

Opinnäytetyö (AMK)

Insinööri, rakentamis- ja yhdyskuntatekniikka

2023

Johanna Timonen

INFRAHANKKEEN RAKENTAMISVAIHEEN
HIILIJALANJÄLKILASKENTA JA CO₂
-PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMINEN



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Insinööri, rakentamis- ja yhdyskuntatekniikka

18.12.2023 | 53 sivua

Johanna Timonen

Infrahankkeen rakentamisvaiheen hiilijalanjälkilaskenta ja CO₂-päästöjen vähentäminen

Tässä opinnäytetyössä laskettiin yhden toteutuneen infrahankkeen rakentamisvaiheen hiilijalanjälki sekä selvitettiin keinoja rakentamisaikaisten päästöjen vähentämiseen. Työn tavoitteena oli kasvattaa keskisuuren maanrakennusalan yrityksen tietoisuutta aiheesta sekä löytää konkreettisia keinoja yrityksen hallinnassa olevien rakentamisaikaisten päästöjen vähentämiselle.

Työ toteutettiin tapaustutkimuksena ja sitä täydennettiin kirjallisuudesta saatavin tiedoin. Työn laskenta toteutettiin elinkaariarvioinnin pohjalta One Click LCA -ohjelmiston infrastruktuurilisäosan avulla. Laskenta suoritettiin työmaan valmistumisen jälkeen, jotta voitiin hyödyntää todellisia kulutettuja määriä.

Työn tuloksena saatu hiilijalanjälki oli lähdeaineistoihin verrattavissa oleva. Työmaan suurimmiksi päästölähteiksi osoittautuivat maa-ainekset ja niiden kuljetukset, putki- ja kaivomateriaalit sekä työkoneiden käyttö. Merkittävimmät hiilijalanjäljen pienentämiseksi osoittautuneet keinot olivat uusiutuvien polttoaineiden käyttö, kierrätettyjen uusiomateriaalien käyttö sekä kuljetusmatkojen optimoiminen.

Kaiken kaikkiaan työ saavutti sille asetetut tavoitteet. Toimeksiantajayritys tulee hyödyntämään työssä opittuja asioita esimerkiksi ympäristö- ja päästövähennystavoitteiden asettamisessa, henkilöstön kouluttamisessa sekä tulevaisuuden investointien suunnittelussa.

Asiasanat:

hiilijalanjälki, kasvihuonekaasut, vähähiilisyyys, infrarakentaminen, väylärakentaminen, yhdyskuntatekniikka, elinkaarianalyysi

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Construction and Municipal Engineering

18.12.2023 | 53 pages

Johanna Timonen

The construction stage carbon footprint calculations of an infrastructure project and reducing CO₂ emissions.

The purpose in this thesis was to calculate the carbon footprint of an infrastructure project and to find ways to reduce emissions during construction. The main goal of the thesis was to increase awareness of a medium-sized infrastructure construction the company on the subject and to find concrete ways to reduce emissions controlled by company during construction.

The work was carried out as a case study and was supplemented with information from the literature. The calculation of the thesis was carried out based on the life cycle assessment and using the infrastructure add-on of the One Click LCA software. The calculations were executed after the completion of the construction to make the results more reliable.

The calculated carbon footprint was comparable to the source materials. The largest emission sources were soil materials and their transportation, pipe and well materials and the use of machinery. The most significant ways to reduce the carbon footprint were using of renewable fuels, using recycled materials and optimization of transportations.

All in all, the thesis achieved its set goals. The company will utilize the obtained information by setting environmental and emission reduction goals, training personnel, and planning future investments.

Keywords:

carbon footprint, greenhouse gases, low-carbon approaches, infrastructure construction, road network construction, municipal engineering, life cycle analysis

Sisältö

1 Johdanto	6
2 Infrarakentamisen päästöjen hallinta	9
2.1 Lainsäädäntö ja tavoitteet CO ₂ -päästöjen hallinnan taustalla	9
2.2 Rakentaminen osana kansallisia tavoitteita	10
2.3 Infrastrukturi ja infrarakentaminen osana kansallisia tavoitteita	11
2.4 Infrarakentamisen ominaispiirteet ja haasteet CO ₂ -päästölaskennassa	12
2.5 Keinot CO ₂ -päästöjen vähentämiseksi infrarakentamisessa	14
2.5.1 Työkoneet	17
2.5.2 Materiaalit	19
2.5.3 Kuljetukset	24
2.5.4 Työmaasähkö	25
2.5.5 Jätteet ja jätteiden kierrätys	25
3 Menetelmät	26
3.1 Tutkimusmenetelmät	26
3.2 LCA-laskenta	27
3.3 One Click LCA -ohjelmisto	29
4 Laskenta	30
4.1 Laskennan rajaukset	32
4.2 Tietojen syöttö	33
5. Tulokset	36
5.1 Tulosten oikeellisuuden arviointi	39
5.2 Mihin urakoitsija pystyi vaikuttamaan rakennusvaiheessa	40
5.2.1 Työkoneet	40
5.2.2 Kuljetukset	41
5.2.3 Työmaasähkö	42

5.2.4 Jätteet ja jätteiden kierrätys	42
5.3 Mihin olisi voinut vaikuttaa tilausvaiheessa	43
5.3.1 Materiaalit	43
5.4 Tulosten yhteenveto	44
6 Johtopäätökset	45
Lähteet	47

Liitteet

Liite 1. Standardin EN 15804+A1 mukaiset tulokset	52
Liite 2. Standardien EN-15804:2013+A1 ja :2019+A2 mukaiset tulokset	53

Kuvat

Kuva 1. Elinkaarilaskennan vaiheet	28
Kuva 2. Ilmakuva työmaasta toteutuksen päätyttyä keväällä 2022	32
Kuva 3. Esimerkkiotos manuaalisesta tietojen syötöstä One Click LCA - ohjelmistossa.	33

Kaaviot

Kaavio 1. Käytettyjen resurssien osuus kohteen hiilijalanjäljestä	38
Kaavio 2. Eri lähtötietoluokkien osuus kohteen hiilijalanjäljestä	38

Taulukot

Taulukko 1. Yhteenlasketut One Click LCA -laskentaohjelmistoon syötetyt määrät.....	35
Taulukko 2. Laskennan tulokset	37
Taulukko 3. Eri resurssilähteiden vaikutukset kohteen hiilijalanjälkeen	39

1 Johdanto

Infra-ala on muuta rakennusalaan huomattavasti jäljempänä päästötavoitteissaan ja toimenpiteissään päästöjen vähentämiseksi. Koska infrastruktuuri on merkittävässä asemassa Suomen hallituksen asettamien päästövähennystavoitteiden saavuttamisen kannalta, on aihe erittäin ajankohtainen.

Työn tarkoituksena on lisätä toimeksiantajayrityksen tietoisuutta aiheesta sekä pohtia konkreettisia toimenpiteitä, joiden avulla voisi asettaa koko yrityksen toimintaa koskevia päästötavoitteita sekä lopulta lähteä tavoittelemaan hiilineutraaliutta. Yritys saavutti Rakentamisen Laatu Rala Ry:n ympäristösertifikaatin kesällä 2023 ja tässä opinnäytetyössä opittuja asioita tullaan hyödyntämään laajasti ympäristöjärjestelmän rakentamisessa sekä kehittämisessä.

Toimeksiantajayritys on keskisuuri maanrakennusalan yritys, jossa ei ole kiinnitetty vielä juurikaan huomiota sen toiminnan hiilidioksidipäästöihin, niiden vähentämiseen tai kompensointiin, eli opinnäytetyössä tarkasteltava työmaa on käytännössä nollataso, josta yrityksen toimintaa lähdetään kehittämään eteenpäin.

Toimeksiantajayrityksen toimintaympäristössä ei tilaaja- tai kuntatasolla säädellä lainkaan infrarakentamisen aikaisia hiilidioksidipäästöjä tai vaadita urakoitsijoilta päästöseurantaa. Esimerkiksi Helsingin kaupungissa sekä muutamissa muissa isoissa kunnissa erilaiset infrarakentamisen päästövelvoitteet ja hiilineutraali infrarakentaminen ovat jo arkipäivää paikallisille yrityksille. Pääkaupunkiseudulla hyödynnetään hankintalain mahdollistamaa laatupisteytystä, jossa urakoitsijat saavat etua esimerkiksi siitä, jos heillä on riittävä määrä täyssähköistä kalustoa. On siis selvää, että tulevaisuudessa tämä tulee olemaan osa todellisuutta myös muissa Suomen kunnissa.

Koska infrarakentamisessa kate on pieni ja koska noin 50 % toimeksiantajayrityksen liikevaihdosta tulee julkiselta sektorilta, on ilmastonmuutoksen hillitsemisen lisäksi myös taloudellisesti kannattavaa kehittää toimintaa rauhallisesti ja kauaskantoisesti.

Toimeksiantajayrityksen tavoitteena on olla edelläkävijä ja ottaa kansalliset CO₂-päästövähennystavoitteet osaksi yrityksen jokapäiväistä toimintaa ennen lainsäädännön tai asiakaskunnan luomaa pakkoa. Tällä tavoin yritys pystyy suunnittelemaan tarvittavat investoinnit, kouluttamaan henkilökuntansa ja sopeuttamaan toimintansa tarvittaviin muutoksiin rauhassa pitkällä aikajänteellä.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan yhden esimerkkityömaan avulla katu- ja infrahankkeiden rakentamisvaiheen hiilijalanjälkeä sekä hiilidioksidipäästölähteiden rakennetta case study-menetelmän kautta kirjallisuuslähteitä hyödyntäen. Opinnäytetyötä on lähdetty toteuttamaan kohteena olevan työmaan valmistumisen jälkeen, jolloin laskennassa on voitu hyödyntää todellisia toteutuneita määriä ja siten saada luotettavampi arvo hiilijalanjäljelle. Työn laskenta on rajattu koskemaan ainoastaan rakentamisen aikaisia päästöjä, minkä lisäksi työmaatoiminnot, kuten sosiaalityöjen kulutus, on rajattu laskennan ulkopuolelle. Koska tässä esimerkkityömaassa tilaaja määräsi käytettävät materiaalit jo tarjouslaskentavaiheessa, on opinnäytetyössä käsitelty myös hieman syvällisemmin sitä, mihin päästövähennystoimiin nimenomaan toimeksiantajayritys urakoitsijana pystyi vaikuttamaan ja mihin toimiin taas tilaaja olisi voinut vaikuttaa.

Opinnäytetyön toteutuksen keskeisenä tavoitteena on ollut laskea tarkasteltavan työmaan hiilijalanjälki ja selvittää, millä urakoitsijan hallinnassa olevilla keinoilla tuloksia saisi pienennettyä. Keinoja tarkasteltaessa on hyödynnetty aihealueen kirjallisuutta sekä laskentaohjelman antamia vertailutuloksia sen suhteen, mikä tulos olisi ollut erilaisia parametrejä muuttamalla.

Opinnäytetyö oli myös keino tutustua erilaisiin kasvihuonepäästöjen laskentamenetelmiin sekä -ohjelmistoihin, jolloin yrityksellä on tulevaisuutta varten selkeä kuva niiden toiminnallisuuksista ja hyödyistä.

Tämä opinnäytetyö koostuu seitsemästä luvusta, joissa käsitellään teoriaa, menetelmiä, toteutusta, eli tässä tapauksessa laskentaa, tuloksia sekä tulosten pohjalta tehtäviä analysointeja ja johtopäätöksiä. Työn ensimmäisessä ja toisessa luvussa on kuvattu teoriaa infrarakentamisen hiilijalanjälkilaskennasta, sen haasteista sekä nykytilasta. Teoriaa on hyödynnetty työn taustojen ymmärtämisessä sekä myöhemmässä vaiheessa tulosten analysoimisessa ja johtopäätösten luomisen tukena. Työn kolmannessa luvussa on käsitelty tutkimusmenetelmiä sekä valittua laskentaohjelmistoa. Neljännessä luvussa pureudutaan syvällisemmin työn toteutukseen ja laskennan suoritukseen. Työn viidennessä luvussa on kuvattu aikaansaadut tulokset ja lopuissa kappaleissa on käsitelty sitä, miten tulokset vertautuvat kirjallisuuslähteisiin ja mitä johtopäätelmiä niistä voidaan tehdä.

2 Infrarakentamisen päästöjen hallinta

Infrarakentaminen koostuu maa- ja vesirakentamisesta sekä itse infrastruktuurin rakentamisesta, kuten väylien, teiden sekä yhdyskuntatekniikan rakentamisesta (Lehtovirta 2023). Infrarakentamisen hiilijalanjäljellä tarkoitetaan koko hankkeen tai rakennettavan kohteen koko elinkaaren aikaisten kasvihuonekaasujen kokonaismäärää (Väylä 2023).

Vähähiilisellä tai vähäpäästöisellä infrarakentamisella tarkoitetaan sellaista rakentamista, jossa rakennetun kohteen hiilijalanjälki on pienempi tavanomaisin menetelmin ja resurssein rakennettuun kohteeseen verrattuna. Vähähiilisessä rakentamisessa on huomioitu koko hankkeen elinkaari ja merkittäviä päästövähennysmahdollisuuksia on pyritty aktiivisesti toteuttamaan niin suunnittelussa kuin rakentamisenkin aikana. (Väylä 2023.)

2.1 Lainsäädäntö ja tavoitteet CO₂-päästöjen hallinnan taustalla

Ensimmäisen sysäyksen nykyisille ilmastonmuutosta sekä maapallon hiilijalanjälkeä vähentävälle toimille antoi Pariisin ilmastososopimus, joka astui voimaan 4.11.2016 osana aiemmin laadittua Yhdistyneiden kansakuntien (myöh. YK) ilmastonmuutosta koskevaa puitesopimusta. Pariisin ilmastososopimuksen tavoitteena on rajata ilmaston lämpeneminen alle 1,5 asteeseen. Tavoitteen saavuttamiseksi sopijaosapuolet sitoutuvat merkittäviin sekä jatkuvasti tiukentuviin toimenpiteisiin, jolloin päästöjä ei vain vähennetä, vaan osapuolet sitoutuvat myös tarvittavaan teknologian kehittämiseen, rahoituksen ylläpitoon sekä toiminnan läpinäkyvyyteen. (Ympäristöministeriö n.d.c.)

Pariisin sopimuksen yhteydessä YK:ssa laadittiin globaali kestävän kehityksen toimintaohjelma, josta käytetään nimitystä Agenda2030. Toimintaohjelma sisältää 17 kestävän kehityksen tavoitetta, jotka jokaisen maailman maan tulisi saavuttaa vuoteen 2030 mennessä. Jokainen maa vastaa itse tarkemmista

tavoitteiden saavuttamiseksi tähtäävistä konkreettisista suunnitelmista ja raportoi niiden edistymisestä suoraan YK:lle. (United Nations 2015.)

Pariisin ilmastosopimuksen sekä Agenda2030 tavoitteiden saavuttamiseksi sekä ylläpitämiseksi Euroopan Unionissa (myöh. EU) laadittiin vuonna 2019 vihreän kehityksen ohjelma, jolla EU pyrkii vähentämään CO₂-päästöjään 55 % vuoteen 2030 mennessä, olemaan hiilineutraali vuoteen 2050 mennessä sekä olemaan hiilinegatiivinen tämän jälkeen. Vihreän kehityksen ohjelmassa on määritelty toimenpiteitä tavoitteiden saavuttamiseksi ja joiden toteuttamiseen jokainen EU:n jäsenmaa on sitoutunut. (Euroopan parlamentti 2022.)

Kaikki edellä mainitut ohjelmat ja sopimukset ovat johtaneet Suomen hallituksen omaan tavoitteeseen, jossa Suomi tavoittelee hiilineutraaliutta vuoteen 2035 mennessä. Hankkeen toteutusta varten Suomessa on perustettu työryhmä, jonka tarkoituksena on valvoa erilaisten kehityshankkeiden toteutusta sekä tarvittavien lainsäädäntöjen muutoksia. (Ympäristöministeriö n.d.a.)

2.2 Rakentaminen osana kansallisia tavoitteita

Suomessa rakennukset aiheuttavat 32 % kasvihuonepäästöistä ja niissä kulutetaan melkein 40 % käytettävästä energiasta. Rakentaminen taas aiheuttaa yksin 6 % kaikista Suomen päästöistä (Rakennusteollisuus n.d).

Agenda2030 -ohjelman myötä Suomen valtioneuvosto on laatinut selonteon siitä, miten Suomi lähtee toteuttamaan allekirjoittamaansa kestävän kehityksen ohjelmaa. Selonteossa kuvataan Suomen tavoite olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja miten rakentamisen huomioiminen on oleellisessa asemassa tämän tavoitteen saavuttamisessa. Selonteossa kuvataan rakennetun ympäristön huomioimisen tärkeyttä kestävän kehityksen ja vihreämmän tulevaisuuden takaamiseksi. (Valtioneuvoston kanslia 2020.)

Merkittävimpiä selonteon pohjalta syntyneitä hankkeita ovat maankäyttö- ja rakennuslain uudistus, puurakentamisen edistäminen sekä vähähiilisen rakentamisen tiekartan luominen ja toimeenpano.

Erityisesti maankäyttö- ja rakennuslain uudistuksen päätavoitteina on ollut saavuttaa hiilineutraali yhteiskunta, vahvistaa luonnon monimuotoisuutta, parantaa rakentamisen laatua sekä edistää digitalisaatiota. (Ympäristöministeriö n.d.b.)

Osana Agenda2030 -toimintasuunnitelmaa rakennusteollisuus laati yhdessä sidosryhmiensä kanssa vähähiilisen rakennusteollisuuden tiekartan vuonna 2020. Tiekartan tavoitteena on tunnistaa rakennusalan päästölähteet, luoda toimenpiteet päästöjen vähentämiseksi, tunnistaa päästövähennysten esteet sekä luoda toimintamallit vähähiilisyden mahdollistamiseksi. Tiekartan mukaan rakennetun ympäristön päästöistä 76 % tulee käyttövaiheen energiasta, 15 % tulee rakennusmateriaaleista, 7 % tulee kuljetuksista ja työmaatoiminnoista ja alle 2 % tulee muista toimista, kuten rakennusten purkamisista sekä jätteistä.

Tiekartta kuvaa toimenpiteet, joilla vähennystoimet ovat mahdollisia ja joilla potentiaaliset esteet poistetaan, minkä lisäksi tiekartta painottaa tarvittavia vähennystoimia niin julkiselta- kuin yrityssektoriltakin. Koska suurimmat päästöt tulevat käyttövaiheen energiankulutuksesta, on ensiarvoisen tärkeää, että uusista rakennuksista tehdään mahdollisimman vähäenergisiiä, mutta myös, että korjausrakentamiseen panostetaan ja että erityisesti 40–50 vuotta sitten valmistuneet rakennukset korjataan vastaamaan nykystandardeja.

(Rakennusteollisuus n.d.b.)

2.3 Infrastrukturi ja infrarakentaminen osana kansallisia tavoitteita

Infrarakentaminen kattaa merkittävän osan rakentamisen päästöistä, minkä lisäksi pelkkä liikenne aiheuttaa 19 %:n kasvihuonepäästöt Suomessa (Rakennusteollisuus n.d.c). Infrarakentaminen sekä infrastrukturi on huomioitu Valtionneuvoston laatimassa Agenda2030 -selonteossa muun muassa nostamalla perusväylänpidon rahoitusta, ylläpitämällä ja kehittämällä liikenne- ja viestintäverkkoja, kehittämällä liikennejärjestelmien toimivuutta, turvallisuutta ja kestävyyttä valtakunnallisen 12-vuotisen suunnitelman avulla sekä

muokkaamalla nykyistä raideinfraa ja lisäämällä sen investointeja.
(Valtioneuvoston kanslia 2020.)

Infrastruktuurin kehitys on olennaisessa osassa kansallisten päästövähennystavoitteiden saavuttamisen suhteen, mutta silti infra-ala ei ole saanut samanlaista huomiota päästövähennystoimien suhteen, kuin mitä talonrakennussektori. Talonrakentamisen päästövähennyksiä ohjataan laajalti muun muassa lainsäädännön sekä toimintaa ohjaavien tiekarttojen avulla, mutta infrarakentamisen puolelta nämä puuttuvat. Esimerkiksi talonrakentamisen materiaalien valmistuspäästöjen määrää säädellään, mutta infrarakentamiseen tämä on vasta tulossa. Infra-alalla ei ole päästövähennystavoitteiden suhteen yhtenäistä visiota alan toimijoiden suhteen eikä laaja-alaisia päästöleikkaustoimia ole tehty. (Rakennusteollisuus 2020a; Rakli Ry 2021.)

Jotta kansallisten päästövähennystavoitteiden saavuttaminen olisi mahdollista, tulee se tulevaisuudessa merkittävästi lisäämään infrarakentamisen määrää ja siten myös infrarakentamisesta syntyviä päästöjä, jolloin keinot infrarakentamisen päästöjen vähentämiselle korostuvat. (Rakli Ry 2021.)

2.4 Infrarakentamisen ominaispiirteet ja haasteet CO₂-päästölaskennassa

Talonrakennus kattaa 75 % kaikesta rakentamisesta ja infrarakentaminen 25 %. Infrarakentaminen koostuu pääosin maanrakentamisesta, tie- ja katuverkoston rakentamisesta, yhdyskuntatekniikan, kuten vesiverkon, sähköverkon ja kaukolämpöverkon rakentamisesta, silta- ja tunnelirakentamisesta sekä ratarakentamisesta. Myös ilma- ja vesitieliikenne kuuluvat infrastruktuuriin ja siten infrarakentamisen piiriin. Infrarakentaminen kattaa sekä uusrakentamisen että korjausrakentamisen. Infrastruktuurin käytönaikaiset huolto- ja kunnossapitotyöt sisältävät muun muassa teiden talvikunnossapidon sekä yhdyskuntatekniikan korjaustyöt esimerkiksi putkirikkojen myötä. (Rakennusteollisuus 2020a.)

Infrarakentamisen tuotannosta 60 % suuntautuu julkiselle sektorille ja 40 % yksityiselle sektorille, kuten rakennusliikkeille. Infrarakentamisen toiminta on hyvin kausipainotteista ja sen keskiarvollinen kate on vain 4 %, minkä vuoksi ala on erittäin herkkä kustannusten nousulle sekä materiaalien saatavuusongelmille. Erityisesti bitumi ja polttoaineet, joiden hinnanmuutokset voivat olla suuria lyhyelläkin aikavälillä, muodostavat noin 20 % koko infra-alan kuluista. (Rakennusteollisuus 2020b.) Nämä kaikki yhdessä mahdollistavat sen, että infra-ala kehittyy hitaasti ja uusia investointeja tehdään vähän ja harkiten. Erityisesti lyhyellä aikavälillä tehtävät toimet päästövähennysten mahdollistamiseksi saattavat nostaa kustannuksia, mikä voi asettaa alan yritykset vaikeaan taloudelliseen asemaan. (Rakli Ry 2021.)

Merkittävimmät päästölähteet infrarakentamisessa tulevat materiaaleista, erityisesti kiviainesten käytöstä, kuljetuksista sekä työkoneiden päästöistä (Rakennusteollisuus n.d; Rakennusteollisuus 2020b). Kiviainesten käytöstä 50 % kuluu tieverkkoihin, 20 % talonrakennukseen, 12 % betoniin ja laastiin, 8 % asvalttiin ja 10 % muihin toimintoihin. Merkittävimpiä toimia päästövähennystavoitteiden takana kiviainesten osalta ovat oikeiden materiaalien valinta jo suunnitteluvaiheessa, pitkäikäiset rakennustuotteet, materiaalihukan ja jätteiden määrän vähentäminen, kierrätys sekä uusiokäyttö. (Rakennusteollisuus n.d.)

Kuljetusten ja työmaatoimintojen päästöt kattavat hieman yli neljänneksen rakentamistoiminnan vuosittaisista päästöistä ja näistä kuljetusten päästöt ovat yksi kolmasosa ja työkoneiden päästöt kaksi kolmasosaa. Työkoneiden päästöistä yksi kolmasosa syntyy talonrakentamisessa ja kaksi kolmasosaa infrarakentamisessa. Infrarakentamisen päästöistä taas viidesosa syntyy yhdyskuntatekniikan rakentamisesta ja neljä viidesosaa väylärakentamisesta. Väylärakentamisessa suurin päästö syntyy maa- ja kiviaineksen siirtelystä, kun taas yhdyskuntatekniikan rakentamisessa suurimmat päästöt syntyvät kaapeli- ja putkikaivantojen kaivamisesta ja asentamisesta sekä maa- ja kiviainesten kuljetuksista. (Rakennusteollisuus 2020b.)

Yleisiä koko Suomen kattavia haasteita erityisesti infrarakentamisen päästövähennystoimille luo säätelevän lainsäädännön puuttuminen, alan yhteisen näkemyksen puute, riittävän tiedon puute, kannattavuusriskit sekä uusiutuvan energian riittävä saatavuus. (Rakennusteollisuus 2020b.)

Merkittävän haasteen infrarakentamisen päästölaskennalle taas luo julkisen ja vertailukelpoisen pohjatiedon puute. Suomesta ei löydy dataa infrarakentamisen päästöistä tai välttämättä edes rakentamisen määristä. Tämän lisäksi yhteiset työkalut ja säännökset päästöjen laskemisen suhteen ovat pitkään puuttuneet alalta. (Rakennusteollisuus 2020b.) Esimerkiksi katujen ja yksityisteiden rakentamisen suhteen ei ole lainkaan tilastointia tai tilastoitu tieto on vanhentunutta. Yhdyskuntatekniikan suhteen kaukolämpö, sähkö- ja maakaasuverkostojen rakentamisen määrätilastointi on olemassa, mutta vesi- tai televerkkojen rakentamisesta se puuttuu. (Rakennusteollisuus 2020b.)

Lähtötietojen puutteen vuoksi esimerkiksi infrarakentamisen rakentamisaikaiset päästöt ovat usein ilman erittelyä mukana koko rakennetun ympäristön päästöissä. Myös materiaalipäästöjen tiedot pohjautuvat usein arvioihin tai harvojen case -tutkimusten pohjalta saatuihin tietoihin. (Rakennusteollisuus 2020a; Rakli Ry 2021.) Lisäksi, koska jo suoritetuista laskennoista on usein rajattu suuriakin kokonaisuuksia pois, on viimeisimpien tutkimusten pohjalta päätelty, että esimerkiksi vähähiilisen rakennusteollisuuden tiekartassa esitetyt tiedot infrarakentamisen materiaalien päästöistä ovat mahdollisesti jopa 58 % todellisuutta pienemmät (Lehtovirta 2023).

Vertailuja tehdessä ja tuloksia analysoitaessa on myös huomattu, että eri elinkaarilaskentatapojen ja -ohjelmistojen välillä tulokset ovat vaihdelleet, vaikka hanke- ja materiaalitiedot olisivat olleet samat (Väylä 2020).

2.5 Keinot CO₂-päästöjen vähentämiseksi infrarakentamisessa

Merkittävimpiä toimia infrarakentamisen päästöjen vähentämiseksi ovat paikallisten materiaalien käyttö, työmaan sisäisten ja ulkoisten maamassojen siirtelyn sekä kuljetusten optimoiminen, eri toimijoiden töiden yhdistäminen,

työkoneiden käytön tehostaminen sekä biopolttoaineiden käytön lisääminen. Erityisesti työkoneiden päästöt kuuluvat EU:n taakanjakosektorille, jonka mukaisia toimia Suomessa ovat esimerkiksi vähäpäästöisten ja energiatehokkaiden työkoneiden osuuden kasvattaminen, työkoneiden hiilidioksidipäästöjen sääntelyn kehittämistoimiin osallistuminen sekä työkoneiden energiatehokkaan käytön edistäminen informaatio-ohjauksen keinoin. Selvää on, että uutta ymmärrystä tarvitaan jatkuvasti niin materiaaleista, rakenteista, talotekniikasta, energiantuotannosta sekä muusta infrastruktuurista. (Rakennusteollisuus 2020b.)

Julkisen sektorin sekä julkisten tilaajien keinoja vaikuttaa infrarakentamisen hiilijalanjälkeen ovat esimerkiksi lainsäädännön ja säännösten muodostumisen ohjaaminen sekä niiden noudattamisen valvominen, informaatio-ohjaus ja sen kehittäminen sekä taloudellinen ohjaus sekä sen kehittäminen. Julkisen sektorin tehtävä on näyttää suunta ja toimien realistisuus sekä mahdollistaa ja tukea innovaatioiden sekä alan kehityksen jatkumoa esimerkiksi rahoituksen voimin. Erityisesti valtio mahdollistaa ja osallistuu osaltaan vähähiilisen rakentamisen rahoituksen määrittelyyn sekä informaatio-ohjaukseen Tilastokeskuksen kautta. (Rakennusteollisuus 2020b.)

Kunnat kattavat jopa kolmasosan kaikesta infrarakentamisesta (Lehtovirta 2023). Kuntatasolla infrastruktuurin elinkaaren hiilijalanjälkeen voidaan vaikuttaa esimerkiksi tehokkaalla ja ympäristöystävällisellä maankäytön suunnittelulla, hankkeiden resurssitehokkaalla suunnittelulla, tiedottamalla ja ohjeistamalla sekä sitouttamalla urakoitsijat päästövähennystavoitteisiin sopimusteknisin keinoin. (Rakennusteollisuus 2020b.)

Ensiarvoisen tärkeää olisi myös, että julkiset tilaajat, niin kunta- kuin valtiotasollakin ottaisivat päästövähennystoimet huomioon jo hankesuunnitteluvaiheessa sekä tarjouspyynnöissä. Nykyinen julkisen sektorin hankintalainsäädäntö sallii yksittäisten ympäristö- ja päästövähennystoimien hyödyntämisen osana hankintojen vertailu- ja bonusperusteita (Väylä 2019).

Tällä tavoin esimerkiksi urakoitsija voisi saada bonuspisteitä ja siten hyötyä tarjouskilpailussa, mikäli se käyttäisi uusiutuvia polttoaineita tai omistaisi sähkökäyttöisiä työkoneita (Motiva n.d.b).

Infrahankkeen yleissuunnitteluvaiheessa päätetään, voiko olemassa olevaa tietä tai yhdyskuntatekniikkaverkostoa hyödyntää muutos- ja korjausrakentamisen kautta vai lähdetäänkö rakentamaan kokonaan uutta kokonaisuutta, millä on merkitystä kestäväen kehityksen sekä hankkeesta syntyvien hiilidioksidipäästöjen kannalta. Yleissuunnittelun aikana kasvihuonekaasujen päästöjen kannalta voidaan vaikuttaa esimerkiksi silta- ja tunnelirakenteiden tarpeellisuuteen ja määrään, pohjanvahvistusmenetelmiin sekä pystygeometriaan. Hankesuunnittelu toteutetaan asemakaavatarkkuudella ja hankesuunnittelun aikana määritellään kohteen tarkka sijainti, joka taas päästöjen suhteen vaikuttaa esimerkiksi maanpinnan tasauksen määrän tarpeellisuuteen sekä uuden tien tai radan kohdalla myös esimerkiksi tuleviin nopeusrajoituksiin sekä liittymien määrään. Rakennesuunnitteluvaiheessa voidaan vaikuttaa massatasapainoon sekä käytettäviin materiaaleihin, kohteen otto- ja läjityspaikkoihin sekä kuljetuksiin. (Väylä 2019.)

Rakennesuunnitteluvaiheessa voidaan myös huomioida muut lähellä olevat työmaat, jolloin työmaatoimintoja yhdistämällä on mahdollista tehostaa työmaiden kiertotaloutta sekä pienentää kuljetusmatkoja (Väylä 2019; Rakli Ry 2021).

Yksityisen sektorin sekä erityisesti urakoitsijoiden näkökulmasta merkittävin keino hankkeen rakentamisaikaisten päästöjen vähentämiseksi on suorittaa työtilaajan suunnitelmien, vaatimusten sekä ohjeiden mukaisesti (Väylä 2020). Muita merkittäviä keinoja vaikuttaa infrarakentamisen hiilijalanjälkeen ovat esimerkiksi oikeanlaisen rakentamistavan sekä käytettävän kaluston valinta, vähähiilisten rakennusmateriaalien valinta, resurssitehokkaiden työmaatoimintojen kehitys, biopolttoaineiden sekä sähkökäyttöisten työkoneiden suosiminen. Lisäksi koska infra-ala perustuu pitkälti alihankintaketjuihin, on myös tärkeää, että urakoitsija kouluttaa säännöllisesti niin omaa henkilöstöään

kuin alihankintaketjuaankin sekä ottaa vähähiilisyyden mukaan laatimiinsa toimitus- sekä alihankintasopimuksiin. (Rakennusteollisuus 2020b.)

2.5.1 Työkoneet

Keinoja työkoneiden aiheuttamien hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi ovat moottoritehojen pienentäminen, pakokaasupäästöjen säätely, biopolttoaineen valinta, koneiden sähköistäminen, säännölliset huollot sekä taloudellisen ajotavan ylläpito. Työkoneita infrarakentamisessa on monenlaisia, esimerkiksi kadunrakennuksessa sekä yhdyskuntatekniikassa erilaiset kaivinkoneet, kauhakuormaajat, valssijyrät, tiehöylät sekä asvalttimassanlevityslaitteistot ovat osa olennaista kalustoa.

EU direktiivi 97/68/EY määrää sääntelemään työkoneiden pakokaasupäästöjä. Tämänhetkiset Suomessakin käytössä olevat vaatimukset ovat tulleet EU asetuksen (2016/1628) myötä. Niiden mukaan korkeimmassa Stage V -luokitus vaatimus koskee kaikkia dieselkäyttöisiä työkoneita, sekä teholuokaltaan yli 56 kW kokoisissa koneissa kaikkia työkoneluokkia käytettävästä polttoaineesta riippumatta. Asetuksen mukaisia säänneltyjä päästöjä ovat häkä, typenoksidit, pienhiukkaset, hiilivedyt sekä Stage IV -luokitukselta lähtien myös ammoniakkipäästöt. Stage IV- tai V-luokituksissa ei rajoiteta työkoneen hiilidioksidipäästöjä, mutta moottorivalmistajan on ilmoitettava päästön määrä. (Motiva n.d.b; Koneyrittäjät Ry n.d.)

Työkoneen käytön tehokkuutta ja siten päästöjen syntyä voidaan parantaa esimerkiksi moottorin hyötysuhdetta parantamalla sekä vaikuttamalla koneen painoon tai aerodynamiikkaan. Koska työkoneissa, kuten kaivinkoneissa tai pyöräkoneissa, ilmanvastus on usein merkityksellinen ja koska niiltä vaaditaan usein suuria vastapainoja riittävän voimansiirtotehon takaamiseksi, on tehokkain keino vaikuttaa päästöihin parantamalla moottorin hyötysuhdetta. Tätä hyötysuhdetta voidaan parantaa esimerkiksi pakokaasujen hukkalämmön talteenotolla, moottorikitkan pienentämisellä sekä esimerkiksi kaasunvaihdon, palamisen ja apulaitteiden parantamisella. (Motiva n.d.a; VTT 2016.)

Suurin osa erityisesti suuripäästöisistä koneista käyttää polttoaineenaan joko dieseliä tai polttoöljyä. Uusiutuviin polttoaineisiin vaihtaminen voi parhaimmillaan tiputtaa syntyvien hiilidioksidipäästöjen määrää jopa kymmenillä prosenteilla. Käytetyn polttoaineen vaihtaminen uusitutuvaan dieseliin tai uusiutuvaan polttoöljyyn, ei vaadi muutoksia koneisiin vaan onnistuu suoraan sellaisenaan, mutta niiden saatavuudessa voi olla haasteita eri paikkakunnilla. (Motiva n.d.b.)

Myös biokaasu- tai sähkökäyttöisiä koneita löytyy jo jonkin verran erityisesti traktorien, trukkien sekä pienkoneiden osalta. Näiden kannalta haasteena on kuitenkin erityisesti biokaasujakeluverkoston suppeus sekä sähkökäyttöisillä koneilla työmaat, jotka jäävät kokonaan latausinfraan ulkopuolelle tai se olisi erittäin vaikea järjestää. Biokaasu olisi kuitenkin polttoaineena erittäin vähäpäästöinen ja sähkökoneita voidaan pitää jopa täysin päästöttöminä, mikäli niiden lataamiseen käytetty sähkö on uusiutuvaa alkuperää. (Motiva n.d.b.)

Työkoneiden säännöllisillä huolloilla varmistetaan niiden toimivuus suunnitellulla tavalla, jolloin ylimääräisiä päästöpiikkejä ei pääse käytön aikana syntymään. Esimerkiksi moottorille tulevan ilmavirran vähentyessä moottori toimii vajailla tehoilla, mikä kasvattaa syntyvien päästöjen määrää. Rikkinäisellä koneella ei tulisi koskaan työskennellä. (Motiva n.d.a.) Lisäksi esimerkiksi tarpeettomat öljyvuodot ja muut mahdollisesti vältettävissä olevat rikkoontumiset aiheuttavat ympäristöhaittojen lisäksi myös välillisiä päästöjä esimerkiksi palolaitoksen suorittaman öljyvahinkotorjunnan myötä. Säännöllisillä ja huolellisilla huolloilla voidaan siis vaikuttaa niin suoriin kuin välillisiin päästöihin, kuten myös välttää turhien kustannusten syntyä.

Ammattitaitoisella ja säännöllisesti koulutetulla työkoneenkuljettajalla on mahdollisuus vaikuttaa työkoneen käytöstä syntyviin hiilidioksidipäästöihin taloudellisen ajotavan avulla. Taloudellisessa ajotavassa kuljettaja voi vaikuttaa esimerkiksi vaikuttaa tyhjäkäynnin keston, kuljetusnopeuteen sekä lastaus- ja kaivamistekniikoihin. Esimerkiksi kaivinkonetyöskentelyssä oikeanlaisen kauhan valinnalla voidaan vaikuttaa siihen, ettei turhaa kaivuuta tapahdu, jolloin myös syntyvät päästöt ovat pienemmät. Ajamista voidaan auttaa myös erilaisilla

älykkäillä ohjausjärjestelmillä, kuten 3D-järjestelmillä, joiden avulla varmistetaan se, että maata kaivetaan, täytetään ja kuljetetaan vain juuri oikeat tarvittavat määrät, jolloin hukan eliminoimisen myötä turhan polttoaineen kulutus ja siten syntyvien päästöjen määrä pienenee. (Motiva n.d.a.)

Työmaan työvaiheiden teknisen toteutuksen, logistiikan sekä oikea-aikaisten ajoitusten suunnittelulla sekä erilaisten työmaa- ja sääolosuhteiden huomioimisella voidaan myös oleellisesti vaikuttaa turhien työvaiheiden aiheuttaminen päästöjen syntyyn. Eri toimijoiden ja yhteistyötahojen välinen aktiivinen kommunikointi lisää työmaan tehokkuutta. (Motiva n.d.a ja n.d.b.)

Esilämmitetyssä työkoneessa pakokaasupäästöt ovat pienemmät. Lisäksi turvallisuus sekä ajomukavuus ja niiden myötä toiminnan tehokkuus paranevat, kun liikkeelle lähdettäessä esimerkiksi lasit ovat huurteettomia ja koneen hytti lämmin. Sopiva esilämmitysaika tulee säätää ulkoilman lämpötilan mukaan. Esilämmityksen puuttuminen lisää polttoaineen kulutusta sekä lyhentää moottorin käyttöikää. Myös ajoneuvojen sähkölaitteet kuluttavat yllättävän paljon sähköä, jolloin niitä tulisi käyttää vain tarvittaessa. Esimerkiksi penkinlämmitin tai äänentoistolaitteet tulisi sammuttaa aina, kun et niitä ei enää tarvitse. (Motiva n.d.a.)

2.5.2 Materiaalit

Rakentamisen päästöistä 15 % tulee rakennusmateriaaleista (Rakennusteollisuus 2020a). Infrarakentamisen suhteen väylien rakentamisessa materiaalien käytön päästöjen osuus on 434 ktCO₂. Suurimmat materiaalien päästölähteet väylien rakentamisessa muodostuvat betonista (338 ktCO₂), asfaltista (73 ktCO₂) ja teräksestä (17 ktCO₂). Yhdyskuntatekniikan suurimmat päästöt aiheutuvat sähköverkon (164 ktCO₂e), vesijohtoverkon (39 ktCO₂e) ja kaukolämpöverkon (11 ktCO₂e) rakentamisesta. Sähköverkkojen rakentamisessa suurimmat materiaalipäästöt syntyvät alumiinin ja muovin käytöstä. Vesijohtoverkoilla suurimmat materiaalipäästöt aiheutuvat betonista sekä metallista ja kaukolämpöverkoissa muovista. Myös kiviainekset ovat

merkittävässä asemassa osana infrarakentamisen päästöjä, joskin niiden valmistus ja jalostus kattavat vain pienen osan päästöistä. (Rakennusteollisuus 2020a.)

2.5.2.1 Kiviainekset

Luonnosta peräisin oleva jalostettu kiviaines on yleisimmin kalliosta tai sorasta murskattua ja seulottua kiviainesta. Tyypillisimpiä kiviainestuotteita ovat erimerkiksi sora, hiekka, louhe ja kalliomurske. Kiviaineksia käytetään Suomessa pääasiassa rakentamiseen sekä muiden rakennusmateriaalien valmistukseen. Asvaltin ja betonin valmistuksen osuus kaikesta kiviainesten käytöstä on noin 20 %. Rakentamiseen käytettävien kiviainesten määrä on EU-tason vertailussa suuri; pääosin siksi, että Suomen ilmasto edellyttää roudankestävää rakentamista. Suurin osa kiviaineksista käytetään teiden, katujen ja rautateiden rakentamiseen. (Rakennusteollisuus 2020a.)

Kiviainestuotteiden ja niiden jalostamisen hiilijalanjälki ei ole kovin suuri, mutta niiden kuljettamisesta syntyy merkittävät päästöt. Katurakentamisen rakentamisvaiheen päästöistä jopa 50 % saattaa muodostua pelkästään maamassojen kuljetuksista. Verkstorakentamisessa poiskaivettavia maamassoja taas ei yleensä pysty hyödyntämään uudelleen samassa kohteessa, vaan ne tulee korvata toisen tyyppisellä maa-aineksella, mikä puolestaan lisää niiden kuljettamistarvetta (Rakennusteollisuus 2020a). On myös huomionarvoista, että luonnosta saatavat neitseelliset kiviainesten raaka-aineet loppuvat tulevaisuudessa, jolloin kestävä kehityksen takaamiseksi niiden käyttöä tulisi pyrkiä korvaamaan erilaisilla kierrätysratkaisuilla, uusiomateriaaleilla sekä erilaisilla teollisuuden sivutuotteilla tai jätteillä, kuten betonimurskeella tai vaahtolasilla. (Rakennusteollisuus 2020a; Rudus n.d; Foamit n.d.)

2.5.2.2 Asvaltti

Asvalttia valmistetaan sekoittamalla bitumia, mursketta sekä hiekkaa. Tarvittaessa seokseen lisätään myös erilaisia lisäaineita. Asvaltin

valmistuksessa kuuma kiviaines sekoitetaan lämmitettyyn ja juoksevaan bitumiin sekä muihin tarvittaviin aineksiin. Asfaltti varastoidaan lyhytaikaisesti siiloissa ja kuljetetaan asvaltoitavaan kohteeseen kuumana. Asfaltti saavuttaa lopullisen kulutusta kestävän muotonsa jäähtymisen myötä. Bitumi on öljynjalostuksen sivutuote, jossa on runsaasti sitoutunutta hiilidioksidia ja jonka valmistus tuottaa suuret hiilidioksidipäästöt. (Rakennusteollisuus 2020a; PTL 2012.)

Asfaltti on täysin kierrätettävissä oleva tuote, jolloin sen uusikäytöllä voidaan vähentää merkittävästi erityisesti bitumista aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä. Puhdasta ja oikein poistettua asfalttia voidaan teoriassa kierrättää lukuisia kertoja. Toinen merkittävä keino asfaltin päästöjen vähentämiseksi on vaikuttaa sen valmistusprosesseihin. Esimerkiksi matalalämpöasfaltin valmistuksessa hyödynnetään vaahdotettua bitumia, jolloin asfalttimassan vaadittavaa lämpöä voidaan tiputtaa. Ecoasfaltin valmistuksessa taas valmistusprosessiin käytettävä energia on korvattu uusiutuvilla energiamuodoilla, kuten biokaasulla. (PTL 2012; Peab Asfalt 2021; Peab Oy n.d.)

2.5.2.3 Muovi

Kaikesta valmistetusta muovista 20 % kuluu rakentamiseen (Luhtala 2023) ja yhdyskuntatekniikan rakentamisessa 34,6 % sen päästöistä syntyy muovimateriaaleista (rakennusteollisuus 2020a). Infrarakentamisessa muovia käytetään erityisesti juuri yhdyskuntatekniikan, kuten vesi-, viemäri-, sähkö- ja maalämpöverkostojen putki- ja kaivomateriaalina. Myös esimerkiksi salaojien tai radonpoistojärjestelmien putkimateriaalina toimii muovi. Kun raakaöljystä valmistetaan polttoaineita, syntyy tämän prosessin sivutuotteena monomeereja. Kun näitä monomeereja yhdistetään polymeroimalla ja kun niiden joukkoon lisätään vielä tarvittavia lisäaineita, syntyy muovia. (Luhtala 2023.)

Muovituotteiden hiilijalanjälkeen voi vaikuttaa valmistusprosesseja tehostamalla, muovituotteita kierrättämällä sekä fossiilisten raaka-aineiden korvaamisella biopohjaisilla ja uusiutuvilla raaka-aineilla. Esimerkiksi tuotantolaitoksen energialähteiden vaihtaminen uusiutuviin energiamuotoihin, kuten vihreään

sähköön tai biokaasuun tai tuotantojätteiden hyödyntäminen esimerkiksi lämmöntuotannossa tai uuden muovimateriaalin valmistuksessa pienentävät valmistuksesta aiheutuvia päästöjä (Uponor n.d). Raaka-öljyn sijasta muovia on mahdollista valmistaa myös uusiutuvista lähteistä, kuten sokeriruo'osta, risiiniöljystä, maissista, viljoista ja selluloosasta. Tällaista muovia kutsutaan biomuoviksi ja siitä pystyy valmistamaan täysin vastaavanlaisia muovituotteita kuin perinteisestäkin muovin raaka-aineesta. Biomuovien hiilijalanjälki on perinteisesti valmistetun muovin hiilijalanjälkeä pienempi, mutta toisaalta kestävän kehityksen kannalta on hyvä, että niin kauan kuin fossiilisia polttoaineita kuitenkin vielä valmistetaan, niiden sivutuotteet tulevat hyödynnetyksi muovien muodossa. (Luhtala 2023.)

2.5.2.4 Betoni

Betoni on koko maailman, kuten myös Suomen, eniten käytetty rakennusmateriaali. Betonia käytetään rakennusteollisuudessa monissa eri kohteissa, kuten rakennuksissa, tierakenteissa, tukimuureissa, silloissa ja tunneleissa. Betonia käytetään myös esimerkiksi teiden ja rakennusten perustuksissa, maabetonina sekä väestönsuojissa. Yhdyskuntatekniikassa betonia käytetään esimerkiksi vesiverkoston rakentamiseen putki- ja kaivomateriaalina. Betoniteollisuuden arvion mukaan kaikesta betonin käytöstä Suomessa sen osuus talonrakentamisessa on yhteensä noin 60 % ja infrarakentamisessa noin 25–35 %. (Rakennusteollisuus 2020a.)

Betonin on lujaa kestävä ja pitkäikäistä. Betonia muodostetaan sementistä, vedestä, kiviaineksista sekä erilaisista lisäaineista ja sen kovettuminen tapahtuu kemiallisen reaktion myötä. Betonin pääraaka-aine, sementti on betonin suurin päästölähde. On arvioitu, että betonin hiilipäästöistä noin 70–90 % tulee sen raaka-aineista ja loput 10–30 % valmistusprosessin energiankäytöstä. Tehostamalla betonin valmistusprosessia, minimoimalla käytettävän sementin määrän sekä korvaamalla kiviaineet joko lähellä tuotetuilla kiviaineksilla tai uusioituvilla kiviaineksilla, voidaan merkittävästi pienentää betonin hiilijalanjälkeä. (Rakennusteollisuus 2020a.)

2.5.2.5 Teräs

Teräs on betonin jälkeen yksi yleisimmistä rakennusmateriaaleista. Se on tärkeä rakentamisessa muun muassa sen kestävyys, lujuus sekä pitkäikäisyys vuoksi. Lisäksi erityisesti ruostumattomasta teräksestä valmistetut tuotteet ovat lähes huoltovapaita. (Rakennusteollisuus 2020a.) Infrarakentamisessa terästä käytetään esimerkiksi siltojen ja tunneleiden rakenteissa, kaiteissa, aidoissa, valaisinpylväissä, kaukolämpöputkissa sekä esimerkiksi yhdyskuntatekniikan liitososissa (Lehtovirta 2023).

Teräksen suurimmat hiilidioksidipäästöt syntyvät sen valmistusvaiheista. Rakentamisessa käytettävää terästä voidaan valmistaa kolmella eri tavalla. Rautamalmipohjaisessa valmistustavassa rautaoksidi pelkistetään hiilen avulla raudaksi, joka muunnetaan teräkseksi poistamalla siitä liika hiili. Romumetallipohjaisessa valmistuksessa romumetalli sulatetaan valokaariuunissa ja jalostetaan uudelleen teräkseksi. Ruostumatonta terästä valmistetaan sulattamalla rautaa ja niukkahiilistä ferrokromia valokaariuunissa ilman hiilen poistamista happipuhalluksella. (Rakennusteollisuus 2020a.)

Kierrätetyn teräksen valmistamisen päästöt ovat vain noin neljäsosa malmivalmistuksen päästöistä. Kierrätetty teräs ei kuitenkaan määrältään riitä kattamaan rakennusalan tarpeita ja kysyntää, jolloin malmivalmisteistakin rautaa tarvitaan. Perinteisen teräksen hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää erityisesti valmistusprosessin energiatehokkuutta lisäämällä, esimerkiksi niin, että sen prosessikaasut ja jäännösenergia hyödynnetään sähkön sekä kaukolämmön tuotannossa. Teräksen valmistuksessa rautaoksidi voidaan myös pelkistää raudaksi vedyn avulla, jolloin prosessin hiilidioksidipäästöt tippuisivat murto-osaan hiilipohjaisen pelkistykseen päästöistä. Tällöin kuitenkin tarvitaan moninkertainen määrä sähköä nykyiseen valmistustapaan nähden, jolloin sähkön alkuperä tulee merkittävään asemaan päästöjen suhteen. (Rakennusteollisuus 2020a.)

2.5.3 Kuljetukset

Tieliikenteen päästöt vuositason Suomessa ovat noin 10,4 MtCO₂e. Vuoden 2020 tilaston mukaan kuorma-autoliikenne kattaa 33 % kaikista tieliikenteen päästöistä (Traficom 2023). Lisäksi 7 % kaikesta rakentamisen päästöistä tulee kuljetuksista (Rakennusteollisuus 2020b).

Valtiolla on tavoitteena tiputtaa tieliikenteen päästöjä puolella vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteen toteutumiseksi valtio sitoutuu kehittämään jakeluverkostoa, lisäämään kannustimia erilaisten hankinta- ja romutuspalkkioiden avulla, sekä lisäämään valvontaa, tiedottamista ja ohjausta. Lisäksi uusien autojen valmistuksen suhteen on asetettu CO₂-päästövähennystavoitteita. Raskaan kaluston suhteen vuonna 2025–2029 hiilidioksidipäästöjen tulee olla 15 % pienemmät vuoden 2019 tasoon nähden ja vuodesta 2023 alkaen niiden tulee olla 30 % pienemmät. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2021.)

EU direktiiviin 2007/46/EY perustuvan EU asetuksen (595/2009) myötä EU:ssa säädellään raskaan kaluston käytöstä syntyvien kasvihuonekaasujen määrää Euro-luokituksen avulla. Euroluokitus on pakollinen kaikille yli 12 tonnia painaville kuorma-autoille ja yli 5 tonnia painaville linja-autoille sekä muissa ajoneuvoluokissa se on pakollinen kaikille niille ajoneuvoille, joiden vertailumassa on yli 2610 kg. Tämänhetkinen korkein Euro -päästöluokka, Euro 6, on ollut voimassa vuodesta 2014 lähtien. Siinä typen oksidipäästöistä on poistettu vähintään 90 %. (EU asetus (EY) N:o 595/2009.)

Päästöluokituksen alaisen kaluston lisäksi keinoja pienentää rakennusteollisuuden kuljetuksista syntyviä päästöjä ajoneuvotasolla on moottoritehokkuuden parantaminen, uusiutuvien polttoaineiden käyttö, erilaisten käyttövoimavaihtoehtojen sekä hybridiratkaisujen, kuten sähkökäyttöisyyden tai kaasukäyttöisyyden lisääminen. Kuljetustasolla keinoja päästöjen vähentämiseen ovat logistiikan tehostaminen esimerkiksi kuljetusmatkoja lyhentämällä, eri työmaiden ajoja yhdistämällä sekä hyödyntämällä

kuljetuskaluston täyttää kuljetuskapasiteettia. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2021.)

2.5.4 Työmaasähkö

Koko rakennustoiminnan energian käytöstä 10 % muodostuu sähkön käytöstä (Rakennusteollisuus 2020b). Erityisesti tulevaisuudessa esimerkiksi työmaakoneiden sähköistymisen myötä rakentamisaikaisen sähkönkulutuksen odotetaan nousevan nykyisestä. Tämä luo tarpeita kattavamman työmaasähköistyksen sekä latausinfraan rakentamiselle, minkä lisäksi tulee kiinnittää erityistä huomiota sähkön alkuperään. Merkittävin keino vaikuttaa työmaasähköstä aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen syntyyn, on huolehtia, että sähkö on alkuperältään uusiutuvista lähteistä, kuten tuuli-, aurinko-, vesi- tai ydinsähköstä peräisin. (Motiva n.d.b.)

2.5.5 Jätteet ja jätteiden kierrätys

EU-tasolla rakentaminen ja purkaminen aiheuttavat noin kolmasosan kaikesta syntyvästä jätteestä. Osana EU:n rakennusalaan koskevaa strategiaa Suomessa on tullut vuodesta 2020 asti hyödyntää vähintään 70 % kaikesta syntyvästä rakentamisen jätteestä. Lainsäädännön ja asetusten mukanaan tuomia keinoja parantaa rakennusalan jätteiden kiertotaloutta ovat ensisijaisesti jätteiden uudelleenkäyttämien, toissijaisena kierrätys ja viimesijaisena materiaalien hyödyntäminen esimerkiksi maantäytöissä tai energian talteenotto esimerkiksi polttamalla jätteet. Keinoja rakennusjätteiden hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi ovat jätteiden hyödyntäminen suoraan kohteessa, logistiikan tehostaminen esimerkiksi kuljetusmatkoja lyhentämällä sekä vaikuttamalla rakennustyömaalle tuotavan pakkausmateriaalin määrään. (Euroopan komissio 2016.)

3 Menetelmät

Tässä opinnäytetyössä tutkimusmenetelmänä on käytetty case study -tutkimusta, jota täydennetään hankkimalla taustatietoja aihealueen kirjallisuuden sekä tilastojen avulla. Opinnäytetyön pohjana tarkastellaan yhtä toimeksiantajan katusaneerauskohdetta vuodelta 2022. Kyseinen työmaa oli suunnitelmiltaan, kooltaan sekä toteutukseltaan hyvin tavanomainen yritykselle, jolloin sen pohjalta tehtyjä havaintoja voidaan yleistää ja soveltaa myös muiden vastaavanlaisten työmaiden kohdalla.

3.1 Tutkimusmenetelmät

Case study -tutkimuksessa, eli tapaustutkimuksessa, tutkitaan jotain yksittäistä usein tarkoin rajattua kohdetta, joka voi olla esimerkiksi tietty tapahtuma, organisaatio, ryhmä tai projekti. Tapaustutkimuksen tarkoituksena on pureutua syvälle tutkittavaan asiaan, jolloin kyetään ymmärtämään vallitsevien olosuhteiden, vuorovaikutusten sekä toimintatapojen vaikutuksia siihen. (Kallinen ja Kinnunen 2021.)

Tapaustutkimuksen tavoitteena on oivaltaa uusia asioita tutkittavasta kohteesta ja soveltaa opittuja asioita laajemmin muissa vastaavissa tapauksissa. Tapaustutkimuksessa pyritään keräämään tietoa intensiivisesti monista eri näkökulmista sekä aineistoista esimerkiksi havainnoinnin sekä tapaukseen liittyvien dokumenttien kautta. Tapaustutkimus on tiukasti sidottu juuri siihen aikaan ja paikkaan, jossa tutkimus on tehty. (Kallinen ja Kinnunen 2021.)

Näkökulmana tapaustutkimuksessa voi olla faktoihin perustuva, konstruktionistinen tai kokemusnäkökulma. Faktanäkökulmassa tarkastellaan esimerkiksi sitä, miten prosessi etenee, suoritetaan tai miten se muuttuu. Konstruktionistisessa näkökulmassa esimerkiksi kulttuurin vaikutusta prosessiin tai suorittajien vuorovaikutuksiin. Kokemusnäkökulmassa taas esimerkiksi perehdytään yksittäisen henkilön tai pienen ryhmän kokemuksiin tietyssä tilanteessa. (Kallinen ja Kinnunen 2021.)

Tapaustutkimuksen tuloksia tullaan soveltamaan toimeksiantajayrityksen sisällä sen omia toimintoja sekä ympäristöjärjestelmää kehitettäessä. Tutkimuksen pohjalta saadun materiaalin sekä opitun tiedon avulla tullaan asettamaan ja mittaamaan CO₂-päästövähennystavoitteita sekä kouluttamaan henkilöstöä. Saatua tietoa voidaan myös hyödyntää uusia yhteistyökumppaneita valittaessa sekä myynnissä ja markkinoinnissa.

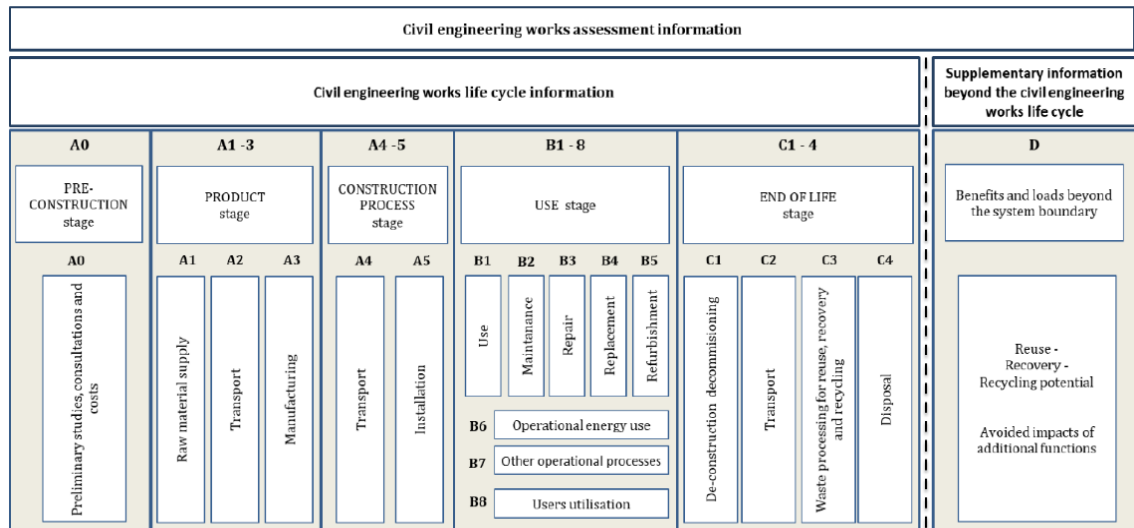
Tapaustutkimusta täydennettiin kirjallisuuskatsauksella. Kirjallisuuskattauksessa tutustuttiin laajasti aihealueen erilisiin kirjallisiin materiaaleihin. Näitä kirjallisia materiaaleja olivat erityisesti viimeaikaiset tutkimusraportit, eri näkökulmista kirjoitetut katsaukset sekä oppaat, joita ovat tuottaneet muun muassa Ympäristöministeriö, Väylävirasto sekä Rakennusteollisuus.

3.2 LCA-laskenta

LCA (Life Cycle Assessment) eli elinkaariarviointi on laskentamenetelmä tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten analysointiin ja arviointiin. Täydellinen elinkaari käsittää materiaalien hankinnan luonnosta, niiden prosessoinnin, kuljetuksen, valmistuksen, jakelun, käytön, uudelleenkäytön, huollon, kierrätyksen sekä hävittämisen. (One Click LCA Ltd. 2021.) Laskenta perustuu kansainvälisiin ISO 14040 -ryhmän standardeihin (One Click LCA Ltd. 2021) sekä eurooppalaisiin kestävän rakentamisen standardeihin, joita ovat muun muassa EN 15643, EN 15804 ja EN 17472 (Väylä 2023). Standardit määrittelevät elinkaaren vaiheet sekä niiden rajat. Erityisesti standardi EN 17472 kattaa infrarakentamisen ympäristön, taloudellisen ja sosiaalisen arvioinnin periaatteet. Standardin mukaisesti tuotteen tai palvelun hiilijalanjälki on mahdollista jakaa osiin niin, että sen päästöt ja nielut on ilmoitettu erikseen. Päästöt ja nielut on myös mahdollista ilmoittaa erikseen eri elinkaaren vaiheissa. (Väylä 2023.)

Rakentamisessa LCA-laskenta keskittyy viiteen elinkaarialueeseen, joita ovat tuotevaihe (A1-A3), rakentamisvaihe (A4-A5), käyttövaihe (B1-B7), loppusijoitusvaihe (C1-C4) sekä rakentamisen elinkaaren ulkopuoliset hyödyt ja kuormitukset huomioiva vaihe (D1) (One Click LCA Ltd. 2021). Infrahankkeen

elinkaarilaskennassa on mukana myös tuotevaihe A0, joka kattaa hankkeen esivalmistelut sekä mahdollisen esirakentamisen (Väylä 2020). Elinkaarialueet on esitelty selkeämmin kuvassa 1. Laskenta tuottaa tulokseksi tiedon kohteen hiilijalanjäljestä, eli ilmaston lämpenemispotentiaalista ja tulos ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttikiloina kgCO₂eq (One Click LCA Ltd. 2021).



Kuva 1. Elinkaarilaskennan vaiheet. Lähde: Väylä 2023.

EPD-ympäristöselosteet ovat valmistajien tuotteilleen tai palveluilleen luomia tuotekortteja, jotka sisältävät tuotteen elinkaarilaskennan koko sen elinkaaren ajalta aina raaka-ainemateriaalin hankinnasta tuotteen loppusijoitukseen. Ympäristöselosteet antavat tarkempia lisätietoja päästöarvioinnin tueksi. EPD-selosteet sisältävät vähintään tuotteen raaka-aineen hankintaan ja prosessointiin, eli tuotevaiheisiin A1–A3, liittyvät tiedot. Näiden lisäksi selosteessa voi olla määriteltynä myös kuljetukseen, asennukseen, huoltoon sekä loppukäsittelyyn liittyviä tietoja. (Väylä 2020.) EN15804:2012 + A2:2019/AC:2021 on eurooppalainen standardi rakennusmateriaalien sekä muiden rakennustuotteiden ympäristöselosteiden tuottamisesta. Standardi määrittelee ympäristöselosteiden laadintaa koskevat säännöt ja sen tarkoituksena on luoda yhdenmukaiset elinkaariarvioon perustuvat ympäristöilmoitukset. Standardi kattaa talonrakentamisen sekä esimerkiksi väylärakentamisen tuotteet. (Väylä 2023.)

3.3 One Click LCA -ohjelmisto

One Click LCA -ohjelmisto on Suomessa kehitetty laskentaohjelma rakennusten sekä rakentamisen elinkaariarviointia varten. Ohjelmistoa voidaan hyödyntää rakentamisen eri vaiheissa aina hankesuunnittelusta rakentamiseen sekä käytönaikaiseen seurantaan. Ohjelmaa käytetään paljon esimerkiksi hankesuunnitteluvaiheen tarkastelussa tulevan kohteen ilmastovaikutusten arviointiin, mutta tarkin laskentatulos saadaan kuitenkin rakentamisvaiheen jälkeen, kun tiedetään tarkalleen käytetyt materiaalit sekä niiden määrät. Ohjelmiston tietokanta perustuu pääosin EPD-ympäristöselosteisiin sekä yleiseen alan LCA-laskentatietoon, joka on käyty läpi ja tarkastettu etukäteen. (One Click LCA Ltd. 2021.)

Tässä opinnäytetyössä CO₂ -päästöjen laskennassa käytettiin One Click LCA -ohjelmiston infrastruktuurilisäosaa, joka on suunniteltu infrarakentamisen kohteisiin. Laskenta suoritettiin rakentamisen valmistumisen jälkeen hyödyntäen käytettyjen materiaalien EPD-tuotekortteja. Mikäli ohjelmiston kirjastosta ei löytynyt oikean valmistajan ympäristöselostetta, on laskennassa hyödynnetty Väylän vähähiilisyyden arviointioppaan mukaisesti seuraavaksi sopivinta tuotetta niin, että esimerkiksi selosteen ikä ja olosuhteet on otettu huomioon ja todettu omaan hankkeeseen verrattavissa oleviksi (Väylä 2020).

4 Laskenta

Opinnäytetyön kohteena olleena työmaana oli katuhanke, jossa rakennettiin uudet runkolinjat vesijohdolle, jätevesiviemärille sekä hulevesiviemäröinnille, uusittiin kadun rakennekerrokset, salaojat sekä olemassa olevat tonttiliitokset kolmeen asuinkiinteistöön sekä yhteen toimitilarakennukseen. Kadulla ei aikaisemmin ollut lainkaan runkoverkostoa, vaan olemassa olevien rakennusten tonttihaarat oli vedetty risteävältä kadulta. Työn kohteena olleen kadun varteen lohkottiin sekä louhittiin lisää kaupungin asuintontteja, mikä aiheutti tarpeen runkoverkoston rakentamiselle. Samassa yhteydessä myös olemassa olevat tonttiliitokset niin asuinkiinteistöihin kuin toimitilarakennukseenkin uusittiin, sillä ne olivat tulossa käyttöikänsä päähän, minkä lisäksi ne haluttiin liittää uuteen rakennettavaan runkohaaraan.

Katu oli alun perin päällystämätön, mutta työn ohessa sen rakennekerrokset uusittiin ja kadulle laitettiin pohja-asvaltti. Pinta-asvaltointi oli rajattu urakan ulkopuolelle, sillä rakentaminen uusille asuintonteille alkoi lähes välittömästi kadun valmistumisen jälkeen, jolloin uuden asvaltin ei haluttu vaurioituvan, vaan se pinnoitettiin tilaajan toimesta loppuun myöhemmin.

Muutoskohteena olleen kadun pituus kokonaisuudessaan oli noin 300 metriä, minkä lisäksi toimitilarakennuksen vesijohto ja viemäröinti uusittiin kadun viereisen peltoalueen kautta. Kokonaisuudessaan työmaa-aluetta oli siis noin 450 metriä ja urakan kokonaiskustannukset olivat noin 300 000 €. Kohde oli urakan suuruudeltaan toimeksiantajayritykselle tavanomainen työmaa, minkä vuoksi se toimi hyvänä vertailukohteena muihin yrityksen infrahankkeisiin nähden.

Kalustona työmaalla käytettiin pääosin 16 tn pyöräalustaista kaivinkonetta sekä 20 tn tela-alustaista kaivinkonetta. Louhintatöiden yhteydessä, sekä pyöräalustaisen kaivinkoneen huoltotöiden aikana työmaalla oli käytössä myös 30 tn tela-alustainen kaivinkone sekä pienen hetken toinen 20 tn tela-alustainen kaivinkone. Pienkoneina työmaalla oli käytössä tien rakennekerrosten viimeistelyä varten 7 tn valssijyrä sekä 400 kg ja 90 kg täryjyriä erilaisten

rakennekerrosten, kuten vesijohdon ja viemärien asennusalustojen sekä täyttöjen tiivistämiseen. Pyöräkoneita tai muita pienkoneita ei ollut käytössä. Käytetyt kuorma-autot olivat kooltaan 3–5 akselisia ja autoja oli ajossa aina tarpeen mukaan kullekin päivälle erikseen sovittu määrä; yleensä 1–2 kappaletta. Kuormatilavuus autoissa oli akselistovälistä riippuen 15–30 tn.

Käytetyt kaivinkoneet ovat olleet päästöluokaltaan vähintään Stage IIIB -luokkaa ja käytetyt kuorma-autot ovat olleet vähintään Euro V -luokkaa. Sähköä kuluttaneet laitteet ovat olleet käsikäyttöisiä työkaluja, kuten puukkosaha tai kulmahiomakone. Lisäksi työmaalla on jouduttu vaihtelevien sääolosuhteiden myötä käyttämään alkuvuodesta lämmitysmattoja ja myöhemmässä vaiheessa uppopumppuja, joiden virta on saatu bensiinikäyttöisistä aggregaateista.

Työn tilaajina toimivat kunta sekä kunnan alaisuudessa toimiva vesihuoltolaitos. Urakan tilaajavastuut oli jaettu karkeasti niin, että kunta vastasi uusien tonttien lohkomisesta sekä tien rakenteista sekä päällystämisestä ja vesihuoltolaitos vastasi yhdyskuntatekniikan rakentamisesta.

Työmaan suhteen ei ollut asetettu erityisiä ympäristötavoitteita tai hiilidioksidipäästöjen vähennystavoitteita toimeksiantajayrityksen tai tilaajan toimesta. Tilaaja vastasi putkimateriaalien hankinnasta sekä määräsi käytettävien kiviainesten laadusta, jolloin toimeksiantajayritys ei voinut vaikuttaa esimerkiksi käytettäviin putkimateriaaleihin tai esimerkiksi uusiomaa-aineksen käyttöön kohteessa. Kyseessä oleva käytäntö on tavanomainen kyseisen tilaajan kohdalla. Koska kyseiselle tilaajalle suoritetaan urakoita vuosittain, on tarkasteltava työmaa ollut myös tältä osin vertailukelpoinen muihin toimeksiantajayrityksen työmaihin. Kuvassa 2 on esitetty juuri työmaan valmistumisen aikoihin otettu ilmakuva.



Kuva 2. Ilmakuva työmaasta toteutuksen päätyttyä keväällä 2022. Lähde: Karttapaikka, Maanmittauslaitos.

4.1 Laskennan rajaukset

Koska toimeksiantajayritys on maanrakennusurakoitsija ja koska tarkoituksena oli oppia yrityksen omasta toiminnasta sekä sen vaikutuksista hiilidioksidipäästöihin, on ohjelmaan syötetty ainoastaan rakentamisvaiheen, eli A4-A5 vaiheiden, toteutuneet kulutustiedot. Tuloksista ilmenevät A1-A3, A5, B4-B5, C1-C4 sekä D1 vaiheiden tiedot on saatu laskennassa hyödynnettävien kirjastokantatietojen, kuten EDP-tuotekorttien, sekä ohjelmaan syötetyn laskennallisen elinkaari-ian perusteella. A0-vaiheen tiedot on jätetty syöttämättä, sillä mitään esirakentamista tai siihen verrattavissa olevaa työtä ei kohteessa tehty.

Elinkaari-ikänä laskennassa käytettiin 50 vuotta, mikä on Väyläviraston vähähiilisyyden arviointimenetelmä -oppaan suositus ikä infrahankkeen hiilijalanjälkeä laskettaessa (Väylä 2023). 50 vuotta on myös tavanomainen suunnitteluikä erityisesti vesi- ja viemärilinjoille.

Myös työmaatoiminnot, kuten sosiaali- ja toimistotilojen ylläpito, rajattiin laskennan ulkopuolelle, jolloin esimerkiksi sähkönkulutuksessa tai syntyneiden jätteiden määrässä on mukana vain varsinaisen työmaatoiminnan aiheuttama kulutus.

4.2 Tietojen syöttö

Toimeksiantajayrityksessä ei ole ennen tehty vastaavaa laskentaa, joten kulutustiedot eivät näin ollen olleet välttämättä oikeassa muodossa tai kootusti yhdessä paikassa. Tämän myötä kaikki laskennan pohjana käytetyt tiedot on syötetty yksitellen manuaalisesti eri datalähteitä hyödyntäen. Esimerkiksi konetunnit on haettu yrityksen työaikajärjestelmästä ja toteutuneet kiviainesmäärät on laskettu paperisten kuormakirjojen perusteella. Näin ollen laskennassa ei ole voitu hyödyntää esimerkiksi Excel -ajoa tai tietojen hakemista IFC-tiedostomalleista (3D -tietomalli), joihin One Click LCA -ohjelmisto olisi taipunut. Kuvassa 3 on esitelty esimerkin kautta, miltä tietojen syöttö ohjelmaan on näyttänyt. Kuvassa näkyvien tietojen lisäksi aina kunkin tuotteen tai toiminnon rivillä on päässyt vaikuttamaan myös muun muassa kuljetusmatkoihin sekä siihen, minkälaisella kalustolla tuote tai materiaali on kuljetettu työmaalle.

3. Päällys- ja pintarakenteet ☁ 4 Tonnia CO₂e - 3 %

Päällys- ja pintarakenteet ➕ Luo ryhmä ➡ Siirrä materiaalit

Aloita kirjoittamaan tai klikkaa nuolta ▼	
Resurssi ⬅	Määrä ⬅
Asfalttobetoni (AB), 2500 kg/m ³ ?	224.0 m ² x 50 mm
Luonnonkivi, katukivi, 100 mm, 270 ?	30 m ² x 125 mm
	CO ₂ e ⬅
	2,9t - 2%
	0,81t - 0,6%
	Kommentti ⬅
	Vain pohja-asfaltti ✎
	✎

Kuva 3. Esimerkkiotos manuaalisesta tietojen syötöstä One Click LCA -ohjelmistossa.

Ensimmäisessä vaiheessa (maanrakennus ja massojen kuljetus) laskentaohjelma on pyytänyt listaamaan erikseen hankkeeseen hankitut massat, kohteesta poisajettavat massat sekä kohteessa hyödynnettävät massat. Tiedot on syötetty lajeittain tonnimääräisinä kuormakirjoista saatavien tietojen perusteella. Erilaisia kiviaineita tuotiin kohteeseen yhteensä 6 305,53 tn. Poisajettavia maa-ainemassoja oli yhteensä 7 713,31 tn ja kohteessa hyödynnettäviä massoja oli yhteensä 915 tn. Ero massojen välillä tulee louheesta, jota ajettiin pois rakennuskäyttöön valmistelevalta tonteilta.

Toisessa vaiheessa (rakentaminen) on syötetty perustuksissa ja geoteknisissä rakenteissa käytetyt materiaalit, kuten suodatinkangas ja routaeristeet, rakennusteknisten rakennusosien ja järjestelmien rakenteet, kuten putkimateriaalit, päällys- ja pintarakenteiden materiaalit, kuten asfaltti ja reunakivet sekä muut mahdolliset kohteessa käytetyt rakenteet. Erilaisia muoviputkia ja -kaivoja kohteeseen kului yhteensä 2 160,4 m.

Suodatinkangasta kului 2 000 m², pohja-asfalttia 224 m², reunakiviä 30 m² ja routaeristettä 20 m². Katuvalaisimia asennettiin 10 kpl, betonikaivoja 5 kpl ja erikokoisia valurautaisia kaivonkansia yhteensä 16 kpl. Räjähteitä kului 780 kg.

Kolmannessa vaiheessa (rakentamisprosessi) on syötetty rakennusvaiheen energiankäyttöön liittyvä kulutus, kuten käytetyn sähkön määrä, käytettyjen polttoaineiden määrät tai konetunnit, rakennustyömaan vedenkulutus, lämmönkulutus, syntyneet jätteet sekä työmaan kulutusta täydentävät kuljetustiedot. Konetunteja syötettäessä ohjelma arvioi polttoaineen kulutuksen koneen koon ja tyyppin mukaan, jolloin polttoaineen määrä tuli jättää syöttämättä kaksinkertaisen laskennan välttämiseksi. Kohteen konetunnit kaikkineen olivat yhteensä 1 157,5 h, jätteiden määrä 128,44 tn ja verkkosähkön arvioitu kulutus 200 kWh. Kaukolämmön sekä veden kulutus työmaalla on ollut 0. Kuljetuksia täydentäviin tietoihin on lisätty kaadettujen puunrunkojen kuljetus pois työmaalta, mikä on painojen puolesta arvio, sillä näistä kuljetuksista ei ole punnitustositteita. Puut itsessään menivät hyötykäyttöön ja varsinainen puiden kaato on mukana konetunneissa.

Taulukossa 1 on listattuna tarkemmin edellisessä kappaleessa mainitut ohjelmaan syötetyt määrät. Taulukossa määrät on esitetty yhteenlaskettuina summina salassapitovelvollisuuden vuoksi, mutta todellisuudessa esimerkiksi käytetyt kiviainekset on eroteltu laskennassa lajeittain (taulukko 1).

Taulukko 1. Yhteenlasketut One Click LCA -laskentaohjelmistoon syötetyt määrät

1. Maanrakennus ja massojen kuljetus

<i>Hankkeeseen hankitut massat</i>	6 305,53	tn
<i>Hankkeesta poisajetut massat</i>	7 713,31	tn
<i>Hankkeen sisällä hyödynnettävät massat</i>	915,00	tn

2. Rakentaminen

<i>Perustuksissa ja geoteknisissä rakenteissa käytetyt materiaalit</i>		
Suodatinkangas	2 000,00	m2
Räjähteet	780,00	kg
<i>Rakennusteknisten rakennusosien ja järjestelmien rakenteet</i>		
Muoviputket ja -kaivot	2 160,40	m
Betonikaivot	5,00	kpl
Kaivojen kannet	16,00	kpl
<i>Päälly- ja pintarakenteiden materiaalit</i>		
Asvaltti	224,00	m2
Reunakivet	30,00	m
<i>Muut hankkeessa hyödynnetyt materiaalit</i>	0,00	

3. Rakentamisprosessi

<i>Rakennusvaiheen energiankäyttö</i>		
Sähkönkulutus	200,00	kWh
Kaukolämmön kulutus	0,00	
Polttoaineiden kulutus	0,00*	
Käyttötunnit	1 157,50	h
<i>Rakennustyömaan vedenkulutus</i>	0,00	
<i>Rakennusvaiheessa syntyvät jätteet</i>	128,44	tn
<i>Työmaakuljetustietoa täydentävät kuljetusmatkat</i>	10,00	tn

*Polttoaineen kulutus sisältyy konetunteihin

Kesken laskentaa One Click LCA -ohjelmisto päivittyi, minkä myötä ohjelmaan olisi voinut syöttää myös työmaan esivalmisteluihin, kuten esimaarakentamiseen liittyvät työt, mutta tällaisia toimia ei tähän hankkeeseen kohdistunut, joten ne jätettiin täyttämättä.

Olemassa olevasta One Click LCA -ohjelmiston kirjastosta on valittu sopivimmat tuotteet suhteessa käytettyihin materiaaleihin. Mikäli oikean valmistajan tuotetta ei kirjastosta löytynyt, on se korvattu lähimmällä vastaavalla tuotteella. Lisäksi esimerkiksi muovikaivoille ei löytynyt suoraa vastaavuutta, jolloin ne on korvattu metrimäärän sekä halkaisijan suhteen vastaavalla putkimateriaalilla.

5. Tulokset

One Click LCA -ohjelmisto ilmoittaa tulokset hiilidioksidiekvivalenttikiloina, eli laskennassa on otettu huomioon kaikki rakennushankkeen elinkaaren aikana syntyneet kasvihuonekaasupäästöt ja verrattu niiden ilmastoa lämmittävää vaikutusta hiilidioksidin aiheuttamaan ilmastonlämpenemis-kapasiteettiin. Ohjelmisto antaa kaksi tulosta sen mukaan, mitä standardeja on laskennassa otettu huomioon.

Standardin EN 15804+A1 mukainen ohjelmiston laskennassa saatu tulos ilmaston lämpenemisestä hiilidioksidiekvivalenttikiloina kuvaa hankkeen vaikutusta ilmastomuutokseen. Standardien EN-15804:2013+A1 ja :2019+A2, sekä niiden lisäysten mukaisessa tuloksessa nimeltään: Ilmaston lämpenemispotentiaali Fossiilinen-A2, on otettu huomioon hieman laajemmin eri vaikutukset kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien lämmityspotentiaaliarvoon kaikissa väliaineissa, jotka ovat peräisin fossiilisten polttoaineiden tai fossiilista hiiltä sisältävien materiaalien hapettumisesta tai muuntamisen ja hajoamisen myötä tapahtuvasta pelkistymisestä. Tällä indikaattorilla on otettu huomioon myös esimerkiksi turpeesta tai kalsinoinnista aiheutuneet kasvihuonekaasupäästöjen lämmityspotentiaali päästöt sekä esimerkiksi betonituotteiden karbonatisoinnista muodostuneet kasvihuonekaasujen poistumat. (One Click LCA ohjelmisto.)

Väylän Tie- ja ratainfrastruktuurin elinkaariarvioinnin opas ohjeistaa ilmoittamaan tulokset standardin EN 15804:2019 mukaisesti, jolloin ympäristövaikutusluokkiin sisältyisi myös ilmastonlämpenemispotentiaali (Väylä 2020). One Click LCA ohjelmistossa tämä vastaa edellä mainittua Fossiilinen-A2-tulosta.

Ohjelmisto laski tulosten perusteella myös työmaan LULUC-arvon, joka ottaa huomioon standardin EN 15804+A1 mukaisesti kasvihuonekaasujen päästöt ja poistumat, jotka ovat peräisin maankäytön ja maan muutoksien aiheuttamista muutoksista sitoutuneisiin hiilivarastoihin. Mikäli laskennassa olisi otettu huomioon koko elinkaari ilman rajauksia, olisi ohjelma antanut tuloksen myös

biogeeniselle hiilelle, eli sille miten tämä biogeeninen hiili säilyisi tai olisi säilymättä raakamateriaaleihin tai käyttövaiheessa kasvavaan kasvillisuuteen hankkeen elinkaaren aikana. (One Click LCA ohjelmisto.)

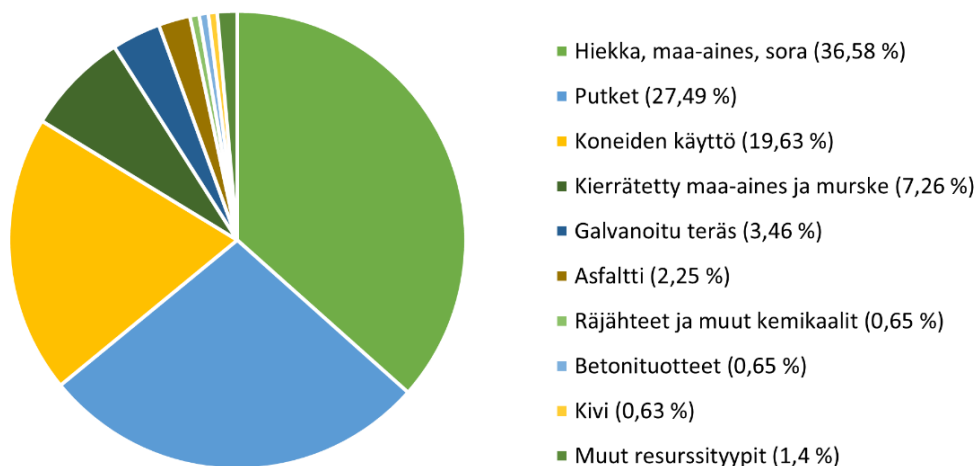
Laskennan myötä saadut tulokset on esitetty taulukossa 2. Tulosten tarkastelu sekä niiden analysointi on tässä opinnäytetyössä keskitetty laajemmin standardin EN 15804:2019 mukaiseen tulokseen, eli taulukon tulokseen numero 1, jotta tulos olisi ohjeistusten mukainen ja siten vertailukelpoinen muiden vastaavien tulosten suhteen. Näin ollen suoritettun laskennan perusteella saatu tulos, eli kohteen hiilijalanjäljen arvo, on 132 449 kgCO₂e. Saatujen tulosten jakautuminen osioittain sekä osa-alueittain on esitelty tämän työn liitteissä 1 ja 2 One Click LCA -ohjelmiston tulosraportin muodossa siinä laajuudessa, missä ne on voitu esittää yrityssalaisuusvelvoitteen puitteissa.

Taulukko 2. Laskennan tulokset

1	Ilmaston lämpenemispotentiaali Fossiilinen-A2	132 449	kgCO ₂ e
2	Ilmaston lämpeneminen	130 622	kgCO ₂ e
3	Ilmaston lämpeneminen, LULUC	28	kgCO ₂ e
4	Biogeeninen hiili	0	kgCO ₂ e bio

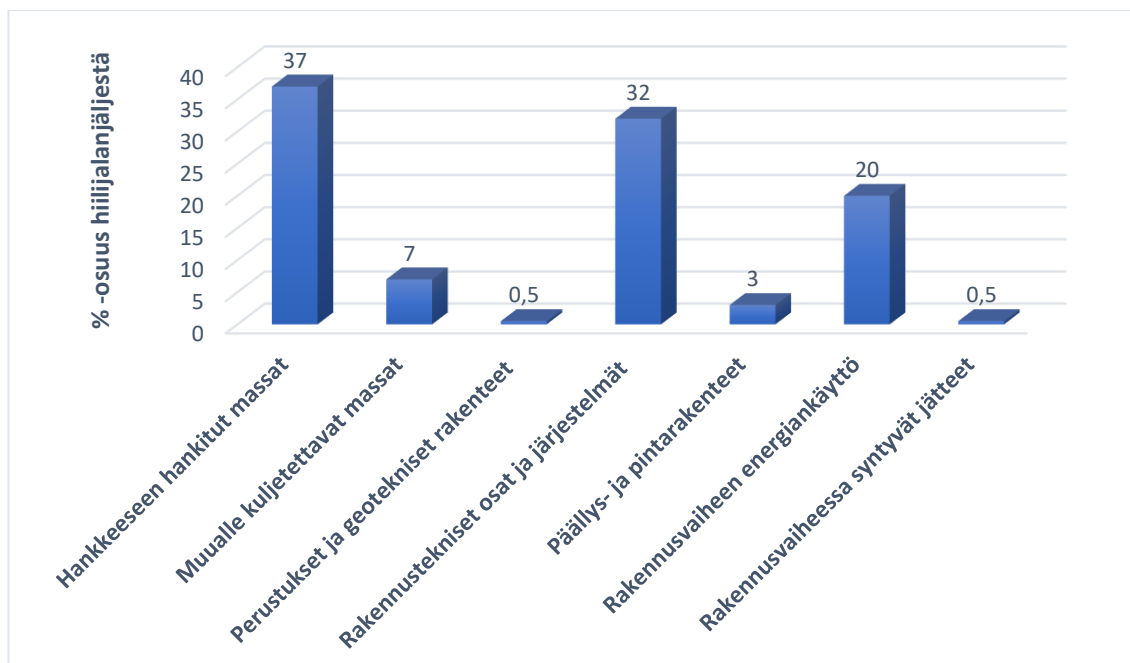
Suurimmat katuhankkeen rakentamisajan päästöjä aiheuttaneet resurssikategoriat olivat kiviainekset (n. 37 %), putkimateriaalit (n. 27,5 %) sekä työkoneiden käyttö (n. 20 %). Päästöjen jakautuminen eri materiaalien suhteen on esitetty tarkemmin kaaviossa 1.

Käytettyjen resurssien osuus hiilijalanjäljestä



Kaavio 1. Käytettyjen resurssien osuus kohteen hiilijalanjäljestä.

Myös lähtötietoluokkien perusteella päästölähteitä tilastoitaessa suurimmat päästölähteet ovat tulleet hankkeeseen ostetuista maa-aineksista ja niiden kuljettamisesta, rakennusteknisistä osista ja järjestelmistä, eli putki- ja kaivotarvikkeista, sekä rakennusvaiheen energiankäytöstä, eli työkoneiden käytöstä. Eri lähtötietoluokkien jakautuminen suhteessa kokonaistulokseen on esitetty tarkemmin kaaviossa 2.



Kaavio 2. Eri lähtötietoluokkien osuus kohteen hiilijalanjäljestä.

Tulosten valmistumisen jälkeen eri toimien päästövaikutuksia verrattiin saatuun tulokseen vaihtamalla tiettyjä resursseja, kuten esimerkiksi putkimateriaalien laatuja tai kuljetusmatkojen määrää. Merkittävimmät päästövähennykset olisi ollut mahdollista saavuttaa fossiilisten polttoaineiden vaihtamisella uusiutuviin polttoaineisiin (n. -30 %) sekä korvaamalla osa käytetyistä kiviaineksista uusiomateriaaleilla, kuten betonimurskeella (n. -12 %). Erilaiset vähennysvaikutukset on kuvattu tarkemmin taulukossa 3.

Taulukko 3. Eri resurssilähteiden vaikutukset kohteen hiilijalanjälkeen.

Kiviainesten nouto lähimmältä toimipisteeltä	-7 122	kgCO ₂ e	-5,38	%
Sadevesiviemäröinnin putkimateriaalin vaihto PVC-materiaalista PP-materiaaliin	-11 253	kgCO ₂ e	-8,50	%
Jakavan kerroksen kiviainesten korvaaminen betonimurskeella	-16 234	kgCO ₂ e	-12,26	%
Kuorma-autoliikenteen polttoaineen korvaaminen uusiutuvalla dieselillä	-13 216	kgCO ₂ e	-9,98	%
Kaivinkoneissa käytetyn polttoaineen korvaaminen uusiutuvalla polttoöljyllä	-26 800	kgCO ₂ e	-20,23	%
Polttomoottorilla toimivien maantiivistäjien (90 kg) korvaaminen akkukäyttöisillä	-294	kgCO ₂ e	-0,22	%
Työmaasähkön alkuperän muuttaminen uusiutuvaan alkuperään	-43	kgCO ₂ e	-0,03	%

5.1 Tulosten oikeellisuuden arviointi

Väyläviraston ohjeistuksen mukaisesti väylähankkeen CO₂-päästölaskennan tulosta voidaan pitää luotettavana, mikäli kohde on rakennettu tilaajan suunnittelu- sekä rakentamisohjeiden mukaisesti, mikäli laskenta on tehty kyseisen Väyläviraston ohjeen mukaisesti ja mikäli laskennan pohjana on käytetty standardiin EN 15804:2012+A2:2019/AC:2021 perustuvia ympäristöselosteita (Väylä 2023). Tämän opinnäytetyön pohjana olleen tapaustutkimuksen kohdalla ehtojen voidaan tulkita täyttyneeksi, jolloin tuloksia sekä tulosten perusteena olleita lähtötietoja voidaan pitää riittävän luotettavina.

Julkista dataa toteutuneiden infrahankkeiden ja erityisesti tähän työhön verrattavien katuhankkeiden tai yhdyskuntatekniikan rakennushankkeiden hiilidioksidipäästöistä on vähän, jolloin vertailun kautta tuotettu arviointi tulosten oikeellisuuden suhteen on hankalaa. Kuitenkin, kun tulosta on verrattu muutamaa muuhun opinnäytetyöhön lähivuosilta sekä Liikenneviraston teettämään tutkimukseen Kivikon eritasoliittymän hiilidioksidipäästöistä vuodelta 2017, voidaan tulosta pitää verrattain realistisena ja riittävän suuntaa antavana (Hämäläinen 2020; Niemi 2019; Liikennevirasto 2017). Lisäksi, koska päästöjä aiheuttaneet kategoriat sekä niiden osuudet kokonaistuloksesta täsmäävät kirjallisuustietoihin, kuten vähähiilisen rakennusteollisuuden tiekartan antamiin tietoihin, voidaan todeta, että tulos on riittävän tarkka ja paikkaansa pitävä (Rakennusteollisuus 2020b).

5.2 Mihin urakoitsija pystyi vaikuttamaan rakennusvaiheessa

Toteutetun työmaan osalta tilaaja määräsi käytettävät putki- ja kiviainesmateriaalit kuin myös työmaan toteutustavan rakentamisohjeiden kautta. Näin ollen urakoitsijalla, eli toimeksiantajayrityksellä, on ollut mahdollista vaikuttaa syntyvien päästöjen suhteen kalustoon laatuun, työkoneiden käyttöön, polttoaineen laatuun, sähkön alkuperään, kuljetuksiin sekä jätteiden käsittelyyn.

5.2.1 Työkoneet

Käytetty kalusto oli mitoitettu ja valittu mahdollisimman kustannustehokkaasti sen mukaan, mihin työvaiheeseen ja millä maaperällä kalustoa käytettiin. Käytetyt kaivinkoneet olivat päästöluokaltaan vähintään Stage IIIB -luokkaa ja varsinaiset suunnitellut pääkoneet ovat olleet Stage IV -luokkaa.

Suuria sähkökäyttöisiä kaivinkoneita ei markkinoilta vielä löydy, mutta hybridimallista konetta olisi voinut osittain hyödyntää työmaalla käytettyyn kalustoon nähden. Koska kuitenkin toimeksiantajayrityksellä tai sen alihankkijoilla ei hybridikoneita ole ollut käytössä, on merkittävin vaikutus

koneiden päästöihin ollut niiden käytöllä, eli taloudellisella ajotavalla, valitulla polttoaineen laadulla sekä kattavilla ennakko- huolloilla.

Mikäli kohteen kaivinkoneissa olisi käytetty vain biopolttoöljyä koko työmaan ajan, olisi kohteen hiilijalanjälkeä voinut pienentää 19,5 % (taulukko 3).

Taloudellisella ajotavalla voi pienentää työkoneen päästöjä parhaimmillaan jopa kymmeniä prosentteja, jolloin voidaan vaikuttaa oleellisesti päästöjen syntyyn.

Taloudellisen ajotavan avulla voidaan myös pienentää polttoaineen määrän kulutusta, joka taas voisi joko pienentää nykyisiä polttoainekustannuksia tai vastaavasti kompensoida litrahinnaltaan kalliimman biopolttoaineen käytöstä syntyviä nousevia kustannuksia. Ennakoivilla huolloilla varmistetaan se, että kone toimii suunnitellusti ja että sen moottoritehot pysyvät suunnitellulla tasolla. Ennakoivilla huolloilla voidaan myös pitkässä juoksussa vähentää kaluston korjaukseen liittyviä kustannuksia.

5.2.2 Kuljetukset

Kuljetusten suhteen toimeksiantajayritys on suunnitellut ja optimoinut käytettävän kaluston, kuljetusreitit sekä muun logistiikan kohteessa hyvin kustannustehokkaasti, mikä on vaikuttanut myös syntyneisiin päästöihin.

Kuljetusten kannalta on oleellista suunnitella ajot suoritettavaksi mahdollisimman läheltä ja mahdollisimman täysillä kuormilla. Koska lähin mahdollinen ylijäämämaiden vastaanottopaikka oli 19 kilometrin päässä ja koska vastaanottopaikan välittömässä läheisyydessä on kiviainesten myyntipiste, on kohteen kiviainekset päätetty ostaa kyseisestä toimipisteestä, jotta kuorma-autot kulkisivat täysillä kuormilla koko menopaluu -liikenteen ajan. Mikäli kohteen kiviainekset olisi ostettu ja ajettu lähemmältä, noin 10 kilometrin päässä olleelta sorakuopalta, olisi hankkeen hiilijalanjälkeä voitu vähentää 5,39 % (taulukko 3). Tällöin kuitenkin autot olisivat joutuneet ajamaan noin 30 % matkoista tyhjällä kuormalla, mikä taas vaikuttaa osaltaan negatiivisesti sekä päästöihin, että kannattavuuteen.

Kaikki kohteen kuormat ajettiin vähintään Euro V -luokan autoilla, ja koska markkinoilla ei ole vielä esimerkiksi kaasulla käyviä maansiirtoautoja, ainut jäljelle jäänyt tekijä, millä toimeksiantajayritys olisi vielä voinut vaikuttaa kuljetusten päästöihin, on ollut polttoaineen valinta. Mikäli hankkeen aikana käytetty fossiilinen diesel olisi vaihdettu uusiutuvaan dieseliin, olisi sillä saatu pienennettyä kohteen hiilijalanjälkeä 9,98 % (taulukko 3).

5.2.3 Työmaasähkö

Sähköä tällä työmaalla kului varsin vähän, mutta silti sen korvaaminen täysin uusiutuvalla energialla olisi tiputtanut hiilijalanjälkeä 0,03 % (taulukko 3). Lisäksi paremmalla suunnittelulla maan sulattamiseen sekä kuivaamiseen käytetyt polttoainekäyttöiset aggregaatit olisi voitu korvata sähkökäyttöisillä virtalähteillä, jolloin hiilijalanjälkeä olisi voinut edelleen tiputtaa.

5.2.4 Jätteet ja jätteiden kierrätys

Rakennustoimista syntyviä jätteitä ovat olleet betonijäte, sekajäte, kierrätysasvaltti sekä puujäte. Betonijäte on toimitettu jätteidenkierrätyslaitokselle, josta siitä erotellaan hyödynnettävä osa ja se murskataan betonimurskeeksi. Asvaltti on toimitettu lähimmälle asfalttiasemalle, jossa se hyödynnetään uudelleen uuden asfaltin valmistuksessa. Puujäte (puhdas puu) sekä sekajäte ovat menneet polttoon ja siten hyödynnetty lämmitysenergian tuotannossa. Varsinaisten jätteiden lisäksi työmaalta on ajettu pois maa-ainesta, kuten louhetta, joita ei ole voitu hyödyntää uudelleen työmaalla. Nämä maa-ainekset on ajettu lähimmälle ylijäämämaan vastaanottopaikalle, jossa ne on hyödynnetty vastaanottopaikan itsensä pohjan vahvistamisessa sekä alueen laajennuksen rakentamisessa.

Työmaan jätteiden kierrätys- sekä hyödyntämisaste on ollut hyvä. Sekajätteen lisäksi työmaalla olisi voinut lajitella vielä erikseen energiajätteen sekä muovijätteen, mutta näiden osuus jätteiden kokonaismäärästä (180 kg), olisi

ollut varsin pieni, eikä tällä siten oletettu olevan merkitystä työmaan kokonaispäästöjen syntyyn.

5.3 Mihin olisi voinut vaikuttaa tilausvaiheessa

Kuten kaikissa rakennushankkeissa, myös tämän työmaan kohdalla suurin vaikutus hankkeen hiilijalanjälkeen on ollut hankesuunnitteluvaiheen aikana asetetuilla tavoitteilla sekä päätöksillä. Tilaajana toiminut kunta kuuluu hiilineutraaliutta tavoittelevien kuntien Hinku-verkostoon, jonka tavoitteena on vähentää koko kunnan kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 80 % vuoden 2007 tasosta vuoteen 2030 mennessä (Hiilineutraali Suomi -palvelu 2023). Tästä huolimatta päästövähennystavoitteet eivät näkyneet mitenkään tarjouspyynnössä, urakkaneuvotteluissa tai toimeksiantosopimuksessa. Urakoitsijoilta ei velvoitettu myöskään rakentamisen aikaista päästölaskentaa tai -raportointia. Koska kunnalla on merkittävä rooli toiminnan ohjauksen suhteen, olisi tätä kautta ollut mahdollista vaikuttaa oleellisesti myös rakentamisaikaiseen hiilijalanjälkeen.

5.3.1 Materiaalit

Kohteen tilaaja on päättänyt etukäteen käytettävät materiaalit sen perusteella, että ne kestäisivät mahdollisimman hyvänä mahdollisimman pitkään, jolla on osaltaan voitu vaikuttaa positiivisesti tulevaisuuden käyttövaiheen sekä huoltojen aiheuttamiin hiilidioksidipäästöihin. Kuitenkin huolellisen työvaihesuunnittelun ja valvonnan avulla on mahdollista päästä samaan tavoitteeseen erilaisia ekologisempia materiaaleja hyödyntämällä. Esimerkiksi mikäli kohteen sadevesiverkoston putkimateriaali olisi vaihdettu vaadituista PVC-materiaalista PP-materiaaliin, olisi hiilijalanjälkeä voitu tiputtaa 8,05 % (taulukko 3). Mikäli taas tien jakavan rakennekerroksen kalliomurske olisi korvattu betonimurskeella, olisi kokonaistulosta saatu tiputettua 12,28 % (taulukko 3). Kalliomurskeen vaihtaminen betonimurskeeseen ei olisi myöskään lisännyt kuljetuksesta aiheutuvia päästöjä, sillä urakoitsijan valitsema toimittaja

betonimurskeelle olisi ollut valitun kiviainestoimittajan välittömässä läheisyydessä.

5.4 Tulosten yhteenveto

Kaiken kaikkiaan kohteen hiilijalanjälkeä olisi erilaisin toimin ollut mahdollista tiputtaa lähes puolella. On siis ilmiselvää, että hiilidioksidipäästöjen laskeminen auki oli tärkeää, jotta tietoisuus lisääntyy ja jotta niiden pohjalta pystyy asettamaan erilaisia päästövähennystavoitteita sekä vaikuttamaan päästöjen syntyyn.

6 Johtopäätökset

Kokonaisuutena työn laskennan tulokset olivat kirjallisuuslähteisiin verrattavissa ja siten odotusten mukaisia. Erilaisilla päästövähennyksillä olisi ollut mahdollista saada aikaan merkittäviäkin muutoksilla hiilijalanjäljen suuruuteen.

Laskentaprosessi oli opettavainen ja havainnollistava kokemus ja yrityksessä on nyt opinnäytetyön myötä päästy tutustumaan suomessa kehitettyyn ohjelmistoon, jota hyödynnetään globaalisti rakentamisen elinkaaripäästöjen laskennassa. Kaiken kaikkiaan voidaan siis sanoa, että työn toteutus, tulokset ja havainnot täyttivät työlle asetetut tavoitteet hyvin. Toimeksiantajayrityksen tiedot aiheeseen liittyen ovat kasvaneet merkittävästi ja ilmastonmuutoksen torjunta tulee olemaan merkittävässä osassa yrityksen tulevaisuutta.

Yrityksen ympäristöpolitiikkaa tullaan täydentämään ja tulosten pohjalta tullaan laatimaan konkreettisia lyhyen sekä pitkän tähtäimen ympäristötavoitteita.

Tällaisia tavoitteita tulevat olemaan esimerkiksi säännölliset koulutukset työntekijöiden ammattitaidon ylläpitämiseksi esimerkiksi taloudellisen ajotavan suhteen, sähkökäyttöisiin pienkoneisiin investoiminen, biopolttoaineiden asteittainen käyttöönotto sekä uusiutuvan sähkön käyttö. Yritys pyrkii myös hyödyntämään kontaktejaan asenteiden ja toimintatapojen muuttamiseksi laajemmin omalla toiminta-alueellaan. Tämä on mahdollista toteuttaa esimerkiksi sisällyttämällä ympäristönäkökulmat osaksi nykyistä yhteistyötä paikallisten maanrakennuskoulujen kanssa opiskelijoiden tietämyksen ja ymmärryksen kasvattamiseksi. Jo opinnäytetyön teon aikana yritys lähti sitouttamaan omia alihankkijoitaan osaksi omaa ympäristöjärjestelmäänsä osana alihankintasopimuksia, minkä lisäksi alihankkijat tulevat olemaan oman henkilöstön myötä mukana tulevissa koulutuksissa.

Koska luotettavaa ja vertailukelpoista sekä ennen kaikkea julkista tietoa nimenomaan infran rakentamisaikaisista päästöistä on vähän, olisi ensiarvoisen tärkeää jatkaa eri hankkeiden hiilijalanjälkilaskentaa niin julkisella kuin yksityiselläkin sektorilla. Erityisesti erikokoisten ja eripuolelta Suomea rakennettavien hankkeiden myötä saatuja tuloksia voisi tulevaisuudessa koota

yhteen ja verrata kokonaispäästöarvioihin, jolloin keskiarvoisten ja osin arvioihin perustuvan laskennan tulokset tarkentuisivat. Olisi myös ensiarvoisen tärkeää seurata ja kirjata infrarakentamisen määriä sekä menekkejä vuositason tasolla, jotta yritykset, kunnat sekä Suomen valtio pystyisivät todella toteuttamaan rakentamisaikaisten päästöjen seurantaa osana kansallisia sekä kansainvälisiä päästövähennystavoitteita.

Tämän opinnäytetyön toteutuksen aikataulurajoitusten puitteissa toimeksiantajayrityksessä ei päästy merkittävästi tutustumaan Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) infrarakentamisen CO₂-päästötietokantaan (InfraCO₂-palvelu 2023). Tutkimusta yrityksen sisällä tullaankin seuraavaksi jatkamaan vertaamalla One Click LCA -ohjelmistolla saatuja tuloksia päästötietokantaan ja selvittää, millä tavalla tietokantaa voisi jatkossa mahdollisesti hyödyntää yrityksen rakentamisaikaisten päästöjen tilastoinnissa sekä seurannassa.

Lähteet

Euroopan komissio 2016. EU:n rakennus- ja purkujätteen käsittely- ja kierrätysmalli. Euroopan komissio. Viitattu: 14.11.2023.
file:///C:/Users/timon/Downloads/FI-TRA-00%20(1).pdf.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 595/2009.

Euroopan parlamentti 2022. Euroopan vihreän kehityksen ohjelma: avain ilmastoneutraaliin EU:hun. Euroopan parlamentti. Viitattu 26.5.2022.
<https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/priorities/ilmastonmuutos/20200618STO81513/euroopan-vihrean-kehityksen-ohjelma>

Foamit n.d. Foamit F60. Tuotekortti foamit.fi verkkosivustolla. Forssassa: Uusioaines Oy. Viitattu 13.11.2023. https://foamit.fi/wp-content/uploads/2023/02/foamit_tuotekortti_infra_210x297_web_15022023.pdf

Hämäläinen, Raimo 2020. GHG-protokollan mukainen kasvihuonekaasupäästö-laskenta infrahankkeelle, Case: Viinijärven ylikulkusilta. Opinnäytetyö (AMK). Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Liperissä 20.5.2020: Savonia ammattikorkeakoulu. Viitattu: 1.11.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/340108/ONT_H%c3%a4m%c3%a4l%c3%a4inen_2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

Hiilineutraali Suomi -palvelu 2023. Hinku-kunnat. Hiilineutraalisuomi.fi -sivusto. Julkaistu 2.5.2019, päivitetty 15.11.2023. Helsingissä 2019: Suomen ympäristökeskus. Viitattu 18.12.2023. <https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Hinku/Hinkukunnat>

InfraCO2-palvelu 2023. Infrarakentamisen päästötietokanta. Suomen ympäristökeskuksen SYKE ylläpitämä palvelu. Päivitetty 17.11.2023, versio 01.00.004. Viitattu 27.11.2023. <https://co2data.fi/infra/>.

Kallinen, Timo & Kinnunen, Taina 2021. Etnografia. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere:

Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 13.11.2023.
<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/>.

Koneyrittäjät Ry n.d. Työkoneiden pakokaasupäästöjä määrää Stage-luokitus. Koneluokitus.fi-sivusto. Viitattu 17.11.2023. <https://www.koneluokitus.fi/stage-paastoluokitus>.

Lehtovirta, Tommi 2023. Infrarakentamisen hiilidioksidiekvivalenttipäästöt Suomessa. Diplomityö, Georakentamisen maisteriohjelma. Helsingissä 21.04.2023: Aalto-yliopisto. Viitattu 1.11.2023.
<https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/3cb869c5-ceb3-4973-bd3d-bdd6339ed222/content>.

Liikenne- ja viestintäministeriö 2021. Fossiilittoman tieliikenteen tiekartta. Helsinki 2021: Liikenne- ja viestintäministeriö. Viitattu 14.11.2023.
https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163258/LVM_2021_15.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Liikennevirasto 2017. Infrahankkeiden EN-standardeja noudattava hiilijalanjälki- ja elinkaariarviointi. Helsingissä 2017: Panu Pasanen ja Noora Miilumäki, Liikennevirasto. Viitattu 14.11.2023.
https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/134744/lts_2017-20_978-952-317-386-6.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

Luhtala, Martti 2023. Mistä muovit valmistetaan ja miten biomuovit siihen liittyy? Vantaalla: Plasthouse Oy. Viitattu 14.11.2023. <https://www.plasthouse.fi/mista-muovit-valmistetaan-ja-miten-biomuovit-siihen-liittyy/>.

Maanmittauslaitos, karttapaikka. Kuvan 2 lähde. Viitattu 1.12.2023.
<https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/>.

Motiva n.d.a. Vähäpäästöiset työkoneet: Työkoneen käyttäjälle. Verkkokurssin materiaali. Päivitetty 3.8.2023. Viitattu 17.11.2023. <https://motiva-verkkokurssit.fi/kurssit/tyokoneet/>.

Motiva n.d.b. Vähäpäästöiset työkonet: Yleinen osio. Verkkokurssin materiaali. Päivitetty 8.8.2023. Viitattu 17.11.2023. <https://motiva-verkkokurssit.fi/kurssit/vahapaastoiset-tyokoneet-taustaa-tavoitteet-yms/>.

Niemi, Janika 2019. Hiilidioksidipäästöt infrahankkeessa ja niiden vaikutus kustannuksiin. Opinnäytetyö (AMK). Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka Jyväskylässä 5/2019: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 1.11.2023. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/215278/Hiilidioksidip%C3%A4%C3%A4st%C3%B6t%20infrahankkeessa%20ja%20niiden%20vaikutukset%20kustannuksiin.pdf?sequence=2>.

One Click LCA Ltd. 2021. Life cycle assessment for buildings - Why it matters and how to use it. E-kirja. Helsingissä 2021: One Click LCA Ltd. Viitattu 13.11.2023. <https://oneclicklca.drift.click/building-lca-ebook>.

One Click LCA. Tulosraportin selitteet. One Click LCA -laskentaohjelmisto. Versio 0.20.0, tietopohjaversio 7.6. Helsinki: One Click LCA Ltd.

Peab Asphalt 2021. Hiilidioksidipäästöt puolittavan ECO-Asfalt™:in tuotanto käynnistyi Lahdessa. Helsingissä 12.5.2021: Peab Oy. Viitattu 13.11.2023. <https://peabasfalt.fi/ajankohtaista/peab-asfalt-kaynnisti-hiilidioksidipaastot-puolittavan-eco-asfaltin-tuotannon-lahden-asfalttiasemallaan/>

Peab Oy n.d. Matalalämpöasfaltti vähentää energiankulutusta ja päästöjä. Helsingissä: Peab Oy. Viitattu 13.11.2023. <https://peabasfalt.fi/asfalttituotteet/matalalampoasfaltti/>

PTL 2012. Uusioasfaltti. Tietoesite. Tampereella 5/2012: Pohjoismaiden tie- ja liikennefoorumi PTL. Viitattu 13.11.2023. Saatavilla: <https://www.rt.fi/globalassets/infra/tietoa-ja-tilastoja/uusioasfalttiesite.pdf>

Rakennusteollisuus 2020a. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035: Osa 1. Rakennetun ympäristön hiilielinkaaren nykytila. Helsingissä 28.5.2020: Gaia Consulting Oy. Viitattu 15.12.2023. <https://rt.fi/wp-content/uploads/2023/11/rt-1-rakennetun-ympariston-hiilielinkaaren-nykytila.pdf>.

Rakennusteollisuus 2020b. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035: Osa 4. Rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön vähähiilisyyden tiekartta 2020-2035-2050 Lopullinen versio. Helsingissä 18.6.2020: Gaia Consulting Oy. Viitattu 15.12.2023. <https://rt.fi/wp-content/uploads/2023/11/rt-4-vahahiilisyyden-tiekartta.pdf>.

Rakennusteollisuus n.d. Kestävä rakentaminen torjuu ilmastonmuutosta. Rakennusteollisuuden julkaisuja. Helsingissä: Rakennusteollisuus Ry. Viitattu 15.12.2023. https://kivitaloinfo.fi/wp-content/uploads/2012/06/rt_kestava_rakentaminen_torjuu_ilmastonmuutosta.pdf

Rakli Ry 2021. Infra 2035: Infrastruktuuri hiilineutraalissa Suomessa. Loppuraportin tiivistelmä 6/2021. Helsinki: Rakli Ry & Demos Helsinki. Viitattu 15.12.2023. <https://demoshelsinki.fi/wp-content/uploads/2021/06/Infra-2035.pdf>.

Rudus n.d. Betoroc-betonimurskeen jätestatus poistui. Viitattu 27.5.2022. <https://www.rudus.fi/tuotteet/kierratys/betonimurske>.

Traficom 2023. Liikenteen CO₂-päästöt liikennemuodoittain sekä maakunnittain. Tilastotieto. Julkaistu 7.9.2021, päivitetty 10.11.2023. Viitattu 14.11.2023. <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/liikenteen-co2-paastot-liikennemuodoittain-seka-maakunnittain>.

United Nations 2015. General assembly A/RES/70/1. Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Pariisissa 25.9.2015: Yhdistyneet Kansakunnat. Viitattu 26.5.2022. https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf

Uponor n.d. Siirytään kohti nettonollaa. Viitattu 14.11.2023. <https://www.uponor.com/fi-fi/yritys/kestavan-muutoksen-johtaminen/siirrytaan-kohti-nettonollaa?>

Valtionneuvoston kanslia 2020. Kohti hiilineutraalia hyvinvointiyhteiskuntaa: Valtioneuvoston selonteko kestävän kehityksen globaalista toimintaohjelmasta

agenda2030:sta. Helsingissä 2020: Valtionneuvoston kanslia. Viitattu 15.12.2023.

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162475/VNK_2020_7.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Väylä 2019. Väylänpidon hiilijalanjälki ja sen laskeminen. Väyläviraston julkaisuja 50/2019. Helsingissä 2019: Max Mannola, Väylävirasto. Viitattu 15.12.2023. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/173485/vj_2019-50_978-952-317-740-6.pdf?sequence=5&isAllowed=y.

Väylä 2020. Tie- ja ratainfrastruktuurin elinkaariarvioinnin opas. Väyläviraston julkaisuja 64/2020. Helsingissä 12/2020: Väylävirasto. Viitattu 15.12.2023. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/180196/vj_2020-64_978-952-317-830-4.pdf?sequence=5&isAllowed=y.

Väylä 2023. Infrarakentamisen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Väyläviraston ohjeita 43/2023. Helsingissä 30.10.2023: Väylävirasto. Viitattu 15.12.2023. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-43_vahahiilisyyden_arviointimenetelma_web.pdf.

VTT 2016. Työkoneiden CO₂ päästöt ja niihin vaikuttaminen. Espoossa 9.11.2016: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Viitattu 14.11.2023. https://transsmart.fi/files/426/Tyokoneiden_CO2_paastot_ja_niihin_vaikuttaminen.pdf.

Ympäristöministeriö n.d.a. Hallituksen ilmastopolitiikka: kohti hiilineutraalia Suomea 2035. Viitattu 26.5.2022. <https://ym.fi/hiilineutraalisuomi2035>.

Ympäristöministeriö n.d.b. Maankäyttö- ja rakennuslaki uudistuu: Tietoa lakiuudistuksesta. Viitattu: 26.5.2022. <https://mrluudistus.fi/tietoa-lakiuudistuksesta/>.

Ympäristöministeriö n.d.c. Pariisin ilmastopöytäkirja. Viitattu 26.5.2022. <https://ym.fi/pariisin-ilmastopoytakirja>.

Standardin EN 15804+A1 mukaiset tulokset

Osio	Osa-alue	Ilmaston lämpeneminen kg CO ₂ e	Biogeeninen hiili kg CO ₂ e bio
A0	Pre-construction		
A1-A3	Tuotevaihe	43093,44	0
A1-A3a	Tuotevaihe - materiaalit	3304,16	0
A1-A3b	Tuotevaihe - massat	39789,28	0
A4-full	Liikkuminen	18370,42	
A4leg1	Liikkuminen	18370,42	0
A4leg2	Liikkuminen		
A5	Rakennusprosessi	67582,07	
A5-inputs	Tuotevaihe - materiaalit	37519,81	0
A5Construction	Rakennusprosessi	26703,56	0
A5 transport	Construction site transport	313,56	0
A5_EOL	Elinkaaren loppu	647,83	0
A5w-material	Rakennustuotteiden työmaahävikki	2393,8	
A5w transport	Transport	3,51	
A5w_EOL	Waste End of life	0	0
B1	Käyttövaihe		
B1-a	Kylmäaineen vuotaminen vuosittain		
B1-b	Kylmäainehävikki, laitteiden vaihto		
B1-c	Kylmäainehävikki, laitteiden käyttöiän päättymisen		
B1-d	Sementtipohjaisten tuotteiden hiilinielut		
B1-e	Kasvillisuuden hiilidioksidin poistaminen		
B2	Huolto		
B2	Huolto		
B2stage	Huolto		
B2-transport	Maintenance transportation		
B2_EOL	Elinkaaren loppu		
B3	Korjaus		
B3	Korjaus		
B3stage	Korjaus		
B3-transport	Repair transportation		
B3_EOL	Elinkaaren loppu		
B4-B5	Osien vaihto ja peruskorjaukset	1452,74	
B4-B5	Korvaaminen ja kunnostaminen	1344	
B4-B5-transport	Korvaava kuljetus	18,43	0
B4-B5_EOL	Elinkaaren loppu	90,3	0
B6	Energian käyttö		
B7	Veden käyttö		
B8	Käyttäjän infrastruktuurin käyttö, per vuosi		
C1-C4	Elinkaaren loppu	123,43	
C2	Jätteiden kuljetus	111,56	
C3	Jätteen tuotanto	11,87	
C4	Jätteen loppusijoitus		
D	Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset (ei mukana summarivillä)	-28411,13	
D	Asennetut materiaalit - hyöty	-26719,91	0
A5w_benefit_EOL	Asennetut materiaalit - hyöty	-1636,26	0
B4-B5-benefit	Materiaalin vaihto - hyöty	-54,96	0

Standardien EN-15804:2013+A1 ja :2019+A2 mukaiset tulokset

Osio	Osa-alue	Ilmaston lämpenemispotentiaali fossiilinen-A2 kg CO ₂ e	Ilmaston lämpeneminen, LULUC kg CO ₂ e
A0	Pre-construction		
A1-A3	Tuotevaihe	43093,48	0
A1-A3a	Tuotevaihe - materiaalit	3304,2	0
A1-A3b	Tuotevaihe - massat	39789,28	0
A4-full	Liikkuminen	18370,42	0,64
A4leg1	Liikkuminen	18370,42	0,64
A4leg2	Liikkuminen		
A5	Rakennusprosessi	69408,98	27,14
A5-inputs	Tuotevaihe - materiaalit	39243,31	24,36
A5Construction	Rakennusprosessi	26703,56	1,17
A5 transport	Construction site transport	313,56	0,0017
A5_EOL	Elinkaaren loppu	647,83	0,15
A5w-material	Rakennustuotteiden työmaahävikki	2497,21	1,46
A5w transport	Transport	3,51	0,000091
A5w_EOL	Waste End of life	0	0
B1	Käyttövaihe		
B1-a	vuosittain		
B1-b	Kylmäainehävikki, laitteiden vaihto		
B1-c	Kylmäainehävikki, laitteiden käyttöiän päättyminen		
B1-d	Sementtipohjaisten tuotteiden hiilinielut		
B1-e	Kasvillisuuden hiilidioksidin poistaminen		
B2	Huolto		
B2	Huolto		
B2stage	Huolto		
B2-transport	Maintenance transportation		
B2_EOL	Elinkaaren loppu		
B3	Korjaus		
B3	Korjaus		
B3stage	Korjaus		
B3-transport	Repair transportation		
B3_EOL	Elinkaaren loppu		
B4-B5	Osien vaihto ja peruskorjaukset	1452,74	0,013
B4-B5	Korvaaminen ja kunnostaminen	1344	0
B4-B5-transport	Korvaava kuljetus	18,43	0,00064
B4-B5_EOL	Elinkaaren loppu	90,3	0,012
B6	Energian käyttö		
B7	Veden käyttö		
B8	Käyttäjän infrastruktuurin käyttö, per vuosi		
C1-C4	Elinkaaren loppu	123,43	0,024
C2	Jätteiden kuljetus	111,56	0,0039
C3	Jätteen tuotanto	11,87	0,02
C4	Jätteen loppusijoitus		
D	Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset (ei mukana)	-28411,13	-20,07
D	Asennetut materiaalit - hyöty	-26719,91	-18,87
A5w_benefit_EOL	Asennetut materiaalit - hyöty	-1636,26	-1,16
B4-B5-benefit	Materiaalin vaihto - hyöty	-54,96	-0,039