrakenteen raudoitustyöt, betoniteräs B500B (A500HW)	390,00	5068,00	kg	2128,56	343,85	0,00	2472,41
4221.4	Sillan päällysrakenteen betonointityöt valmisbetoni C35/45 P30	50,00	248,00	m³rtr	81840,00	2158,90	62,00	84060,91
4412	Siirtymälaatat, betoni C30/37 (K37), raudoite A500 HW	50,00	31,00	m³	9145,00	269,86	0,00	9414,86
	<b>Pintarakenteet</b>							
4231.1	Sillan kannen eristysalustan hiekkapuhallus	0,00	220,00	m²tr	344,52	0,00	0,00	344,52
4231.1	Sillan kannen eristysalustan hiekkapuhallus, uusiminen, x2	0,00	440,00	m²tr	689,04	0,00	0,00	689,04
4231.3	Sillan kannen kumibitumikermieristys, 2-kert.	50,00	220,00	m²tr	1601,60	30,34	0,00	1631,94
4231.3	Sillan kannen kumibitumikermieristys, 2-kert., uusiminen x2 *	50,00	440,00	m²tr	3203,20	132,25	0,00	3335,45
4233.1	AB 11/70 (30 mm), uusiminen x7 *	20,00	1477,00	m²tr	7385,00	1382,52	100,58	8767,52
4233.1	AB 11/70 (30 mm) (asfalttoitava pinta-ala alle 200 m2), sillan päällyste *	20,00	211,00	m²tr	1055,00	197,50	14,37	1252,50
2141.11	AB 16 / 100 (40 mm) (levitettävä ala on alle 200 m2)	20,00	211,00	m²tr	1055,00	539,73	14,37	1609,09
2141.11	AB 16 / 100 (40 mm), uusiminen x7 *	20,00	1477,00	m²tr	7385,00	539,73	100,58	8025,30
4241.4	Elastiset saumamassat	50,00	77,00	m	53,90	0,00	0,00	53,90
4241.4	Elastiset saumamassat, uusiminen x7	50,00	539,00	m	377,30	0,00	0,00	377,30
	<b>Kaiteet</b>							
4245.12	Sillan harva kaide, korkea (H2)	430,00	64,00	mtr	3310,46	260,93	0,00	3571,40
4245.12	Siltakaiteen vino pää	430,00	16,00	mtr	827,62	260,93	0,00	1088,55
4245.12	Siltakaiteen vino pää, uusiminen x2	430,00	32,00	mtr	1655,23	260,93	0,00	1916,16
4245.12	Sillan harva kaide, korkea (H2) uusiminen x2	430,00	128,00	mtr	6620,93	521,87	0,00	7142,79
	<b>Purkutytöt</b>							
2141	Asfalttipäällysten poisto jyrsimällä, 50mm, 500-2000 m2tr	100,00	1477,00	m²tr	0,00	686,41	1569,31	2255,72
4999	Reunapalkkien purku *	100,00	44569,00	m³	114,21	179,91	7,23	301,35
9999	Sillan purkutyo ja purkumateriaalin kuljetus jätteenkäsittelyyn & hävitys	100,00	320,00	m³	4512,00	5577,17	285,70	10374,87
9999	Asfalttipäällysten poisto jyrsimällä, 50mm, 500-2000 m2tr	100,00	211,00	m²tr	0,00	228,80	224,19	452,99
9999	Teräsoisien purku, kuljetus jätteenkäsittelyyn ja hävitys	100,00	3728,00	kg	7,46	88,17	0,00	95,62
9999	Teräsoisien purku, kuljetus jätteenkäsittelyyn ja hävitys, kaiteen uusiminen	100,00	3728,00	kg	7,46	88,17	0,00	95,62
Yhteensä					204414,79	21834,33	3027,99	229161,80



## Liite 2. Teräspalkkisillan, liittorakenne, päästöläskennan tulokset

Tunniste	Rakentamisvaihe Nimi	Matka	Määrä	Yksikkö	Osittaispäästöt		Työ	Kokonaisp. Abs.
					Materiaali	Kuljetus		
	<b>Alusrakenne</b>							
1311	Paalujen raudoitustyöt betoniteräs A500HW	390,00	2500,00	kg	1050,00	701,64	0,00	1751,64
1311	Paalujen betonointityöt betoni C40/50 (K50)	50,00	44,00	m³rtr	12540,00	179,91	11,00	13000,00
1321.1212	Teräspalkkipaalu RR700	430,00	31,00	jm	20228,31	773,61	71,82	21073,73
1624	Siltakaivanto	20,00	300,00	m³ktr	0,00	4109,23	356,00	4465,23
1835	Ympäristäyttö murskeella	20,00	300,00	m³rtr	3150,00	1799,66	188,57	5138,23
4211.11	Sillan maa-/päätytukien teline- ja muottityöt	50,00	20,00	m²	44820,00	44,08	0,00	60,98
4211.12	Sillan maa-/päätytukien raudoitustyöt, betoniteräs B500B (A500HW)	390,00	200,00	kg	84,00	343,85	0,00	427,85
	<b>Päällysrakenne</b>							
4221.1	Paikalla valettavan betonisillan päällysrakenteen muottityöt	50,00	395,00	m²	333,78	44,08	0,00	377,86
4221.2	Sillan kansilaatan raudoitustyöt, betoniteräs B500B (A500HW)	390,00	18000,00	kg	7560,00	687,69	0,00	8247,69
4221.4	Sillan päällysrakenteen betonointityöt valmisbetoni C35/45 P50	50,00	11,00	m³rtr	3740,00	179,91	27426,00	3922,66
4221.4	Sillan päällysrakenteen betonointityöt valmisbetoni C35/45 P30	50,00	77,00	m³rtr	25410,00	719,63	19,25	26148,88
4223	Sillan kannatinrakenteen primääripalkki, teräksestä	430,00	24200,00	kg	60500,00	1137,34	0,00	61637,34
4242.13	Kalottilaakeri, 2x kiinteä, 2x liikkuva 4 MN	1000,00	556,00	kg	1390,00	606,82	0,00	1996,82
	<b>Pintarakenteet</b>							
4231.1	Sillan kannen eristysalustan hiekkapuhallus	0,00	208,00	m²tr	325,73	0,00	0,00	325,73
4231.3	Sillan kannen kumibitumikermieristys, 2-kert.	50,00	208,00	m²tr	1514,24	20,85	0,00	1535,09
2141.11	AB 16 / 100	20,00	198,00	m²tr	990,00	539,73	13,48	1543,21
4233.11	AB 11/70, sillan päällyste	20,00	198,00	m²tr	990,00	35,98	9,52	1035,50
4241.4	Elastiset saumamassat	0,00	77,00	mtr	53,90	0,00	0,00	53,90
	<b>Kaiteet</b>							
4245.12	Sillan harva kaide, korkea (H2)	430,00	64,00	mtr	3310,46	260,93	0,00	3571,40
4245.12	Siltakaiteen vino pää	430,00	16,00	mtr	827,62	260,93	0,00	1088,55
	<b>Yhteensä</b>				188818,03	12445,89	28095,64	157402,30

Tunniste	Eiinkaarivaihe Nimi	Matka	Määrä	Yksikkö	Osittaispäästöt		Työ	Kokonaisp. Abs.
					Materiaali	Kuljetus		
	<b>Alusrakenne</b>							
1311	Paalujen raudoitustyöt betoniteräs A500HW	390,00	2500,00	kg	1050,00	701,64	0,00	1751,64
1311	Paalujen betonointityöt betoni C40/50 (K50)	50,00	44,00	m³rtr	12540,00	179,91	11,00	13000,00
1321.1212	Teräspalkkipaalu RR700	430,00	31,00	jm	20228,31	773,61	71,82	21073,73
1624	Siltakaivanto	20,00	300,00	m³ktr	0,00	4109,23	356,00	4465,23
1835	Ympäristäyttö murskeella	20,00	300,00	m³rtr	3150,00	1799,66	188,57	5138,23
4211.11	Sillan maa-/päätytukien teline- ja muottityöt	50,00	20,00	m²	16,90	44,08	0,00	60,98
4211.12	Sillan maa-/päätytukien raudoitustyöt, betoniteräs B500B (A500HW)	390,00	200,00	kg	84,00	343,85	0,00	427,85
	<b>Päällysrakenne</b>							
4221	Sillan reunapalkin uusiminen	50,00	11,00	m³rtr	3740,00	179,91	2,75	3922,66
4221.1	Paikalla valettavan betonisillan päällysrakenteen muottityöt	50,00	395,00	m²	333,78	44,08	0,00	377,86
4221.2	Sillan kansilaatan raudoitustyöt, betoniteräs B500B (A500HW)	390,00	18000,00	kg	7560,00	687,69	0,00	8247,69
4221.4	Sillan päällysrakenteen betonointityöt valmisbetoni C35/45 P50	50,00	11,00	m³rtr	3740,00	179,91	2,75	3922,66
4221.4	Sillan päällysrakenteen betonointityöt valmisbetoni C35/45 P30	50,00	77,00	m³rtr	25410,00	719,63	19,25	26148,88
4223	Sillan kannatinrakenteen primääripalkki, teräksestä	430,00	24200,00	kg	60500,00	1137,34	0,00	61637,34
4242.13	Kalottilaakeri, 2x kiinteä, 2x liikkuva 4 MN	1000,00	556,00	kg	1390,00	606,82	0,00	1996,82
4242.13	Kalottilaakeri, 2x kiinteä, 2x liikkuva 4 MN, uusiminen *	1000,00	556,00	kg	1390,00	448,87	0,00	1838,87
	<b>Pintarakenteet</b>							
4231.1	Sillan kannen eristysalustan hiekkapuhallus	0,00	208,00	m²tr	325,73	0,00	0,00	325,73
4231.1	Sillan kannen eristysalustan hiekkapuhallus, uusiminen 2x *	0,00	416,00	m²tr	651,46	0,00	0,00	651,46
4231.3	Sillan kannen kumibitumikermieristys, 2-kert., uusiminen 2x *	50,00	416,00	m²tr	3028,48	41,70	0,00	3070,18
4231.3	Sillan kannen kumibitumikermieristys, 2-kert.	50,00	208,00	m²tr	1514,24	20,85	0,00	1535,09
4233.11	AB 11/70 (30 mm) (asfalttoitava pinta-ala alle 200 m2), sillan päällyste	20,00	198,00	m²tr	990,00	35,98	9,52	1035,50
4233.11	AB 11/70 (30 mm), uusiminen x7 *	20,00	1386,00	m²tr	6930,00	251,87	66,66	7248,53
2141.11	AB 16 / 100 (40 mm), uusiminen x7 *	20,00	1386,00	m²tr	6930,00	251,87	94,38	7276,25
2141.11	AB 16 / 100 (40 mm) (levitettävä ala on alle 200 m2)	20,00	198,00	m²tr	990,00	539,73	13,48	1543,21
4241.4	Elastiset saumamassat, uusiminen x7 *	0,00	539,00	mtr	377,30	0,00	0,00	377,30
4241.4	Elastiset saumamassat	0,00	77,00	mtr	53,90	0,00	0,00	53,90
	<b>Kaiteet</b>							
4245.12	Sillan harva kaide, korkea (H2)	430,00	64,00	mtr	3310,46	260,93	0,00	3571,40
4245.12	Sillan harva kaide, korkea (H2), uusiminen x2 *	430,00	128,00	mtr	6620,93	521,87	0,00	7142,79
4245.12	Siltakaiteen vino pää, uusiminen x2 *	430,00	32,00	mtr	1655,23	386,03	0,00	2041,26
4245.12	Siltakaiteen vino pää	430,00	16,00	mtr	827,62	260,93	0,00	1088,55
	<b>Purkutytöt</b>							
4999	Reunapalkkien purku *	100,00	11,00	m³	155,10	359,82	9,82	524,74
9999	Siltabetonin purkutytöt ja purkumateriaalin kuljetus jätteenkäsittelyyn	100,00	88,00	m³	1240,80	1619,18	78,57	2938,55
2141	Asfalttipäällysten poisto jyrsimällä, 50mm, 500-2000 m2tr	100,00	1386,00	m²tr	0,00	686,41	1472,63	2159,03
9999	Asfalttipäällysten poisto jyrsimällä, 50mm, 500-2000 m2tr	100,00	198,00	m²tr	0,00	228,80	210,38	439,18
9999	Sillan purkutytöt ja purkumateriaalin kuljetus jätteenkäsittelyyn, kaiteet	100,00	3728,00	kg	7,46	88,17	0,00	95,62
9999	Sillan purkutytöt ja purkumateriaalin kuljetus jätteenkäsittelyyn, primääripalkki	100,00	24200,00	kg	48,40	179,91	0,00	228,31
	<b>Yhteensä</b>				176790,08	17690,28	2607,57	197357,02

## Liite 3. Liimapuisen laattasilan päästölaskennan tulokset

Tunniste	Rakennusvaihe Nimi	Matka	Määrä	Yksikkö	Osittaispäästöt			Kokonaisp. Abs.
					Materiaali	Kuljetus	Työ	
	<b>Alusrakenne</b>							
1311	Paalujen raudoitustyöt betoniteräs A500HW	390,00	1740,00	kg	730,80	343,85	0,00	1074,65
1311	Paalujen betonointityöt, betoni C30/37	50,00	9,00	m <sup>3</sup>	2700,00	89,95	0,00	2789,95
1321.1212	Teräsputkipaalu RR600	430,00	31,00	jm	16173,20	773,61	71,82	17018,62
1624	Siltakaivanto	20,00	300,00	m <sup>3</sup> ktr	0,00	4109,23	356,00	4465,23
1835	Ympäristäyttö murskeella	20,00	300,00	m <sup>3</sup> rtr	3150,00	1799,66	188,57	5138,23
4211.11	Sillan maa-/päättytukien teline- ja muottityöt	30,00	114,00	m <sup>2</sup>	96,33	26,45	0,00	122,78
4211.12	Sillan maa-/päättytukien raudoitustyöt, betoniteräs B500B (A500HW)	390,00	3784,00	kg	1589,28	343,85	0,00	1933,13
4211.14	Sillan maa-/päättytukien betonointityöt, valmisbetoni C30/37 (K37)	50,00	32,00	m <sup>3</sup> rtr	2360,00	359,82	8,00	2727,82
	<b>Päällysrakenne</b>							
4224.1	Puinen sillan päällysrakenne GLT (m3) *	380,00	188,00	m <sup>3</sup>	13500,28	2734,61	0,00	16234,89
4224.1	Siltakannen teräsovat	390,00	2053,00	kg	5132,50	343,85	0,00	5476,35
	<b>Pintarakenteet</b>							
4231.5	Sillan kannen kumibitumimastiksieristys	50,00	150,00	m <sup>2</sup> tr	1092,00	44,08	0,00	1136,08
4233.16	KBVA 16/90 (40 mm) + karkeutuskivi, sillan päällyste	20,00	150,00	m <sup>2</sup> tr	518,40	35,98	89303,00	561,60
4242.11	Kumilevylaakeri, 500x300x41	1000,00	530,00	kg	1325,00	606,82	0,00	1931,82
	<b>Kaiteet</b>							
4245.12	Sillan harva kaide, korkea (H2) *	430,00	64,00	mtr	3310,46	260,93	0,00	3571,40
4245.12	Siltakaiteen vino pää	430,00	16,00	mtr	827,62	260,93	0,00	1088,55
Yhteensä					52505,87	12133,62	89927,39	65271,09

Tunniste	Koko elinkaari Nimi	Matka	Määrä	Yksikkö	Osittaispäästöt			Kokonaisp. Abs.
					Materiaali	Kuljetus	Työ	
	<b>Alusrakenne</b>							
1311	Paalujen raudoitustyöt betoniteräs A500HW	390,00	1740,00	kg	730,80	343,85	0,00	1074,65
1311	Paalujen betonointityöt, betoni C30/37	50,00	9,00	m <sup>3</sup>	2700,00	89,95	0,00	2789,95
1321.1212	Teräsputkipaalu RR600	430,00	31,00	jm	16173,20	773,61	71,82	17018,62
1624	Siltakaivanto	20,00	300,00	m <sup>3</sup> ktr	0,00	4109,23	356,00	4465,23
1835	Ympäristäyttö murskeella	20,00	300,00	m <sup>3</sup> rtr	3150,00	1799,66	188,57	5138,23
4211.11	Sillan maa-/päättytukien teline- ja muottityöt	30,00	114,00	m <sup>2</sup>	96,33	26,45	0,00	122,78
4211.12	Sillan maa-/päättytukien raudoitustyöt, betoniteräs B500B (A500HW)	390,00	3784,00	kg	1589,28	343,85	0,00	1933,13
4211.14	Sillan maa-/päättytukien betonointityöt, valmisbetoni C30/37 (K37)	50,00	32,00	m <sup>3</sup> rtr	2360,00	359,82	8,00	2727,82
	<b>Päällysrakenne</b>							
4224.1	Puinen sillan päällysrakenne painekyllästetty liimapuu (m3) *	380,00	188,00	m <sup>3</sup>	13500,28	2734,61	0,00	16234,89
4224.1	Puinen sillan päällysrakenne painekyllästetty liimapuu (m3) uusiminen	380,00	188,00	m <sup>3</sup>	13500,28	2734,61	0,00	16234,89
4242.11	Kumilevylaakeri, 500x300x41	1000,00	530,00	kg	1325,00	606,82	0,00	1931,82
4242.11	Kumilevylaakeri, 500x300x41, uusiminen	1000,00	530,00	kg	1325,00	606,82	0,00	1931,82
4224.1	Siltakannen teräsovat	390,00	2053,00	kg	5132,50	701,64	0,00	5834,14
4224.1	Siltakannen teräsovat, uusiminen	390,00	2053,00	kg	5132,50	701,64	0,00	5834,14
	<b>Pintarakenteet</b>							
4231.5	Sillan kannen kumibitumimastiksieristys	50,00	150,00	m <sup>2</sup> tr	1092,00	44,08	0,00	1136,08
4233.16	KBVA 16/90 (40 mm) + karkeutuskivi, sillan päällyste	20,00	150,00	m <sup>2</sup> tr	518,40	35,98	7,00	561,60
4231.5	Sillan kannen kumibitumimastiksieristys uusiminen x3	50,00	450,00	m <sup>2</sup> tr	3276,00	132,25	0,00	3408,25
4233.16	KBVA 16/90 (40 mm) + karkeutuskivi, sillan päällyste uusiminen x3	20,00	450,00	m <sup>2</sup> tr	1555,20	71,96	21,64	1648,81
	<b>Kaiteet</b>							
4245.12	Sillan harva kaide, korkea (H2) *	430,00	64,00	mtr	3310,46	260,93	0,00	3571,40
4245.12	Siltakaiteen vino pää	430,00	16,00	mtr	827,62	260,93	0,00	1088,55
4245.12	Sillan harva kaide, korkea (H2), uusiminen	430,00	64,00	mtr	3310,46	260,93	0,00	3571,40
4245.12	Siltakaiteen vino pää, uusiminen	430,00	16,00	mtr	827,62	260,93	0,00	1088,55
	<b>Purkutyöt</b>							
4224	Sillan kansirakenteen uusimisen vaatima purkutyö ja purkumateriaalin	100,00	188,00	m <sup>3</sup>	0,00	719,63	0,00	719,63
9999	Sillan purkutyö ja kuljetus jätteenkäsittelyyn, kansirakenne	100,00	188,00	m <sup>3</sup>	1616,80	719,63	167,85	2504,28
9999	Sillan purkutyö ja kuljetus jätteenkäsittelyyn, alusrakenne	100,00	32,00	m <sup>3</sup>	451,20	719,63	28,57	1199,40
9999	Sillan purkutyö ja purkumateriaalin kuljetus jätteenkäsittelyyn, teräsrak	100,00	5781,00	kg	11,56	88,17	0,00	99,73
9999	Asfalttipäällysten poisto jyrsimällä, 50mm, 500-2000 m2tr	100,00	150,00	m <sup>2</sup> tr	0,00	228,80	159,38	388,18
1151	Asfalttipäällysten poisto jyrsimällä, 50mm, 500-2000 m2tr, uusimisen ta	100,00	450,00	m <sup>2</sup> tr	0,00	228,80	478,13	706,93
Yhteensä					83512,49	19965,25	1486,95	104964,90

## Liite 4. Liimapuisen palkkisillan päästölaskennan tulokset

Tunniste	Rakennusvaihe Nimi	Matka	Määrä	Yksikkö	Osittaispäästöt			Kokonaisp. Abs.
					Materiaali	Kuljetus	Työ	
	<b>Alusrakenne</b>							
1321.1212	Teräspalkkipaalu RR600	430,00	31,00	jm	16173,20	773,61	71,82	17018,62
1311	Paalujen raudoitustyöt betoniteräs A500HW	390,00	1740,00	kg	730,80	343,85	0,00	1074,65
1311	Paalujen betonointityöt, betoni C30/37	50,00	9,00	m <sup>3</sup>	2655,00	89,95	0,00	2744,95
1624	Siltakaivanto	20,00	300,00	m <sup>3</sup> ktr	0,00	4109,23	356,00	4465,23
1835	Ympäristäyttö murskeella	20,00	300,00	m <sup>3</sup> rtr	3150,00	1799,66	188,57	5138,23
4211.11	Sillan maa-/päättykien teline- ja muottityöt	30,00	72,00	m <sup>2</sup>	60,84	26,45	0,00	87,29
4211.12	Sillan maa-/päättykien raudoitustyöt, betoniteräs B500B (A500HW)	390,00	300,00	kg	126,00	343,85	0,00	469,85
4211.14	Sillan maa-/päättykien betonointityöt, valmisbetoni C30/37 (K37)	50,00	32,00	m <sup>3</sup> rtr	2360,00	359,82	8,00	2727,82
	<b>Päällysrakenne</b>							
4224.1	Puinen sillan päällysrakenne, painekyllästetty liimapuu (m3) *	380,00	72,00	m <sup>3</sup>	5170,32	1367,31	0,00	6537,63
4224.1	Puinen sillan päällysrakenne, painekyllästetty liimapuu (m3) *	380,00	34,00	m <sup>3</sup>	2441,54	683,65	0,00	3125,19
	<b>Pintarakenne</b>							
4231.5	Sillan kannen kumibitumimastiksieristys	50,00	170,00	m <sup>2</sup> tr	1237,60	44,08	0,00	1281,68
4233.16	KBVA 16/90 (40 mm) + karkeutuskivi, sillan päällyste	20,00	170,00	m <sup>2</sup> tr	587,52	35,98	8,18	631,68
4242.11	Kumilevylaakeri, 500x300x41	1000,00	530,00	kg	1325,00	606,82	0,00	1931,82
	<b>Kaiteet</b>							
4245.12	Sillan harva kaide, korkea (H2) *	430,00	64,00	mtr	3310,46	260,93	0,00	3571,40
4245.12	Siltakaiteen vino pää	430,00	16,00	mtr	827,62	260,93	0,00	1088,55
Yhteensä					40155,90	11106,12	632,56	51894,58

Tunniste	Koko elinkaari Nimi	Matka	Määrä	Yksikkö	Osittaispäästöt			Kokonaisp. Abs.
					Materiaali	Kuljetus	Työ	
	<b>Alusrakenne</b>							
1321.1212	Teräspalkkipaalu RR600	430,00	31,00	jm	16173,20	773,61	71,82	17018,62
1311	Paalujen raudoitustyöt betoniteräs A500HW	390,00	1740,00	kg	730,80	343,85	0,00	1074,65
1311	Paalujen betonointityöt, betoni C30/37	50,00	9,00	m <sup>3</sup>	2655,00	89,95	0,00	2744,95
1624	Siltakaivanto	20,00	300,00	m <sup>3</sup> ktr	0,00	4109,23	356,00	4465,23
1835	Ympäristäyttö murskeella	20,00	300,00	m <sup>3</sup> rtr	3150,00	1799,66	188,57	5138,23
4211.11	Sillan maa-/päättykien teline- ja muottityöt	30,00	72,00	m <sup>2</sup>	60,84	26,45	0,00	87,29
4211.12	Sillan maa-/päättykien raudoitustyöt, betoniteräs B500B (A500HW)	390,00	300,00	kg	126,00	343,85	0,00	469,85
4211.14	Sillan maa-/päättykien betonointityöt, valmisbetoni C30/37 (K37)	50,00	32,00	m <sup>3</sup> rtr	2360,00	359,82	8,00	2727,82
	<b>Päällysrakenne</b>							
4224.1	Puinen sillan päällysrakenne, painekyllästetty liimapuu (m3), uusiminen	380,00	72,00	m <sup>3</sup>	5170,32	1367,31	0,00	6537,63
4224.1	Puinen sillan päällysrakenne, painekyllästetty liimapuu (m3), uusiminen	380,00	102,00	m <sup>3</sup>	7324,62	1367,31	0,00	8691,93
4224.1	Puinen sillan päällysrakenne, painekyllästetty liimapuu (m3) *	380,00	72,00	m <sup>3</sup>	5170,32	1367,31	0,00	6537,63
4224.1	Puinen sillan päällysrakenne, painekyllästetty liimapuu (m3) *	380,00	34,00	m <sup>3</sup>	2441,54	683,65	0,00	3125,19
4242.11	Kumilevylaakeri, 500x300x41	1000,00	530,00	kg	1325,00	606,82	0,00	1931,82
4242.11	Kumilevylaakeri, 500x300x41, uusiminen	1000,00	530,00	kg	1325,00	606,82	0,00	1931,82
	<b>Pintarakenne</b>							
4231.5	Sillan kannen kumibitumimastiksieristys	50,00	170,00	m <sup>2</sup> tr	1237,60	44,08	0,00	1281,68
4231.5	Sillan kannen kumibitumimastiksieristys, uusiminen x3	50,00	510,00	m <sup>2</sup> tr	3712,80	132,25	0,00	3845,05
4233.16	KBVA 16/90 (40 mm) + karkeutuskivi, sillan päällyste	20,00	170,00	m <sup>2</sup> tr	587,52	35,98	8,18	631,68
4233.16	KBVA 16/90 (40 mm) + karkeutuskivi, sillan päällyste, uusiminen x3	20,00	510,00	m <sup>2</sup> tr	1762,56	71,96	24,53	1859,05
4233.16	Asfalttipäällysten poisto jyrsimällä, 50mm, 500-2000 m2tr	20,00	510,00	m <sup>2</sup> tr	0,00	45,76	541,88	587,64
	<b>Kaiteet</b>							
4245.12	Sillan harva kaide, korkea (H2) *	430,00	64,00	mtr	3310,46	260,93	0,00	3571,40
4245.12	Sillan harva kaide, korkea, uusiminen (H2) *	430,00	192,00	mtr	9931,39	782,80	0,00	10714,19
4245.12	Siltakaiteen vino pää	430,00	16,00	mtr	827,62	260,93	0,00	1088,55
4245.12	Siltakaiteen vino pää, uusiminen x3	430,00	128,00	mtr	6620,93	521,87	0,00	7142,79
	<b>Purkutyöt</b>							
4224	Sillan kansirakenteen uusimisen vaatima purkutyö ja purkumateriaalin	100,00	174,00	m <sup>3</sup>	1496,40	3058,45	0,00	4554,85
9999	Sillan purkutyö ja purkumateriaalin kuljetus jätteenkäsittelyyn, puukar	100,00	106,00	m <sup>3</sup>	911,60	1979,00	94,64	2985,23
9999	Sillan purkutyö ja purkumateriaalin kuljetus jätteenkäsittelyyn, alusrak	100,00	32,00	m <sup>3</sup>	451,20	719,63	28,57	1199,40
9999	Asfalttipäällysten poisto jyrsimällä, 50mm, 500-2000 m2tr	100,00	170,00	m <sup>2</sup> tr	0,00	228,80	180,63	409,43
1151	Asfalttipäällysten poisto jyrsimällä, 50mm, 500-2000 m2tr, uusimista va	100,00	510,00	m <sup>2</sup> tr	0,00	228,80	541,88	770,68
9999	Sillan purkutyö ja purkumateriaalin kuljetus jätteenkäsittelyyn, teräsr	100,00	3728,00	kg	7,46	88,17	0,00	95,62
Yhteensä					78870,17	22305,04	2044,67	103219,89

## Liite 5. Rakennusmateriaalien päästökertoimet

TUOTE	Yksikkö	Panospohjaisen Co2-laskennan pilotointi väylähankke		Tietokanta-työ, co2dat		EPD	EPD Lähde
		issa / 2014	a.fi	SYKE	EPD		
Betoni C25/30 (K30)	kg/m3	213,51	235,3			243	Betoniteollisuus ry EPD, <a href="https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/05/Elinkaariarvio_valmisbetonit-1.pdf">https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/05/Elinkaariarvio_valmisbetonit-1.pdf</a>
Betoni C28/35 (K35)	kg/m3	228,03					
Betoni C30/37	kg/m2		259,90	270	268		Betoniteollisuus ry EPD, <a href="https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/05/Elinkaariarvio_valmisbetonit-1.pdf">https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/05/Elinkaariarvio_valmisbetonit-1.pdf</a>
Betoni C30/37 , P30	kg/m3			<b>300</b>			
Betoni C32/40 (K40)	kg/m3	242,54					
Betoni C35/45 (K45)	kg/m3	257,06					
Betoni C35/45 P30	kg/m3			<b>330</b>			
Betoni C35/45 P50	kg/m3			<b>340</b>			
Betoni 40/50	kg/m3		285,00				
Betoni 45/55, P50	kg/m3				375		
Betoni C50/60, huokostettu	kg/m3					<b>395</b>	
TERÄS							
Betoniteräs A500HW	kg/kg	0,91	0,56			<b>0,42</b>	Celsa EPD, <a href="https://www.environdec.com/library/epd307">https://www.environdec.com/library/epd307</a>
Harva kaide korkea	kg/m	25,75	<b>51,73</b>				
Korkea suojaverkko	kg/m	4,44	17,09				
Kuumasinkitty teräsrakenne	kg/kg	<b>1,11</b>					
Teräsrakenne, kantava rakenne, pinnoitettu tai COR-TEN pinta	kg/kg		2,5	<b>2,5</b>			
Teräspaalu d700/12,5	kg/m				538,3	<b>547</b>	SSAB, Steel piles EPD, Revised: 2021-02-26 <a href="https://www.ssab.com/download-center?dcFilter=environmentalpr&amp;dcSearch#sort=%40customorder%20descending&amp;f:document=[3f0a0e364ca54f74a30faff866bd87ff]">https://www.ssab.com/download-center?dcFilter=environmentalpr&amp;dcSearch#sort=%40customorder%20descending&amp;f:document=[3f0a0e364ca54f74a30faff866bd87ff]</a>
Teräspaalu d700/14,2	kg/m				610	<b>620</b>	SSAB, Steel piles EPD, Revised: 2021-02-26 <a href="https://www.ssab.com/download-center?dcFilter=environmentalpr&amp;dcSearch#sort=%40customorder%20descending&amp;f:document=[3f0a0e364ca54f74a30faff866bd87ff]">https://www.ssab.com/download-center?dcFilter=environmentalpr&amp;dcSearch#sort=%40customorder%20descending&amp;f:document=[3f0a0e364ca54f74a30faff866bd87ff]</a>
Teräspaalu d600/12,5	kg/m				460,5	<b>468</b>	SSAB, Steel piles EPD, Revised: 2021-02-26 <a href="https://www.ssab.com/download-center?dcFilter=environmentalpr&amp;dcSearch#sort=%40customorder%20descending&amp;f:document=[3f0a0e364ca54f74a30faff866bd87ff]">https://www.ssab.com/download-center?dcFilter=environmentalpr&amp;dcSearch#sort=%40customorder%20descending&amp;f:document=[3f0a0e364ca54f74a30faff866bd87ff]</a>
Teräspaalu d600/14,2	kg/m				521,5	<b>530</b>	SSAB, Steel piles EPD, Revised: 2021-02-26 <a href="https://www.ssab.com/download-center?dcFilter=environmentalpr&amp;dcSearch#sort=%40customorder%20descending&amp;f:document=[3f0a0e364ca54f74a30faff866bd87ff]">https://www.ssab.com/download-center?dcFilter=environmentalpr&amp;dcSearch#sort=%40customorder%20descending&amp;f:document=[3f0a0e364ca54f74a30faff866bd87ff]</a>
PUU							
Muottilaudat	kg/m2	<b>0,85</b>		0,78			
Muottipuutavara	kg/m	0,28		0,082			
Painekyllästetty puutavara 50x100, sahattu	kg/m	0,49		0,33			
Painekyllästetty puutavara	kg/kg		0,14				
Liimapuu (GLT)	kg/kg		0,11				
Painekyllästetty liimapuu (GLT + painekyllästys)	kg/kg		<b>0,167</b>				
MUU MATERIAALI							
Kumibitumipohjainen saumamassa	kg/m	0,7					
Kumibitumikermi 2-kertainen	kg/m2	<b>7,28</b>	8,24			2,03	European Waterproofing Association Sector EPD, <a href="https://www.environdec.com/library/epd414">https://www.environdec.com/library/epd414</a>
ASFALTTI AB 11/70	kg/t	36				<b>40</b>	Asfalttikallio Oy AB16 RC 50% RTS EPD nr 6, Myönnetty 7.4.2017
AB 16/100	kg/t	36				<b>40</b>	Asfalttikallio Oy AB16 RC 50% RTS EPD nr 6, Myönnetty 7.4.2017
KBVA 11/90	kg/t	36				<b>40</b>	Asfalttikallio Oy AB16 RC 50% RTS EPD nr 6, Myönnetty 7.4.2017
Kumibitumimastiksi	kg/kg	<b>0,04</b>					
MAA-JALOSTEET							
Hiekkapuhallushiekka	kg/m2	<b>1,57</b>					
Murske	kg/kg		<b>0,007</b>				
Kalliomurske	kg/m3	2,85	<b>10,5</b>				
Rakenteen purkutyö ja jälkikäsitteily: Betonirakenne	kg/kg			0,006			
Rakenteen purkutyö ja jälkikäsitteily Puurakenne	kg/kg			0,02			
Rakenteen purkutyö ja jälkikäsitteily: Teräsrakenne	kg/kg			0,002			