



# Ilmalan raitiotieyhteyden rakentamisen aikainen hiilijalanjälki

Niko Lindström

Opinnäytetyö

Maaliskuu 2023

Insinööri, AMK Energia- ja ympäristötekniikka

**Lindström, Niko Armas Juhani**

## **Ilmalan raitiotie yhteyden rakentamisen aikainen hiilijalanjälki**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Maaliskuu 2023, 36 sivua

Tekniikan ala. Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Suomen yksi merkittävämpiä hiilidioksidin päästölähteitä on rakentaminen. Kansainväliset sopimukset ja tavoitteet hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi ohjaavat myös Suomen lainsäädäntöä ja tavoitteita. Myös Helsingin kaupunki ja Pääkaupunkiseudun Kaupunkiliikenne Oy tavoittelevat hiili-neutraalisuutta. Helsingin hiilineutraalisuustavoite on asetettu vuoteen 2035 ja Kaupunkiliikenne Oyn jo vuoteen 2030 mennessä. Jotta päästötavoitteisiin päästää, on selvitettävä suurten infrarakentamishankkeiden tämänhetkiset päästöt.

Ilmalan raitiotie yhteyden hiilijalanjälkilaskelman tavoitteena oli selvittää Länsi-Pasilasta Ilmalantorille rakennetun noin 1,3 kilometriä pitkän uuden raitiotieosuuden rakennuksen aikana syntyneet hiilidioksidipäästöt. Laskenta tehtiin Väyläviraston ja Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämän co2data.fi päästötietokantaa apuna käyttäen. Tämä hiilijalanjälkilaskelma toimi myös raitiotiehankkeen pilotointilaskentana päästötiekannan osalta ja tarkoituksena oli kehittää tietokantaa sopimaan paremmin raitiotiehankkeiden päästöjen laskentaan.

Laskennan tuloksena saatiin Ilmalan raitiotieyhteyden rakentamisen aikaisiksi päästöiksi 2414618,5 kilogrammaa hiilidioksidiekvivalentti päästöjä. Tuloksesta voidaan päätellä, että infrarakentaminen aiheuttaa edelleen suuria määriä päästöjä. Laskennassa tunnistettiin merkittävimmiksi yksittäisiksi päästölähteiksi raitiotien rakentamiseen käytettävät teräsmateriaalit, joiden osuus kokonaispäästöistä oli 30,58 % ja betoninen pohjalaatta, jonka osuus oli 29,66 %

### **Avainsanat (asiasanat)**

Raitiotie, hiilijalanjälki, hiilidioksidineutraalisuus

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

**Lindström, Niko Armas Juhani**

### **Calculation of the carbon footprint of the construction of the Ilmala tramway connection**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences. March 2023. 36 pages

Engineering and technology. Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

#### **Abstract**

One of Finland's most significant sources of carbon dioxide emissions is construction. International agreements and goals for reducing carbon dioxide emissions also guide Finnish legislation and goals. The City of Helsinki and Pääkaupunkiseudun Kaupunkiliikenne Oy also aim for carbon neutrality. Helsinki's carbon neutrality goal has been set for 2035, and Kaupunkiliikenne Oy's for 2030. To reach the emission targets, it is necessary to clarify the current emissions of large infrastructure construction projects.

The goal of the carbon footprint calculation of the Ilmala tramway connection was to determine the carbon dioxide emissions generated during the construction of the approximately 1.4-kilometer-long new tramway section built from Länsi-Pasila to Ilmalan tori. The calculation was made using the emissions database co2data.fi maintained by the Väylävirasto and the SYKE. This carbon footprint calculation also served as a pilot calculation for the tramway project regarding the emission road database, and the purpose was to develop the database to be more suitable for calculating the emissions of tramway projects.

As a result of the calculation, the emissions during the construction of the Ilmala tramway connection were 2414618,5 kilograms of carbon dioxide equivalent emissions. It can be concluded from the result that infrastructure construction still causes large amounts of emissions. In the calculation, the most significant individual sources of emissions were identified as the steel materials used in the construction of the tramway, which accounted for 30.58% of the total emissions, and the concrete base slab, which accounted for 29.66%.

#### **Keywords/tags (subjects)**

Tramway, carbon footprint, carbon dioxide neutrality

#### **Miscellaneous (Confidential information)**

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>3</b>
1.1	Kaupunkiliikenne Oy.....	3
1.2	Green deal-sopimus .....	4
<b>2</b>	<b>Työn tavoite</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Määrällinen tutkimus</b> .....	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Tietoperusta</b> .....	<b>5</b>
4.1	Hiilidioksidi ja hiilidioksidiekvivalentti .....	5
4.2	Hiilen kiertokulku .....	6
4.3	Kasvihuoneilmiö .....	6
4.4	Ilmastonmuutos .....	7
<b>5</b>	<b>Päästöjen vähentäminen joukkoliikenteessä</b> .....	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>Ilmalan yhteys</b> .....	<b>11</b>
6.1	Vähäpäästöinen työmaa .....	11
<b>7</b>	<b>Hiilijalanjälkilaskennan toteutus</b> .....	<b>12</b>
7.1	Väylän pilottilaskenta.....	12
7.2	Päästölähteiden tunnistaminen .....	13
7.3	Laskettavien alueiden rajaukset.....	14
7.3.1	Pasilankatu.....	15
7.3.2	Radiokatu .....	15
7.3.3	Ilmalankuja ja Ilmalantori .....	16
<b>8</b>	<b>Sähkökäyttö</b> .....	<b>16</b>
8.1	Tuulivoimalla tuotettua sähköä .....	16
8.2	Sähkökäytön päästöjen laskenta .....	17
<b>9</b>	<b>Polttoaineen kulutus</b> .....	<b>17</b>
9.1	Uusiutuva diesel työmaan polttoaineena .....	17
9.2	Polttoaineen kulutuksen hiilidioksidipäästöjen laskenta.....	18
<b>10</b>	<b>Materiaalit</b> .....	<b>19</b>
10.1	Radan rakentamien .....	19
10.1.1	Kiskot ja vaihteet .....	19
10.1.2	Pohjalaatta.....	20
10.1.3	Asfaltit.....	20
10.1.4	Kivipäällysteet.....	21
10.1.5	Betoniset asennuskuutiot.....	21

10.1.6	Runkomelueristeet .....	22
10.2	Radan sähköistys .....	22
10.2.1	Ajojohdin ja kannatinlangat.....	22
10.2.2	Yk-pylväät.....	23
10.2.3	Kaapelinsuojaputket .....	25
<b>11</b>	<b>Kuljetukset .....</b>	<b>25</b>
<b>12</b>	<b>Laskennan ulkopuolelle jääneet materiaalit .....</b>	<b>26</b>
<b>13</b>	<b>Tulosten yhteenveto.....</b>	<b>27</b>
<b>14</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>28</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>31</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>34</b>
	Liite 1. Kuljetusten päästöt .....	34
	Liite 2. Materiaalien päästöt .....	35
	Liite 3. Sähkökäytön päästöt.....	36

## Kuviot

<b>Kuvio 1</b>	Ilmastonmuutoksen havaitut vaikutukset ekosysteemeihin (IPCC 2022) .....	8
<b>Kuvio 2</b>	Ilmaston muutoksen havaitut vaikutukset ihmisten järjestelmiin (IPCC 2022) .....	9
<b>Kuvio 3</b>	Helenin myydyn sähkön osuudet tuotantotavoittain 2021 (Energian alkuperä 2021). ..	11
<b>Kuvio 4</b>	Ilmalan raitiotieyhteyden urakkakartta (Luoto 2022) .....	12
<b>Kuvio 5</b>	Seinäkiinnitys Radiokadulla .....	15
<b>Kuvio 6</b>	Ajojohdinjärjestelmää Radiokadulla .....	23
<b>Kuvio 7</b>	YK-pylväitä Radiokadulla.....	24
<b>Kuvio 8</b>	Päästöjen jakautuminen, yksikkönä tkgCO <sub>2</sub> ekv.....	28

## Taulukot

<b>Taulukko 1</b>	Polttoainetiedot .....	19
<b>Taulukko 2</b>	Kiskomateriaalin päästöt .....	20
<b>Taulukko 3</b>	Kuparituotteiden hiilijalanjälki (Suomen ympäristökeskus 2022).....	23
<b>Taulukko 4</b>	Kokonaispäästömäärät .....	27

# 1 Johdanto

Pääkaupunkiseudulla raitiotie- metroliikennöinnistä vastaa Kaupunkiliikenne Oy, entinen HKL (Helsingin Kaupungin liikennelaitos). Vuosina 2020–2022 Helsinkiin rakennettiin uusi 1,3 kilometriä pitkä raitiotieosuus Länsi-Pasilasta Ilmalantorille. Tämä opinnäytetyö on Ilmalan yhteyden uuden raitiotieosuuden hiilijalanjälki- eli päästölaskenta. Opinnäytetyö tulee käsittelemään raitiotieyhteyden rakentamishankkeen aikaisia hiilidioksidipäästöjä. Liikennöinti on alkanut syyskuussa 2022 kyseisellä osuudella ja nyt on aika tehdä hankkeesta hiilijalanjälkilaskelma. Modernisti toteutettu Ilmalan raitiotie yhteys sopii erinomaisesti päästöjen tarkastelun kohteeksi ja se antaakin hyvät suuntaviivat raitioteiden rakentamisista aiheutuvien päästöjen tarkasteluun.

Opinnäytetyön hiilijalanjäljen laskenta rajautuu kattamaan rakentamisen aikaisten päästöjen laskennan. Rakennusmateriaalien päästökertoimet haetaan sivustolta <https://co2data.fi/>. Niille materiaaleille, joita ei löydy kyseiseltä sivustolta, haetaan päästökertoimet muualta, tai arvioidaan kertoimet mahdollisimman tarkasti. Opinnäytetyön aihe on ajankohtainen ilmastonmuutoksen vuoksi, koska ihmiskunnan tavoitteena ja veloitteena on hiilidioksidipäästöjen vähentämien. Vähentämisen keinoja voidaan miettiä ja toteuttaa vasta sitten, kun tunnistetaan päästöjen lähteet ja määrät.

## 1.1 Kaupunkiliikenne Oy

Kaupunkiliikenne Oy on julkisomisteinen, helmikuussa 2022 yhtiömuotoon siirtynyt joukkoliikenneyhtiö. Kaupunkiliikenne Oy hallinnoi Helsingin joukkoliikenneinfraa ja omistaa raitiovaunukaluston. Kaupunkiliikenne Oy vastaa joukkoliikenteen kokonaisuuden kehittämisen lisäksi itse kyseisen infran kunnossapidosta. Yhtiö liikennöi pääkaupunkiseudun raitiovaunua ja tuottaa metron liikennöintiä palveluna. Myös Suomenlinnan lautan liikenteen ylläpito kuuluu Kaupunkiliikenne Oyille sekä Helsingin kaupunkipyöräpalvelun järjestäminen.

Tämä opinnäytetyö tulee palvelemaan koko Kaupunkiliikenne Oy:tä tavoitteissaan kohti hiilineutraaliutta. Toimeksiantajana työlle on Kaupunkiliikenne Oyn omaisuudenhallintayksikön hankepalvelut. Nimensä mukaisesti hankepalveluiden rata- ja ratasähkötiimi toteuttaa erilaisia raitiotiehen ja metroon liittyviä rakennushankkeita. Myös Ilmalan yhteyden rakentamishanke kuului rata- ja ratasähkötiimille.

## 1.2 Green deal-sopimus

Green deal-sopimus on vuonna 2020 solmittu Ympäristöministeriön ja Senaatti-kiinteistöjen, Espoon, Helsingin, Turun ja Vantaan kaupunkien kanssa, tavoitteena vähentää työmailla syntyviä päästöjä. Sittemmin sopimukseen on liittynyt myös Helsingin seudun ympäristöpalvelut - kuntayhtymä HSY. Vuoden 2025 loppuun mennessä sopimuksen osapuolten työmaiden tulee olla fossiilitomia, eli fossiilisten polttoaineiden käyttö on kokonaan lopetettu. Tämän lisäksi työmaiden kuljetuskaluston ja työmailla käytettävistä koneista vähintään 50% tulee toimia sähköllä, biokaasulla tai vedyllä vuoteen 2030 mennessä. Sopimuksessa pohjana on yhteiset hankintakriteerit, joita sopimusten osapuolet käyttävät tulevaisuuden hankinnoissaan. Green deal-sopimus on voimassa vuoden 2030 loppuun asti. (Ympäristöministeriö 2022.)

## 2 Työn tavoite

Kaupunkiliikenne Oyn tavoitteena on olla hiilineutraali liikennepalveluiden tuottaja vuoteen 2030 mennessä. Kuitenkin suuria infrarakentamisen hankkeita on tulossa myös tulevaisuudessa ja hiilidioksidipäästöiltä ei tulla välttymään. Hankkeiden hiilijalanjälkien seuranta, päästölähteiden tunnistaminen ja hiilineutraalin rakentamisen käytännön toimet ovat ensisijaisen tärkeitä tavoitteen toteutumisen kannalta.

Ilmalan raitiotie yhteyden rakentamisen hiilijalanjäljen laskennan tavoitteena on saada kattava kuvaus Ilmalaan rakennetun uuden raitiotien rakentamisesta aiheutuneista päästöistä. Päästöt laskeaan työstä (polttoaineet ja sähkönkulutus), rakennusmateriaalien valmistuksesta ja niiden kuljetuksista. Lisäksi tavoitteena on tunnistaa merkittävimmät rakentamisen päästölähteet. Lopuksi pohditaan keinoja päästöjen vähentämiseksi ja arvioidaan laskennan luotettavuutta.

## 3 Määrällinen tutkimus

Määrällinen, eli kvantitatiivinen tutkimusmenetelmä tarkoittaa sitä, että tutkittavaa ilmiötä kuvataan numeroin ja määrin. Tutkimustulokset auttavat vertailussa menneeseen tai toiseen kohteeseen, tai sitten ne antavat kokonaan uutta tietoa kyseisen tutkimuskohteen ominaisuuksista. Jos tuloksia käytetään vertailuun, on luonnollisesti valittava keskenään vertailukelpoiset kohteet.

Määrällisen tutkimusotteen oleellinen kysymys on, kuinka voidaan määrittää mitattaviksi tulevat

ominaisuudet. Minkä tekijöiden varassa jokin ilmiö selittyy? (Anttila 2006, 233.) Kun tutkitaan inf-rarakentamisen päästömääriä, on mitattavat ominaisuudet melko helppo määrittää. Toisaalta las-kennassa on kuitenkin hyvin paljon muuttuvia ja lopputulokseen vaikuttavia tekijöitä.

Kvantitatiivinen tutkimus lähtee usein liikkeelle tunnetuista tosiasioista tai tieteellisessä tutkimuk-sessa tunnetuista teorioista. Käytännössä teorian asemassa on yleisesti hyväksytyt ja koetelleet ammattikäytänteet. Ajatuksena on kyseenalaistaa vallitsevat näkemykset ja tehdä hypoteeseja, joiden totuuden peräisyyttä koetellaan uusien tulosten valossa. Kun määrällistä tutkimusta ryhdy-tään tekemään, on lähtökohtana yleensä se, että tutkitaan jostain luotettavasta saatavilla olevasta tutkimuksesta tai aikaisemmasta materiaalista, mitkä ovat olemassa olevien tietojen mukaan kes-keiset mitattavissa tai verrattavissa olevat vaikuttavat tekijät. Kvantitatiivisen tutkimuksen ollessa kysymyksessä tällaista lähtökohtaa ei voida välttää. (Anttila 2006, 234.) Myös raitiotien rakentami-sen hiilijalanjälkilaskennassa voidaan saatuja tuloksia verrata teoreettisiin arvioituihin päästömää-riin.

## 4 Tietoperusta

### 4.1 Hiilidioksidi ja hiilidioksidiekvivalentti

Hiilidioksidi on kemiallinen yhdiste, joka koostuu hiilestä ja hapesta. Nykyään hiilidioksidista pu-huttaessa mielletään se lähes aina pelkäksi päästökseksi. Hiilidioksidilla on myös olennainen rooli elä-mälle elintärkeässä yhteyttämisessä, jossa kasvit muuntavat aurinkoenergian solujen käyttöön so-veltuvaksi kemialliseksi energiaksi viherhiukkasissa ja mitokondrioissa. Hiilidioksidista ja vedestä tuotetaan auringonvalon energian avulla happea ja glukoosia, joista soluhengityksessä muodostuu kemiallista energiaa ATP-molekyylien (adenosiinitrifosfaatti) muodossa. Prosessissa vapautuva vesi ja hiilidioksidi kierrätetään uudelleen solun käyttöön. Runsaasti energiaa sisältäviä ATP-molekyyliä käytetään solussa energian siirtoon ja varastointiin. (Viranta-Kovanen 2010, 41.)

Kasvihuonekaasupäästöistä puhuttaessa käytetään termiä hiilidioksidiekvivalentti. Hiilidioksidin lisäksi päästöihin huomioidaan CH<sub>4</sub>, eli metaani ja N<sub>2</sub>O, eli typpioksiduuli. Hiilidioksidiekvivalentti, lyhennettynä CO<sub>2</sub>ekv tarkoittaa, että eri kasvihuonekaasut ovat muutettu vastaamaan hiilidioksi-dia ilmastoja lämmittävien ominaisuuksien osalta. Tämä tehdään kertomalla metaanipäästöt 25:llä

ja typpioksiduulipäästöt luvulla 298. Kertoimet ovat peräisin kansainvälisen ilmastonmuutospaneelin IPCC:n 2006 guidelinesistä. (Teknologian tutkimuskeskus VTT.)

## 4.2 Hiilen kiertokulku

Elollinen luonto on osa hiilenkiertoa maapallolla. Mikäli hiilen kiertokulussa tapahtuu muutoksia, vaikuttavat ne suoraan hiilidioksidin määrään ilmakehässä, mikä vaikuttaa maapallon ilmastoon. Maapallon hiilivarastoissa olevasta hiilen kokonaismäärästä on paljon erilaisia arvioita, mutta arviot hiilen määrän kertaluokasta eri hiilivarastoissa ovat suurin piirtein samanlaisia. Myös hiilen kiertokulku tunnetaan pääosin, mutta kaikkia pienempiä osakiertomekanismeja ei tunneta täsmällisesti. Suuri osa planeettamme hiilestä on sitoutuneena sedimentteihin ja sedimenttikiveen, kuten karbonaattisiin kivihiileen ja kalkkikiviin. Arvion mukaan sedimenteissä ja sedimenttikivissä on hiiltä sitoutuneena noin 66 miljoonaa gigatonnia, eli 66 000 000 000 000 000 kilogrammaa. Sedimentteihin ja sedimenttikiviin on siis sitoutuneena huomattavasti enemmän hiiltä, kuin mihinkään muuhun hiilivarastoon. Myös syvän meriveteen on sitoutuneena huomattava määrä hiiltä, 38 000 gigatonnia. Maaperään, erilaisiin maannoksiin ja järvisedimentteihin on varastoituneena 1560 gigatonniahiiltä, meren pintaveteen 1000 gigatonnia, ilmakehään 600 gigatonnia ja elolliseen luontoon noin 610 gigatonnia. (Lunkka 2008, 39–43)

Auringosta tuleva ultraviolettisäteily hajottaa orgaanista ainesta, josta seuraa hapellisissa olosuhteissa hiilidioksidin syntymistä. Hapettomissa olosuhteissa puolestaan mikrobitoiminta tuottaa metaania ja typpioksiduulia. Suomen kasvihuonekaasuista hiilidioksidin osuus on lähes 90 %. Typpioksiduulin elinkaari on yli sata vuotta ja sillä on voimakkain ilmastoja lämmittävä vaikutus edellä mainituista kasvihuonekaasuista. Verrattuna aikaan ennen teollistumista, hiilidioksidin määrä ilmakehässä on kasvanut lähes 50 %, metaanipitoisuudet 150 % ja typpioksiduulin pitoisuus 20 %. (Lepäranta, Arvola & Huttula 2021.)

## 4.3 Kasvihuoneilmiö

Kasvihuoneilmiöllä tarkoitetaan ilmiötä, jossa auringosta tuleva säteily läpäisee ilmakehän, mutta maasta poistuva infrapuna- eli lämpösäteily ei pääse poistumaan yhtä tehokkaasti avaruuteen ilmakehässä olevien kasvihuonekaasujen takia. Näitä kaasuja ovat vesihöyry, hiilidioksidi ja pienissä

määrin metaani ja typen oksidit. Kasvihuoneilmiö merkittävä tekijä maan elinkelpoisuuden kannalta. Maa on kasvihuoneilmiön ansiosta noin 30 celsius-astetta lämpimämpi, kuin mitä se olisi ilman sitä. Kuitenkin liian suuret määrät näitä kaasuja häiritsevät Maan herkkää tasapainoa vangitsemalla liikaa energiaa, mikä aiheuttaa maan keskilämpötilan nousua ja ilmaston muuttumisen joillain paikkakunnilla. Näitä kasvihuoneilmiön ei-toivottuja seurauksia kutsutaan ilmaston lämpenemiseksi tai globaaliksi ilmastonmuutokseksi. (Cengel Y., Boles M. & Kanoglu M. 2020, 88–89.)

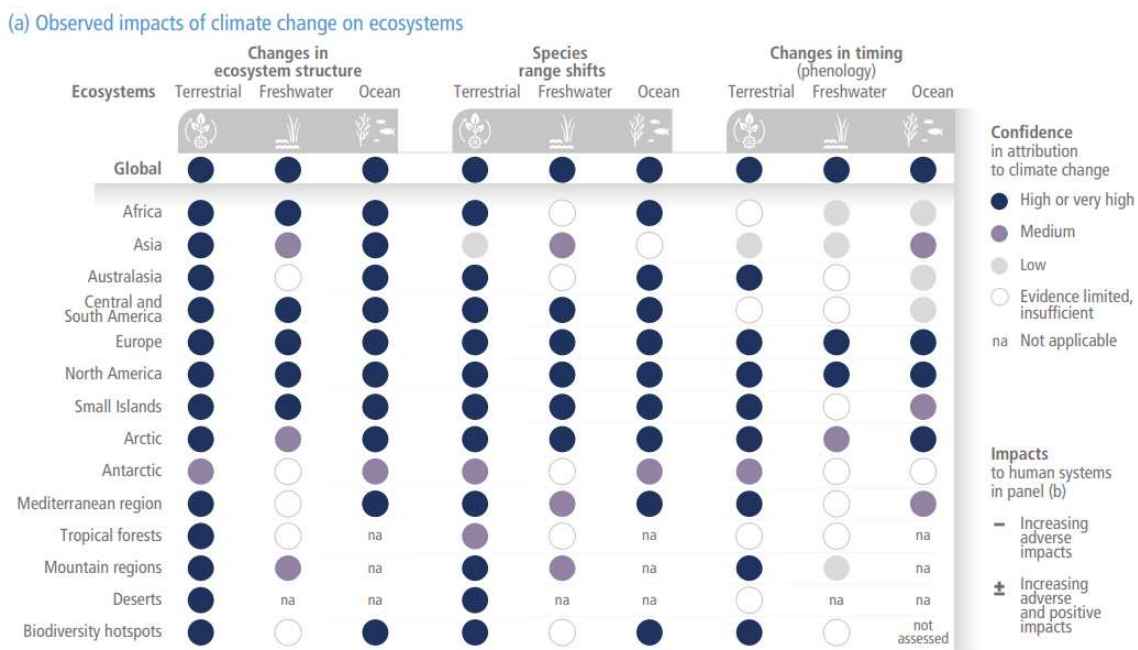
Auringosta saapuu Maahan säteilyä jatkuvasti suunnilleen teholla 340 wattia neliometriä kohden. Tämä keskimääräinen teho on laskettu koko Maan yli, eli mukaan luetaan myös Maan yöpuoli. Takaisin avaruuteen heijastuu noin 30 % ja noin 70 % absorboituu maahan ja mereen, osa ilmakehään. Tässä vaiheessa säteilyn energia muuttuu lämmöksi. Maalle elintärkeän kasvihuoneilmiön ”lasikaton” tehtävän hoitavat ilmakehän kasvihuonekaasut, tärkeimpinä näistä vesihöyry ja hiilidioksidi. Vaikka hiilidioksidia ja vesihöyryä on ilmakehän kaasuista vain pieni osa (valtaosan muodostavat typpi ja happi), niin silti ne absorboivat noin 90 % maanpinnan ja meren lähettämästä lämpösäteilystä. (Kasvihuoneilmiö ja ilmakehän koostumus 2022.)

#### 4.4 Ilmastonmuutos

Vuonna 1957 tohtori-kemisti-ydinfyysikko Hans Suess ja tohtorigeologi Roger Revelle totesivat, että: *”Ihminen tekee nyt suuren mittakaavan geofysikaalista koetta, jollainen olisi ollut aikaisemmin mahdoton ja jota ei voida toistaa tulevaisuudessa. Muutamassa vuosisadassa palautamme ilmakehään ja valtameriin satojenmiljoonien vuosien mittaan sedimenttikiviin varastoituneen orgaanisen hiilen.”* (Smil, 2017.)

2010- ja 2020-luvuilla (planeetta) Maan lämpötila oli keskimäärin yhden asteen korkeampi kuin 1800-luvun jälkimmäisellä puoliskolla. Havaintojen mukaan lämpeneminen on kiihtynyt erityisesti Maan pohjoisella pallonpuoliskolla. Arvioiden mukaan Maan keskilämpötila on 50 vuoden kuluttua kasvihuonekaasupäästöistä riippuen 1,5–3,5 astetta korkeampi, kuin mitä se oli vuosina 1850–1900. Lämpeneminen ei ole tasaista eri puolilla Maata, eikä myöskään eri vuodenaikoina, vaan lämpeneminen on voimakkainta pohjoisten leveysasteiden maa-alueilla talvisin. Talvet Pohjois-Euroopassa saattavat lämmitä jopa kahdesta seitsemään astetta 2060-lukuun mennessä. Lisäksi vielä harvinaiset helleaallot tulevat yleistymään. (Ilmatieteenlaitos.)

IPCC:n (2022), eli kansainvälisen ilmastopaneelin AR6-raportin mukaan ilmastonmuutoksella on maailmanlaajuisia vaikutuksia niin ekosysteemeihin kuin inhimillisiin järjestelmiin maapallolla (Kuviot 1 ja 2). Ilmastonmuutos, mukaan lukien äärimmäisten sääilmiöiden lisääntyminen, on heikentänyt ruoka- ja vesiturvallisuutta ja vaikeuttanut ponnisteluja saavuttaa kestävä kehityksen tavoitteet. Vaikka maatalouden kokonaistuottavuus on kasvanut, ilmastonmuutos on hidastanut tätä kasvua viimeisten 50 vuoden aikana maailmanlaajuisesti, siihen liittyvät negatiiviset vaikutukset olivat pääasiassa keski- ja alhaisilla leveysasteilla, mutta myönteisiä vaikutuksia esiintyi joillakin korkeilla leveysasteilla. Meren lämpeneminen ja valtameren happamoituminen ovat vaikuttaneet haitallisesti äyriäisten vesiviljelystä ja kalastuksesta peräisin olevaan elintarviketuotantoon joillakin valtameren alueilla. Kasvava äärimmäisten sää- ja ilmastotapahtumien määrä on altistanut miljoonat ihmiset akuutille elintarviketurvan puutteelle ja vähentänyt vesiturvallisuutta. Suurimmat vaikutukset havaittu monissa paikoissa ja/tai yhteisöissä Afrikassa, Aasiassa, Keski- ja Etelä-Amerikassa, pienillä saarilla ja arktisella alueella. (IPCC 2022.)



**Kuvio 1** Ilmastonmuutoksen havaitut vaikutukset ekosysteemeihin (IPCC 2022)

## (b) Observed impacts of climate change on human systems

Human systems	Impacts on water scarcity and food production				Impacts on health and wellbeing				Impacts on cities, settlements and infrastructure			
	Water scarcity	Agriculture/crop production	Animal and livestock health and productivity	Fisheries yields and aquaculture production	Infectious diseases	Heat, malnutrition and other	Mental health	Displacement	Inland flooding and associated damages	Flood/storm induced damages in coastal areas	Damages to infrastructure	Damages to key economic sectors
Global	+	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Africa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Asia	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Australasia	+	-	+	-	-	-	-	not assessed	-	-	-	-
Central and South America	+	-	+	-	-	-	not assessed	-	-	-	-	-
Europe	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
North America	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Small Islands	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arctic	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Cities by the sea	○	○	○	-	○	-	not assessed	-	○	-	-	-
Mediterranean region	-	-	-	-	-	-	not assessed	-	+	-	○	-
Mountain regions	+	+	-	○	-	-	-	-	-	na	-	-

Kuvio 2 Ilmaston muutoksen havaitut vaikutukset ihmisten järjestelmiin (IPCC 2022)

## 5 Päästöjen vähentäminen joukkoliikenteessä

Liikenteestä aiheutuu merkittävä osuus ilmastoja lämmittävistä kasvihuonekaasuista, koska liikenteessä käytetään edelleen pääosin fossiilisia polttoaineita. Myös paikallinen ilmanlaatu heikentyy terveydelle haitallisten häkä-, hiilivety-, pienhiukkas-, ja typen oksidipäästöjen myötä. Vuonna 2020 Suomen kokonaishiilidioksidipäästöt olivat noin 48,1 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>ekv, josta liikenteen osuus oli noin 10,4 miljoonaa tonnia, eli 21,6 %. (Perustietoa liikenteestä 2022.)

Eri liikennevälineiden kesken hiilidioksidipäästöt jakautuivat vuonna 2020 seuraavasti: Henkilöautot 52,8 %, kuorma-autot 33,3 %, pakettiautot 8,4 %, bussiliikenne 4,3 % ja moottoripyörät, mopot ja mopoautot 1,1 %. Ei-fossiilisten käyttövoimien osuus oli noin promille (Motiva 2022). Näitä lukuja katsellessa voitaneen todeta, ettei joukkoliikenteen (bussit ja raideliikenne) käyttövoiman hiilidioksidipäästöt ole suuri ongelma, etenkin bussienkin sähköistyessä, vaan päästöt aiheutuvat lähinnä raideliikenneinfran rakentamisesta. Tarkastellaan ensin kuitenkin raideliikenteen käyttövoiman, eli sähkön alkuperää.

Pääkaupunkiseudulla suurin joukkoliikennepalvelujen tarjoaja on HSL, eli Helsingin Seudun Liikenne. HSL kertoo sivuillaan, että raideliikenteen vahvuutena on ympäristöystävällisyys. Tätä pe-

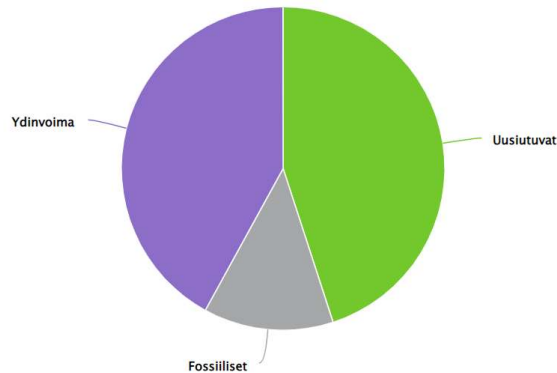
rustellaan siten, ettei kiskokulkuneuvoista synny lähipäästöjä. Lisäksi uutta liikennekalustoa hankittaessa huomio kiinnittyy energiatehokkuuteen. Metron, lähijunien ja raitiovaunujen kuluttama sähkö on kestävästi tuotettua. (Ympäristö lukuina 2022.)

HSL ei *liikennöi* metroa ja raitiovaunuja, vaan sen hoitaa Kaupunkiliikenne Oy. Kaupunkiliikenne Oyllä on käynnissä Hilka-ohjelma, jolla se pyrkii hiilineutraaliksi vuoteen 2030 mennessä. Kaupunkiliikenne Oy kertoo raideliikenteen laajentamisen olevan tärkeää liikenteen päästöjen ja kaupunkikehityksen kannalta. Infran rakentaminen kuitenkin aiheuttaa valtavan hiilidioksidipäästöpiikin, jota täytyy pystyä madaltamaan huomattavasti, jotta asetetut ilmastotavoitteet toteutuvat. Tarvitavat toimenpiteet tulevat väistämättä nostamaan investointien kustannuksia. (Hiilineutraali kaupunkiliikenne 2030.)

Helenin, eli Helsingin Energian myymä tuulisähkö tuotetaan Porin, Raahen, Kalajoen, Kristiinankaupungin ja Isojoen tuulipuistoissa. Helen tarjoaa yrityksille tuulienergiaa alkuperätakuulla, jolla voi varmistaa sähkön alkuperän. Helenin tuulisähkö on LEED-sertifioitua (Leadership in Energy and Environmental Design) tuulivoimaa, jonka tuotanto täyttää LEEDin kestävyyskriteerit (Energian alkuperä 2021.) Helenin kotisivuilla kerrotaan, että tuulella tuotetun sähkön hiilijalanjälki olisi nolla (Energian alkuperä 2021). Tämä ei kuitenkaan pidä paikkansa, vaan myös tuulivoimasta aiheutuu päästöjä

Helsingin energia on yksi Suomen suurimpia energiayhtiöitä. Energiantuotantomuotojen osuuksia kokonaistuotannosta tarkastellessa selviää, että myös sähköä tuotetaan edelleen fossiilisilla polttoaineilla. Vuonna 2021 Helenin myymän uusiutuvilla lähteillä tuotetun sähkön osuus oli vain 45 %. Ydinvoimalla tuotetun sähkön osuus oli 42 % ja fossiilisilla polttoaineilla tuotettiin 13 %. Hajautettu energiantuotanto on toki hyvä asia, mutta fossiilisten polttoaineiden käyttäminen sähkön tuotannossa osoittaa sen, ettei energiantuotannon muuttaminen kestäväksi tapahdu hetkessä.

2021



**Kuvio 3** Helenin myydyn sähkön osuudet tuotantotavoittain 2021 (Energian alkuperä 2021)

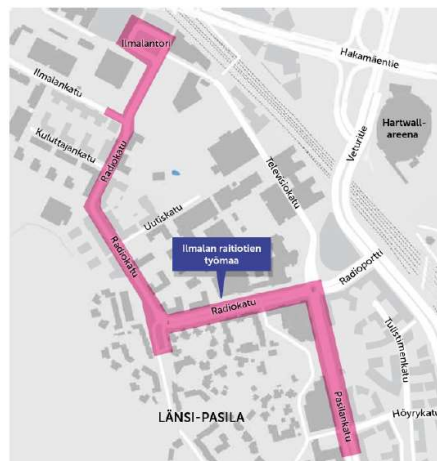
## 6 Ilmalan yhteys

Ilmalan raitiotie rakennettiin Länsi-Pasilasta Pasilankatua, Radiokatua ja Ilmalankujaa pitkin Ilmalantorille. Ilmalaan on lähivuosina rakennettu ja rakennetaan parhaillaan paljon asuntoja ja uutta kaupunki-infraa. Ilmalan uusi raitiotieyhteys jatkaa raitiolinjan 9 reittiä Länsi-Pasilasta Ilmalan torille asti. Valmistuneen linjan pituus on noin 1,3 kilometriä. Raitiolinja 9:n jatkaminen Ilmalaan parantaa alueen yhteyksiä eteläiseen kantakaupunkiin ja raideliikenteen osuus Ilmalan alueen liikenteestä kasvaa, mikä alentaa liikenteestä aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä kokonaisuudessaan.

### 6.1 Vähäpäästöinen työmaa

Ilmalan raitiotieyhteyden rakennustyömaa toteutettiin vähäpäästöisenä työmaana. Urakkarajaliitteessä edellytettiin, että tarjoajalla eli pääurakoitsijalla on vuoden 2020 loppuun mennessä kolmannen osapuolen todentama ympäristöjärjestelmän sertifiointi (esim. RALA:n ympäristöjärjestelmäsertifikaatti tai vastaava) toiminnan ympäristövaikutuksien pienentämiseksi ja raskaan kuljetuskaluston energiatehokkuuden parantamiseksi, sekä rutiinit näiden seurannalle ja raportoinnille.

Työmaalla käytettävien työmaakoneiden tulee täyttää STAGE IV-luokan vaatimukset. Työmaakoneilla tarkoitetaan pyöräkuormaajia, kaivukuormaajia, pienkuormaajia, pyöräalustaisia kaivukoneita, tela-alustaisia kaivukoneita, kurottaja kuormaajia, traktoreita, valssijyriä, tiehöyliä, monitoimikoneita, nostureita, trukkeja ja kurottajia. Urakoitsijan käyttämän raskaan kuljetuskaluston tuli täyttää EURO V-luokan päästövaatimukset. Minkään työmaakoneen, eikä raskaan kuljetuskaluston polttoaineena saanut käyttää fossiilisia polttoaineita. Hyväksyttäviä polttoaineita olivat vety, bio-kaasu, etanoli (esim. ED95), ja standardin EN 19540 uusiutuva HVO-diesel tai moottoriöljy.



**Kuvio 4** Ilmalan raitiotieyhteyden urakkakartta (Luoto 2022)

Työmaalla käytetyn sähkön tuli olla tuotettu uusiutuvilla energianlähteillä ja sähkön alkuperästä tuli esittää todistus. Työmaalla tarvittava lämmitys oli toteutettava kaukolämmöllä, uusiutuvilla energian lähteillä tuotetulla sähköllä tai fossiilivapailta biopolttoaineilla. Lisäksi kaikkien pienkoneiden (teholtaan alle 4 kW) tuli olla sähkökäyttöisiä.

## 7 Hiilijalanjälkilaskennan toteutus

### 7.1 Väylän pilottilaskenta

Ilmalan raitiotieyhteyden hiilijalanjäljen laskenta Väylän pilotti-laskentamenetelmällä on ensimmäisiä kertoja, kun kyseistä laskentamenetelmää sovelletaan raitiotiehankkeen päästöjen laskentaan. Kalasatamasta-Pasilaan raitiotiehankkeessa tehdään myös samaan aikaan päästölaskentaa. Päästötietokantana käytetään Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämää co2data.fi sivustoa. Infra-

rakentamisen päästötietokannasta löytyy tietoa yleisesti Suomessa käytettävien rakennusmateriaalien, tuotteiden, kuljetusten ja työmaatoimintojen päästökertoimia ja tyypillisiä ilmastovaikutuksia. Saatavilla oleva data mahdollistaa vertailukelpoisen ja julkiseen tietoon perustuvan päästölaskennan rakennushankkeissa.

Tiedot tietokantaan on kerätty julkisista lähteistä, kuten rakennustuotteiden ympäristöselostuksista, minkä pohjalta on tehty vertailua, valintaa ja arviointia yhdessä infrarakentamisen asiantuntijoiden kanssa. Tietokantaa voi käyttää kuka tahansa rakentamisen ilmastovaikutuksista kiinnostunut. Erityisesti se palvelee rakennusalan ammattilaisia ja toimii pohjana päästölaskelmille. Palveluun on koottu yleisimpien rakennustuotteiden keskimääräisiä tietoja. Se ei sisällä yksittäisten tuotteiden ympäristöselosteita. Päästötiedot on koottu tulossivuiksi ja sen lisäksi on mahdollisuus tutustua myös tarkempiin taustaselvityksiin. Tietokannan ylläpidosta ja kehittämisestä vastaa SYKE, eli Suomen ympäristökeskus Väyläviraston toimeksiannosta. (Suomen ympäristökeskus 2019.)

Tämä laskenta kattaa rakentamisen elinkaarivaiheet A1-A5. A1-A3 vaiheet liittyvät materiaalien tuottamiseen. A1 kattaa raaka-aineiden hankinnan, A2 raaka-aineiden kuljetuksen ja A3 materiaalien valmistuksen. Co2data.fi sivustolta saatavat materiaalien päästökertoimet pitävät sisällään A1-A3 vaiheet. A4 ja A5 vaiheet ovat rakentamisen aikaiset päästöt. A4 vaihe on materiaalien kuljetukset työmaalle ja A5 vaihe kattaa rakentamisen ja asentamisen. Tämä laskenta ei siis ota kantaa elinkaaren muiden vaiheiden päästöihin, eli käyttövaiheeseen ja elinkaaren loppuvaiheeseen. (Väylävirasto 2022.)

## 7.2 Päästölähteiden tunnistaminen

Hiilijalanjälkeä laskettaessa tulee ymmärtää, mistä rakentamisen aikaiset päästöt koostuvat. Raitiotien rakentamisessa suurimmat raaka-ainemäärät kostuvat kiskoista ja muista ratamateriaaleista, betonilaatoista, kadun pintarakenteista, mursketäytöistä, kiveyksistä, yhteiskäyttöpylväistä, sähköputkituksista ja ajojohdinjärjestelmästä. Lisäksi on lukuisia pienempiä materiaalimenekkejä, kuten sähkökeskukset, kiskokotelot ja -kaivot ja pysäkit. Rakentamisen aikana käytetyt polttoainemäärät, sekä materiaalien kuljetukset työmaalle aiheuttavat suuria päästöjä.

Tarvittavien lähtötietojen keräämistä varten FOREn hankeosalaskelmat ovat hyvä lähtökohta. FORE on vuonna 2012 käyttöön otettu liikenneviraston palvelu väylähankkeiden kustannusten hallinnassa. Palvelu on suunniteltu käytettävissä kaikissa hankesuunnittelu- ja toteutusprojekteissa Liikennevirastossa ja ELY-keskusten osalta ainakin keskitetysti ohjatuissa tai niihin rinnastettavissa suunnitteluhankkeissa. Myös muunlaisissa suunnittelu- ja toteutushankkeissa järjestelmän käyttö on toivottavaa ja palvelua voidaan käyttää. (Liikennevirasto 2012.) Myös Ilmalan yhteyden raitiotiehankeeseen suunnitteluvaiheessa on käytetty FORE-palvelua kustannuksien arvioinneissa.

Kustannusarvioista saatavat materiaalmäärät eivät yksistään riitä, vaan tarvitaan useita täydentäviä tietoja radanrakennukseen liittyen, kuten lisä- ja muutostöiden materiaalien laskennat. Radan rakentamisen ajalta on tärkeä koota mahdollisimman tarkasti materiaalit ja niiden ominaisuudet, sekä massat. Lisäksi työkoneiden käyttämät polttoaineet tulee sisällyttää laskelmiin. Tässä laskelmassa ne on huomioitu polttoaine menekkien osalta. Mitä tarkemmin lähtötietoja saadaan lasketua, sitä tarkempi tulos saadaan. Suurimmat päästöt aiheutuvat yleensä kiskoteräksestä ja betonista, kuten Kalastamasta-Pasilaan hankkeen päästölaskelma osoittaa. (Vesti S. & Rautiainen N. 2021.)

### **7.3 Laskettavien alueiden rajaukset**

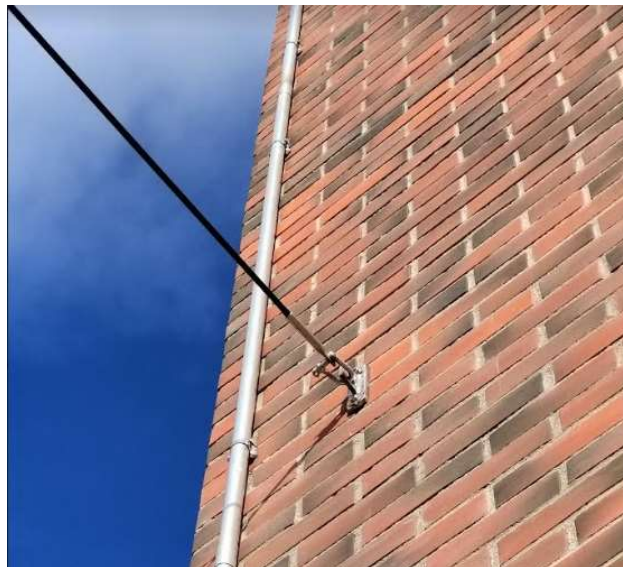
Päästölaskelmia tehdessä on rajattava laskettavat alueet. Ilmalan raitiotieyhteyden rakentaminen toteutettiin YKT-hankkeena (yhteiset kunnallistekniset työmaat), joten siinä tehtiin katualueella paljon muitakin töitä, kuin pelkästään raitiotien rakentamista. Tässä päästölaskelmassa rajaukset on tehty niin, että kultakin alueelta laskentaan on otettu ne töiden osuudet, jotka katsotaan kuuluvaksi raitiotien rakentamiseen. Laskelmasta on jätetty pois muun muassa lämmön- ja kaasunsiirtojärjestelmiin liittyvät työt, muut kuin rata- tai pysäkkialueiden päällyste ja maatyöt, muut kuin Kaupunkiliikenne Oyn kaapelien suojaputkitukset, tiemerkinnot, katuvalaistukset, sekä vesi- ja energiahuollon työt. Polttoaineiden ja sähkönkulutuksen osalta on mahdotonta määrittellä, mitkä osuudet kulutuksista ovat kohdistunut pelkästään raitiotien rakentamiseen ja Kaupunkiliikenne Oyn töihin. Tämän vuoksi polttoaineiden ja sähkönkulutusten kokonaiskulutus huomioidaan laskennassa. Vaikka YKT-hankkeessa tehtiinkin paljon muun muassa kunnallistekniikan muutostöitä, toteuttamisen perimmäisenä motiivina on ollut uuden raitiotieosuuden rakentaminen ja näin ollen voidaan perustellusti huomioida laskennassa koko työmaan aikaiset kulutukset.

### 7.3.1 Pasilankatu

Laskennassa käytetyt Pasilankadun osuuden materiaalmäärät perustuvat FORE:n tekemään kustannusarvio ryhmittäin-dokumenttiin. Dokumentissa on eritelty eri sidosryhmien materiaalmene-  
kit. Laskentaan on otettu materiaalien osalta huomioon Kaupunkiliikenne Oy:n (ent.HKL) osuus, eli materiaalit, jotka liittyvät raitiotien rakentamiseen ja joista näin ollen kustannukset tulevat Kau-  
punkiliikenne Oy:lle. Pintamateriaalien (asfaltit, betonit, murskeet, kiveykset) osalta raitiotien ra-  
kentamisen osuudeksi on katsottu rata-alueen ja pysäkkien alueet.

### 7.3.2 Radiokatu

Radiokadun osuuden materiaalmäärät perustuvat myös FORE:n tekemään kustannusarvio ryhmit-  
tään dokumenttiin, jossa on määritelty kaikille YKT-hankkeen osapuolille kohdistuvat kustannukset.  
Materiaalimenekit ovat arvioita, mutta todennäköisesti lähellä toteutuneita määriä. Joitain muu-  
toksia olen laskentaan tehnyt menekkien osalta, esimerkiksi YK-pylväiden määrät olen laskenut to-  
teutuneiden mukaan. Radiokadulta jäi kolme pylvästä pois, koska niiden jalustoja ei pystytty asen-  
tamaan maan alla jo olevan tekniikan vuoksi. Kannatinlankojen kiinnitykset toteutettiin  
seinäkiinnityksillä. Alla olevassa kuviossa seinäkiinnitys Radiokadulta.



**Kuvio 5** Seinäkiinnitys Radiokadulla

### 7.3.3 Ilmalankuja ja Ilmalantori

Ilmalankujan ja Ilmalantoin materiaalmäärien laskennat perustuivat niin ikään FORE:n kustannusarviodokumentteihin. Ilmalantorin töiden rajausta raitiotien rakentamisen osalta oli kaikkein hankalinta. Ilmalantorille rakennettiin massiivinen tukimuuri, jotta tori tulee kestäväksi torin ja raitiotien painon. Ilmalantorin maanrakennustyöt ja koko toria tukeva muuri jätettiin pois tästä laskennasta, koska niiden päästölaskenta tarvitsisi tarkempia materiaalmääriä, eikä toria rakennettu pelkästään palvelemaan raitiotietä.

## 8 Sähkökäyttö

### 8.1 Tuulivoimalla tuotettua sähköä

Tuulivoima on tuotannoltaan päästötöntä energiaa. Tuulivoimahankkeilla on kuitenkin ympäristövaikutuksia. Rakentamisen aikaisia vaikutuksia ovat maankäyttö ja rakentamisen aikaiset päästöt. Tuulivoimapuistot tarvitsevatkin ympäristöluvan, ennen muin niitä voidaan alkaa rakentaa. Käytön aikaiset ympäristövaikutuksia ovat huolloista ja kunnossapidosta aiheutuvat päästöt, välke ja ääni, sekä maisemalliset "haitat". Negatiivisia vaikutuksia voimaloilla voi olla myös linnustoille ja nisäkkäille. Tuulivoimaloiden perustusten ja itse voimalan käyttöiät ovat noin 20 vuotta ja sen jälkeen ne täytyy purkaa, josta myös aiheutuu päästöjä ja jätettä.

Tuulivoimalla on myös positiivisia ympäristövaikutuksia. Tärkeimpänä näistä ovat energiantuotannon hiilidioksidi- ja hiukaspäästöjen vähentäminen. Suomen tuulivoimayhdistyksen mukaan hiililauhdevoimaa korvattaessa päästöjä syntyy 800 g - 900 g/kWh vähemmän. Kun tuulivoima lisääntyy Suomessa niin, että sillä tuotetaan 10 % Suomen sähköstä, niin vieläkin päästöhyötyjä saavutetaan 600 g/kWh. (Puhtaampi sähköntuotanto 2022.)

Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi tärkein keino, minkä ihminen voi tehdä, on energiantuotannon muuttaminen päästöttömäksi. Nykytiedon mukaan liikenteen, teollisuuden ja lämmityksen toteuttaminen hiilidioksidivapaalla tavalla onnistuu parhaiten sähköistyksen avulla. Sähköistyksen lisääntyminen maailman laajuisesti tulee kasvattamaan päästöttömän sähköntuotannon roolia ilmastonmuutoksen vastaisissa toiminna. (Puhtaampi sähköntuotanto 2022.)

Tuulivoiman aiheuttamiksi hiilidioksidipäästöiksi on laskettu noin 10–11 g/kWh. Päästöt muodostuvat lähinnä tuulivoimaloiden rakentamisen, kuljettamisen ja huollon aiheuttamina. Laskenta tavasta riippuen yksittäinen tuulivoimala tuottaa takaisin sen elinkaareen kuluvaan energiaan parhaimmillaan jopa alle puolessa vuodessa. (Puhtaampi sähköntuotanto 2022.)

## 8.2 Sähkökäytön päästöjen laskenta

Työmaan kuluttama sähköenergian määrä oli yhteensä 2020–2022 yhteensä 49635,70 kWh. Sähkökäytön päästöjen laskennassa käytän edellä mainittua tuulivoiman aiheuttamaa hiilidioksidipäästö määrää 11 g/kWh. Laskukaavaksi ja hiilidioksidipäästö määräksi saadaan siis sähköjen osalta  $11 \text{ g/kWh} * 49635,70 \text{ kWh} / 1000 = 546 \text{ kgCO}_2\text{ekv}$ . Voidaan siis todeta, ettei työmaan aikainen sähkökäyttö aiheuta kuin marginaalisen pienet päästöt, kun sähkö tuotetaan uusiutuvalla tuulivoimalla. On kuitenkin syytä muistaa, että tuulivoimaa ei ole saatavilla vuoden jokaisen päivänä. Sähköverkon luotettava toiminta vaatii joka hetki juuri oikean määrän tuotantotehoa. Pelkästään aurinko- ja/tai tuulivoimalla tuotetun sähkö avulla sähköverkon tehon säätely on vaikeaa.

Tuulivoiman laskennassa käytetty arvo 11 g/kWh huomattavasti pienempi, kuin co2data.fi-tietokannan vuoden 2020 laskennallinen arvo 153 g/kwh, jota käytetään rakennuslupaa haettaessa. Co2data.fin arvot perustuvat vuosittaisen kotimaisen tuotannon kasvihuonekaasuihin ja sähkönettotuontiin. Sähköntuotannon ominaiskasvihuonekaasut on arvioitu ottaen huomioon polttoaineiden (pois lukien biomassapohjaisten polttoaineiden poltosta syntyvä hiilidioksidi) polttamisesta ja hankinnasta aiheutuvat CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- ja N<sub>2</sub>O-päästöt, sekä sähköntuotannon aiheuttamat päästöt. (Suomen ympäristökeskus 2021)

## 9 Polttoaineen kulutus

### 9.1 Uusiutuva diesel työmaan polttoaineena

Uusiutuvalla dieselillä tarkoitetaan EN 15940 standardin mukaista HVO (hydroteated vegetable oil) dieseliä, joka on vetykäsiteltyä kasviöljyä. HVO-diesel eroaa tavallisesta biodieselistä valmistusprosessissa käytettyjen raaka-aineiden ja valmistusprosessin eroavaisuuksien vuoksi. Myös lopputuotteessa on laadullisia eroavaisuuksia. Se valmistetaan vetykäsittämällä yleensä tähteistä ja jätteistä syntyvistä ja öljyistä ja rasvoista. (Luoto 2022.)

Vaikka urakkarajaliitteessä oli määrätty käytettäväksi ainoastaan uusiutuvia polttoaineita, on kuitenkin lähes mahdotonta toteuttaa näin suurta infrarakentamisen hanketta ainoastaan sähkökäyttöisillä tai uusiutuvilla polttoaineilla toimivilla työkoneilla ja laitteilla. Näin ollen rakentamisen aikana jouduttiin käyttämään myös tavallista fossiilista dieseliä ja moottoripolttoöljyä. Urakoitsijan toimittaman polttoaineiden kulutus-koontilistan mukaan dieseliä kului 2595 litraa ja moottoripolttoöljyä 61462 litraa.

## 9.2 Polttoaineen kulutuksen hiilidioksidipäästöjen laskenta

Laskennan osalta haasteeksi muodostui eri lähteistä saatavat polttoaineiden tiedot. Eri polttoaineille löytyi erilaisia päästökertoimia, tiheyksiä ja lämpöarvoja. HVO-dieselin osalta luotin Tilastokeskuksen antamiin arvoihin, jotka olivat tiheydelle 780 kg/m<sup>3</sup> ja lämpöarvoksi oli annettu 43,6MJ/kg (Tilastokeskuksen polttoaineluokitus-excel.) Tilastokeskukselta en kuitenkaan päästökerrointa ottanut, koska se oli oletettu arvo, joka perustui pelkästään polttoaineen lämpökertoimeen. Käytän laskennassa Juuso Luodon (2022) laskemaa keskiarvoista päästökerrointa 31,38 gCO<sub>2</sub>ekv /MJ sekä HVO-dieselille, että uusiutuvalla polttoöljylle. Luodon laskenta perustuu HVO-dieselissä käytettävien eri raaka-ainelaatujen päästökertoimiin. Raaka-aineita ovat palmuöljyt, paistorasvat, rypsiöljyt, auringonkukkaöljyt, eläinrasvat sekä soijaöljyt. Uusiutuvan polttoöljyn tiheys ja lämpöarvo ovat Tilastokeskuksen taulukosta.

Moottoripolttoöljyn osalta tiheyden ja lämpöarvon otin Tilastokeskukselta, eli tiheytenä laskennassa käytettiin 832 kg/m<sup>3</sup> ja lämpöarvona 43,1 MJ/kg (Tilastokeskuksen polttoaineluokitus-excel). Sekä moottoripolttoöljyn, että dieselin osalta päästökertoimien arvoina käytettiin Luodon (2022) laskennallisia päästökertoimia, koska Luodon laskelmissa on otettu huomioon WTT- (well-to-tank) ja TTW- (tank-to-wheel) käsitteet. WTT:llä tarkoitetaan lyhyesti ilmaistuna polttoaineen elinkaarta tuotannosta bensa-asemalle ja TTW:llä bensa-asemalta ajoneuvojen liike-energiaksi asti (Luoto 2022.) Moottoripolttoöljyn päästökertoimena käytettiin 89,8 gCO<sub>2</sub>ekv/MJ ja dieselin päästökertoimena 83,6 gCO<sub>2</sub>ekv/MJ. Dieselin osalta en ottanut arvoja tilastokeskukselta, koska heidän taulukossaan oli oletus, että diesel sisältää 26,0 % bio-osuuden tiheydestä. Dieselin tiheys ja lämpöarvo ovat otettu Euroopan komission tekemästä selvityksestä. Dieselin tiheydeksi saatiin 832 kg/m<sup>3</sup> ja lämpöarvoksi 43,1MJ/kg (JRC Science for policy report 2020).

Polttoainetta kului Ilmalan yhteyden työmaalla yhteensä 411554 litraa. Taulukossa 1 on esitetty urakoitsijan toimittamasta polttoaineen kulutuksen koontilistasta lasketut polttoaineiden kulutukset ja hiilidioksidiekvivalenttipäästöt. Huomion arvoista on se, että fossiilisia polttoaineita, eli moottoripolttoöljyä ja dieseliä on käytetty yhteensä 64057 litraa.

**Taulukko 1** Polttoainetiedot

Polttoaine	Kulutus (l)	Tiheys (kg/l)	Kulutus (kg)	Päästökerroin kgCO <sub>2</sub> ekv/MJ	Lämpöarvo (MJ/kg)	Päästöt kgCO <sub>2</sub> ekv
Uusiutuva diesel	316024	0,780	246498,7	0,03138	43,6	337251,7
Uusiutuva polttoöljy	31473	0,880	27696,2	0,03138	37,5	32591,6
Moottoripolttoöljy	61462	0,834	51259,3	0,0898	43,1	198393,0
Diesel	2595	0,832	2159,0	0,0836	43,1	7779,4
Yhteensä	411554		327613,3			576016

Näillä arvoilla saataisiin työmaan rakentamisen aikaisiksi polttoainekulutuksen päästöiksi 576016 kgCO<sub>2</sub>ekv.

## 10 Materiaalit

Laskenta tehtiin liitteen excel-taulukolla, eikä tässä raportissa ei käydä jokaisen materiaalin ja komponentin laskentaa läpi, vaan päästöjen osalta merkittävimmät yksittäiset materiaalit on esitelty ja niiden laskennat käyty läpi. Materiaalit on jaettu kanteen luokkaan radan rakentamisen ja radan sähköistämisen osalta. Kaikki laskentaan mukaan otetut materiaalit löytyvät liitteen excelistä. Luettavuuden takia päästömäärät on annettu kilon tarkkuudella. Taulukoissa ja liitteen excelissä on tarkempia arvoja.

### 10.1 Radan rakentamisen

#### 10.1.1 Kiskot ja vaihteet

Raitiotien kiskomateriaaleista aiheutuu suurin osa koko rakentamisen aikaisista päästöistä yhdessä betonisen pohjalaatan kanssa. Koskelan varikon varastosaldoihin perustuen Ilmalan yhteyden rakentamiseen kiskomateriaaleja on käytetty taulukon 1 mukaiset määrät. Tämän vuoksi kiskomateriaalien laskennassa käytettiin hukkakertoimena lukua 1. Eli työmaalla hukkaa ei syntynyt, koska

laskennassa käytettiin varikolta pois vietyjä kiskoja. Taulukko sisältää vaihteisiin käytetyt materiaalit, lukuun ottamatta vaihteen kääntökoneistoa ja ohjausjärjestelmää, jotka jäivät kokonaan pois tästä laskennasta. Samasta taulukosta selviää kiskomateriaalien päästökertoimet ja yhteispäästömäärät. Kiskomateriaaleista siis aiheutui laskennan mukaan hieman alle 750 000 kgCO<sub>2</sub>ekv päästöjä.

**Taulukko 2** Kiskomateriaalin päästöt

Materiaali	Menekki (m)	Menekki (kg)	Menekki (kpl)	Päästökerroin CO <sub>2</sub> ekv/yksikkö	Päästöt (kgCO <sub>2</sub> ekv)
Urakisko Ri 60–10	3456			158	546048
Urakisko Ri 59–10	972			158	153576
Täysurakisko VKRI 60	8			226,9	1815,2
Ristikkokisko 180/105		4830		2,68	12944,4
Ristikkoteräs 180/310		3007		2,68	8058,76
Kielisovitus oikea R50			1	5360	5360
Kielisovitus vasen R100			3	7236	21708
<b>Yhteensä</b>					<b>749510,4</b>

### 10.1.2 Pohjalaatta

Raitiotien betoninen pohjalaatta on kooltaan 1800 mm leveä ja 300 mm korkea. RYT 2018 ohjeenlaatuvaatimuksena on kuitubetoni, lujuusluokaltaan C35/45 XF3 (Ratojen yleinen työselostus 2018). Pohjalaatan valamisessa käytettäviä valumuotteja ja niihin käytettäviä (yleensä jäte-) puumateriaaleja ei tässä laskennassa huomioida, sillä niiden päästövaikutukset ovat uudelleen käytävyyden vuoksi todella alhaiset.

Kustannusarvioista laskemieni materiaalimäärien mukaan pohjalaattaan betonia kului yhteensä 2083 kuutiometriä ja lisäksi laskennassa käytettiin hukkakertoimena 1,05. Betonin päästökertoimen ollessa 0,148 kgCO<sub>2</sub>ekv /kg ja 340 kgCO<sub>2</sub>ekv /m<sup>3</sup>, saadaan päästöiksi 2083 m<sup>3</sup> \* 340 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> \* 1,05 = 726852 kgCO<sub>2</sub>ekv.

### 10.1.3 Asfaltit

Asfaltit valmistetaan murskatusta kivistä ja bitumisideaineesta. Kiven osuus on noin 95 % ja bitumisideaineen noin 5 %. Bitumi tislataan öljynjalostamalla raakaöljystä. Joidenkin asfalttilaatujen

täyteaineena käytetään asfaltin kiinnittymisen edistämiseksi kalkkikiveä, kivituhkaa, polymeerejä tai kuituja. Yleisimpiä infrarakentamisessa käytettyjä asfalttilaatuja ovat sidekerroksen asfalttibetoni (ASB), kantavan kerroksen asfalttibetoni (ABK), pehmeä asfaltti (PAB), kivimastikiasfaltti (SMA), valuasfaltti (VA) ja avoin asfaltti (AA). (Vares, 2022.)

Asfalttipäällysteet koostuvat kahdesta eri kerroksesta, pohja-asfaltista sekä kulutuskerroksessa. Ilmalassa käytettiin ABK-, AB- ja KVBA-asfalttilaatuja. Asfalttien kokonaismenekki neliömetreinä oli yhteensä 14890 m<sup>2</sup>. Kilogramma kohden eri asfalttilaatuja päästökertoimet eivät kovin suuresti eroa toisistaan: pienimmillään 0,045 kgCO<sub>2</sub>ekv ja suurimmillaan 0,058 kgCO<sub>2</sub>ekv. Asfalttienkin osalta otettiin huomioon työmaan hukkakerroin 1,05. Yhteensä kaikki laadut mukaan lukien asfaltit aiheuttivat päästöjä 97751 kgCO<sub>2</sub>ekv.

#### **10.1.4 Kivipäällysteet**

Helsingissä yleisesti käytettävä nupukivimalli on luonnonkiveä ja vaatimukset määrittävät InfraRyl 2019-ohje. Kaupunkiliikenne Oy:n omassa ohjeessa RYT 2018 suositellaan käyttämään 130–140 millimetriä korkeita kiviä. Kiveyksen menekki määritellään neliömetreissä, eikä kiveykseen tehtäviä saumoja oteta huomioon pinta-alaa vähentävänä tekijänä. (Karjalainen 2022.)

Ilmalantorille asennettiin 525 neliometriä 250 mm x 140 mm x 140 mm kokoista nupukiveä, jonka hiilidioksidiekvivalenttisarvoksi on määritelty 0,05 kgCO<sub>2</sub>ekv/kg. Lisäksi raitiotiehen liittyvässä rakentamisessa käytettiin eri kokoisia noppakiviä, luonnonkivilaatoitusta ja pysäkkien reunakiviä, sekä tehtiin betonikiviverhousta neliökivistä. Noppakivien päästökertoimet ovat niin ikään 0,05 kgCO<sub>2</sub>ekv/kg, reunakivien/-tukien 0,104 kgCO<sub>2</sub>ekv/kg, luonnonkivilaatoituksen 0,108 kgCO<sub>2</sub>ekv/kg ja betonikivien 0,135 kgCO<sub>2</sub>ekv/kg. Hukkakertoimena laskennassa on kiville käytetty 1,05. Kaikkien käytettyjen kiveyksien yhteispäästömääräksi saatiin 60785 kgCO<sub>2</sub>ekv.

#### **10.1.5 Betoniset asennuskuutiot**

Betonisille kuutioille, joiden päälle raiteet asennetaan, ei löydy ainakaan vielä toistaiseksi päästökertoimia SYKEN tietokannasta. Asennuskuutioiden materiaali ja dimensiot ovat kuitenkin tiedossa, joten näillä tiedoilla suuntaa antava päästökerroin voidaan laskea. Asennuskuutioon betonilaatu on C35/45 XF3. Co2data.fi sivuston mukaan Rudus säänkestävä rakennebetonin C35/45 XF3 luokan

betonin päästökerroin on 0,13 kgCO<sub>2</sub>ekv /kg. Openco2.net sivuston mukaan valmisbetonin C35/45 P30 päästökerroin on 0,143 kgCO<sub>2</sub>ekv/kg (Openco2.net), joten hyvin samankaltaiset arvot ovat. Laskennassa käytetään arvoa 0,13 kgCO<sub>2</sub>ekv/kg.

Asennuskuution pituus on 350 mm, korkeus 180 mm ja leveys 250 mm. Betonin tiheys on noin 2400 kg/m<sup>3</sup> (Myllylän Betoni 2023). Näillä arvoilla saadaan asennuskuution massaksi 37,8 kg. Pyöristän massan 30 kilogrammaan, koska kuutio ei täysin umpinainen ole. Yhden asennus kuution päästöt ovat siis noin  $30 \text{ kg} * 0,13 \text{ kg} / \text{kgCO}_2\text{ekv} = 3,9 \text{ kgCO}_2\text{ekv}$ . Asennuskuutioita käytettiin arviolta 4190 kappaletta, joten niiden kokonaispäästömääräksi saadaan 16341 kgCO<sub>2</sub>ekv.

### 10.1.6 Runkomelueristeet

Runkomelueriste on polyuretaanipohjainen. Täysin vastaavaa tuotetta ei co2data-hiilijalanjälkitietokannasta löydy. Laskennassa käytetään tietokannasta löytyvää PIR eristeen arvoa, sillä sekin on polyuretaanipohjainen. PIR-tuotteen päästökerroin on 3.5 kgCO<sub>2</sub>ekv/kg. Arvioin runkomelueristeen massaksi 4 kg/m<sup>2</sup> ja työmaan hukkakertoimena käytettiin arvoa 1,03. Runkomelueristettä kuului rakentamiseen 1640 m<sup>2</sup>, joten päästöiksi saatiin  $3.5 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{kg} * 4 \text{ kg} / \text{m}^2 * 1640 \text{ m}^2 * 1,03 = 23649 \text{ kgCO}_2\text{ekv}$ .

## 10.2 Radan sähköistys

### 10.2.1 Ajojohdin ja kannatinlangat

Ajojohdinjärjestelmä on raitioliikenteen tärkein osa kiskojen lisäksi. Raitiotien sähköjärjestelmän radalla sijaitsevista komponenteista suurimmat päästöt syntyvät johdinjärjestelmästä, eli ajojohtimesta ja sen ripustamiseen käytettävistä kannatinlangoista. Sekä ajojohtimelle, että kannatinlangalle löytyi päästökertoimet co2data.fi tietokannasta. Molemmille määrille laskettiin suunnitelmista menekit, joten pientä eroavaisuutta voi todellisiin toteutuneisiin määriin olla.

**Taulukko 3** Kuparituotteiden hiilijalanjälki (Suomen ympäristökeskus 2022)

Tuote	Yksikkö	paino, kg/yksikkö	CO <sub>2</sub> e, kg/yksikkö	CO <sub>2</sub> e, kg/kg	kierrätys- materiaalin osuus	hukka- kerroin
Kuparilanka	kg	1	4,2	4,2	0 %	1,05
Ajojohdin TRL 100 Cu (100 mm <sup>2</sup> )	m	0,90	3,8	4,2	0 %	1,05
Maadoitusköysi, Cu 16 (16 mm)	m	0,14	0,6	4,2	0 %	1,05
Virtaliitäntä, taipuisa, 120 Cu (120 mm <sup>2</sup> )	m	1,1	4,6	4,2	0 %	1,05

Ajojohdinta asennettiin suunnitelmiin perustuvien laskujen mukaan 3000 metriä ja päästökerroin on 3,8 kgCO<sub>2</sub>ekv/m. Hukkakertoimena työmaalla käytettiin arvoa 1,05, joten ajojohtimen päästömääräksi saadaan 3000 m \* 3,8 kgCO<sub>2</sub>ekv/m \* 1,05 = 11970 kgCO<sub>2</sub>ekv. Kannatinlankaa kului yhteensä 3370 metriä ja sen päästökerroin on 5,08 kgCO<sub>2</sub>ekv / m ja hukkakertoimena käytettiin 1,05. Näillä arvoilla laskettiin päästöiksi 17976 kgCO<sub>2</sub>ekv.

**Kuvio 6** Ajojohdinjärjestelmää Radiokadulla

### 10.2.2 Yk-pylväät

Yhteiskäyttöpylväät ovat merkittävä osa raitiotien sähköjärjestelmää. Kaupunkialueella vaihtoehtoisena ajojohtimen kannatinlankojen kiinnityspisteinä ovat rakennusten seinät, mutta aina se ei

ole mahdollista. Seinäkiinnikkeet ovat ekologisempi vaihtoehto pylvaille, mutta haasteeksi voi muodostua luvan saanti kiinnitykselle taloyhtiöltä. Yhteiskäyttöpylväiden nimitys tulee siitä, että samaa pylvästä käytetään sekä kannatinlankojen, että katuvalaistuksen kiinnitykseen. Yhteiskäyttöpylväisiin kiinnitetään myös sähkösyöttöpistekotelot ja pylvästä pitkin viedään sähköjohtoajojohtimelle. Lisäksi pylväisiin voidaan kiinnittää esimerkiksi liikennemerkkejä tai liikennevaloja.



**Kuvio 7** YK-pylväitä Radiokadulla

Yhteiskäyttöpylväitä asennettiin yhteensä viisikymmentäkaksi kappaletta. Laskennassa päästökerrotimeksi on käytetty [co2data.fi](https://co2data.fi)-sivustolta löytynyttä 12 metriä pitkän teräksisen valaisinpylvään kerrointa 268 kgCO<sub>2</sub>ekv/kpl, koska YK-pylväille ei ollut erikseen saatavilla kerrointa. Päästöarvoa voitaneen kuitenkin pitää luotettavana, sillä YK-pylväät ovat samaa kokoluokkaa ja materiaalina on teräs. Pylväiden perustusten päästöarvona käytettiin 12 metrisen liikennemerkkin perustusten päästöarvoa 100,1 268 kgCO<sub>2</sub>ekv/kpl, koska myöskään YK-pylvään perustukselle ei löytynyt päästökerrointa.

YK-pylväiden päästöiksi siis saatiin  $52 \text{ kpl} * 268 \text{ kgCO}_2\text{ekv/kpl} = 13936 \text{ kgCO}_2\text{ekv}$  ja perustusten päästöiksi  $52 \text{ kpl} * 100,1 \text{ kgCO}_2\text{ekv/kpl} = 5205,2 \text{ kgCO}_2\text{ekv}$ .

### 10.2.3 Kaapelinsuojaputket

Kaapelinsuojaputket luokitellaan rengasjäykkyyden mukaan A- ja B-luokkaan. A-luokan kaapelinsuojaputkia käytetään muun muassa maanvaraisena asennettuna, teiden ja katujen alituksissa, sekä hiekkavaippaisissa kanavissa alueilla, joissa on raskasta liikennettä. A-luokan putkien rengasjäykkyys on  $16 \text{ kN/m}^2$  (SN 16). B-luokan suojaputkia käytetään kevyen liikenteen alueilla, keskiraskaan liikenteen alueilla ja betoni- ja hiekkavaippaisissa kanavissa. B-luokan kaapelinsuojaputkien rengasjäykkyys on  $8 \text{ kN/m}^2$  (SN 8). Kaapelinsuojaputkia valmistetaan tupla tai triplaputkina. Ne eroavat toisistaan siten, tuplaputki on niin sanottu kaksikerrospotki, jossa on korrugoitu (aaltomaisesti muotoiltu) ulkopinta ja sileä sisäpinta. Triplaputki on sen sijaan kolmikerroksinen, jossa sekä sisä- että ulkopinta ovat sileät ja jota käytetään raskaammin liikennöidyille alueille. (Suomen ympäristökeskus, 2022)

Kaapelinsuojaputkia Ilmalaan asennettiin kolmea eri kokoa. M140-kaapelinsuojaputkea asennettiin laskelmien perusteella yhteensä 8595 metriä. Kyseisen koon suojaputken päästökerroin on  $3,37 \text{ kgCO}_2\text{ekv/m}$ . M110-kaapelinsuojaputkea asennettiin 2933 metriä ja sen päästökerroin on  $2,12 \text{ kgCO}_2\text{ekv/m}$ . M50-kaapelinsuojaputken menekki oli 72 metriä. Kyseiselle koolle ei löytynyt päästökerrointa, joten laskennassa käytettiin koon 75/62 putken kerrointa  $1,1 \text{ kgCO}_2\text{ekv/m}$ , joten pientä epätarkkuutta laskentaan liittyy. Työmaan hukkakertoimena käytettiin arvoa 1,03. Yhteen laskettuna kaapelinsuojaputkille saadaan päästöiksi  $36320,18 \text{ kgCO}_2\text{ekv}$ .

## 11 Kuljetukset

Urakoitsijan toimittamiin polttoainekulutusmääriin eivät sisällyneet materiaalien tuonnit työmaalle, paitsi niiltä osin, kun esimerkiksi mursketta haettiin työmaa-ajossa olevilla kuorma-autoilla. Materiaalien toimittajilta ei polttoaineiden kulutus- eikä kilometri- tai ajoneuvotietoja kerätty, joten kuljetuksista aiheutuvien päästöjen laskenta osoittautui hieman haasteelliseksi. Kiskomateriaalit ja valtaosa sähköistyksessä käytetyistä materiaaleista työmaalle kuljetettiin Koskelan varikolta. Koskelan varikolta matkaa Ilmalantorille on 4,7 kilometriä, joten päädyin laskennassa käyttämään kaikille materiaaleille kuljetusmatkaa 9,4 kilometriä. Tämä on edestakainen etäisyys työmaalle ja takaisin.

Laskenta tehtiin yksinkertaisella laskutavalla, jossa käytettiin matkana tuota 9,4 kilometriä ja kullekin tuotteelle käytettiin co2data.fi-sivustolta löytyviä tonnikilometriarvoa 100 % täyttöasteen kerroimilla. Päädyin valitsemaan kaikille kuljetuksille päästöarvon 100 % katuajoon perustuen, koska reitti Koskelan varikolta Ilmalaan sisältää lähes pelkästään kaupungissa ajoa. Suurin osa materiaaleista kuljetettiin puoliperävaunuyhdistelmällä (massa 40 tkg), jonka päästökerroin on 0,086 kgCO<sub>2</sub>ekv/tkm. Lisäksi laskennassa osalle materiaaleista käytettiin maansiirtoautojen (massa 32 tkg) päästökerrointa 0,094 kgCO<sub>2</sub>ekv/tkm ja osalle pakettiauton (massa 2,7tkg) 0,3 kgCO<sub>2</sub>ekv/tkm.

Laskukaavaksi siis muodostui materiaalin massa (tkg) \* kuljetusmatka (km) \* päästökerroin (kgCO<sub>2</sub>ekv/tkm). Materiaalien kuljetusten kokonaispäästöiksi saatiin laskennassa 11114 kgCO<sub>2</sub>ekv. Tätä voidaan pitää ainoastaan suuntaa antavana päästömääränä. Tulos sisältää paljon epävarmuutta, koska materiaalien kuljetuksiin käytetyt ajoneuvot on päätelty lähinnä materiaalien fyysisten ominaisuuksien perusteella, eikä myöskään todellisuudessa kuljettuja matkoja tiedetä.

## 12 Laskennan ulkopuolelle jääneet materiaalit

Raitiotien rakentamiseen käytetään suurimäärä eri materiaaleja ja komponentteja. On selvää, ettei kaikille materiaaleille ja tuotteille löydy ainakaan vielä päästökertoimia. Joillekin komponenteilla saatiin laskettua päästökertoimet materiaalien ja massojen avulla, mutta ei kaikille. Tämä vaikuttaa laskennan tulosten luotettavuuteen, mutta ei niin suuresti, etteikö tuloksia voitaisi pitää kohtalaisen luotettavina. Päästövaikutuksien osalta merkittävimpiä laskennan ulkopuolelle jääneitä komponentteja lienevät sähkökeskukset, syöttöpistekotelot, pysäkit ja pysäkkien kaiteet. Ilmalaan asennettiin pysäkkien sähkökeskuksia kolme kappaletta, vaihteenlämmitys- ja ohjauskeskuksia molempia kaksi kappaletta, syöttöpistekoteloita kuusi kappaletta, pysäkkipareja kolme kappaletta.

Näiden lisäksi päästökertoimia ei löytynyt, eikä saatu laskettua kiskokoteloille, kiskonkiinnikkeille, haruksille ja useille muille pienille ajojohdinjärjestelmän asennuksissa käytetyille komponenteille. Myöskään vaihteenohjausjärjestelmien kääntökoneistojen päästöt jäivät pois laskennasta, koska kyseisiä tietoja ei ole saatavilla ja niiden arviointi on hyvin vaikeaa. Vaihteenohjausjärjestelmään liittyvät komponentit tilattiin Saksasta, joten myös niiden rahdit ovat aiheuttaneet suuria päästöjä. Tämän vuoksi voitaneen todeta, että laskennassa saadut tulokset ovat jonkin verran alakanttiin ja todelliset päästömäärät suuremmat.

## 13 Tulosten yhteenveto

Kun lasketaan yhteen laskentaan mukaan saadut materiaalit, työmaan polttoaineiden kulutukset, työmaan sähkönkäyttö ja materiaalien kuljetukset, eli elinkaaren vaiheet A1-A5, saadaan kokonaispäästömääräksi **2414618,5 kgCO<sub>2</sub>ekv**. Alla olevasta taulukosta nähdään laskennassa saadut päästömäärät hiilidioksidiekvivalenttikilot ja -tonnit. Materiaalit sarake sisältää kaikki laskentaan sisältyneet materiaalit, myös kiskomateriaalit.

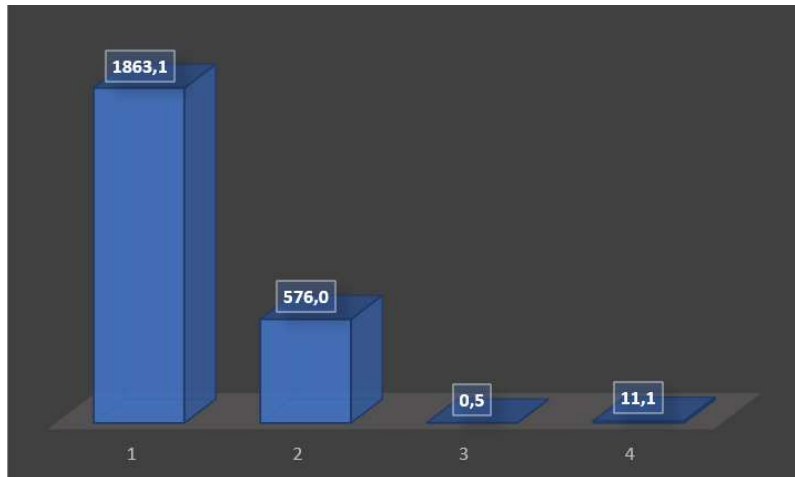
**Taulukko 4** Kokonaispäästömäärät

KOKONAISPÄÄSTÖT	kgCO <sub>2</sub> ekv	tkgCO <sub>2</sub> ekv
Materiaalit	1826943,4	1826,9
Polttoaineet	576015,6	576,0
Sähkönkäyttö	546,0	0,5
Kuljetukset	11113,6	11,1
<b>Yhteensä</b>	<b>2414618,5</b>	<b>2414,6</b>

Simo Karjalainen (2022) on laskenut opinnäytetyössään yhdelle raidemetrille syntyvän teoreettisen päästöarvion. Sen mukaan yhden raidemetrin rakentamiseen käytettyjen materiaalien hiilijalanjäljeksi muodostuu kiskotyypistä ja päällystevalinnasta riippuen noin 500–750 kgCO<sub>2</sub>ekv/raidemetri ja *yhden kilometrin mittaisen kaksiraiteisen raitiotieradan* materiaalien hiilijalanjälki olisi noin 1500 tkgCO<sub>2</sub>ekv. (Karjalainen 2022.) Ilmalan yhteyden ollessa noin 1300 metriä pitkä, saadaan yhden raidemetrin toteutuneeksi päästömääräksi tämän laskennan mukaan 2414618,5 kgCO<sub>2</sub>ekv / 1300 m = 1857,4 kgCO<sub>2</sub>ekv. Tämä suuri ero selittyy osittain sillä, että Karjalainen on laskennassaan rajannut sen kattamaan elinkaaren vaiheet A1-A3, eli pois ovat jääneet työmaan toiminnot ja kuljetukset. Lisäksi Karjalainen on keskittynyt nimenomaan radan rakentamisen päästöihin ja sähköistyksestä aiheutuvat päästöt on jätetty laskennasta pois.

Ilmalan raitiotieyhteyden rakentamisen aikaiset päästöt jakautuvat karkeasti ottaen kolmelle vuodelle, 2020–2022. Tilastokeskuksen mukaan Suomen päästöt vuodelle 2021 ilman LULUCF-sektoria (maankäyttö-, maankäytön muutos- ja metsätaloussektori) olivat 47 887 tuhatta tonnia Co<sub>2</sub>ekv (Tilastokeskus 2023). Jos Ilmalan yhteyden rakentamisesta aiheutuneista päästöistä otetaan 1/3, on sen osuus 804 872,83 kgCO<sub>2</sub>ekv / 47887000000 kgCO<sub>2</sub>ekv \* 100 = 0,00168 % Suomen aiheuttamista päästöistä vuonna 2021.

Alla olevasta graavista selviää kokonaispäästöjen jakautuminen ja yksikkönä on tuhat kiloa hiilidioksidiekvivalentti päästöjä (tkgCO<sub>2</sub>ekv). Palkki 1 on materiaalien päästöt, palkki 2 on polttoaineiden päästöt, palkki 3 on työmaan aikaisen sähkönkäytön päästöt ja palkki 4 kuljetusten aiheuttamat päästöt.



**Kuvio 8** Päästöjen jakautuminen, yksikkönä tkgCO<sub>2</sub>ekv

Jotta päästäisiin merkittäviin päästövähennyksiin suurten raitiotieosuuksien rakentamishankkeissa tulevaisuudessa, on pystyttävä karsimaan materiaalimenekistä, käytettävä pienempiä päästöisempiä raaka-aineita ja materiaaleja, sekä pystyttävä toteuttamaan työmaan toiminnot täysin uusiutuville polttoaineilla ja sähkökäyttöisillä työkoneilla.

## 14 Pohdinta

Hiilijalanjalan laskentaan liittyy paljon epävarmuustekijöitä. Tuloksia voidaan yleisesti ottaen pitää suuntaa antavina, mutta tarkkoihin päästömääriin on mahdotonta päästä, koska kaikista materiaaleista ja tuotteista ei löydy päästökertoimia. Lisäksi on mahdollisuus, että jotain jää huomioimatta. Tämän laskennan tulosta voitaneen pitää hyväksyttävänä ja ainakin jokseenkin luotettavana, koska suurimmat päästölähteet ovat tunnistettu ja saatu laskettua kohtalaisen tarkasti olemassa olevien päästökertoimien ja määrien avulla.

Luvussa yksitoista kerrottiin laskennan ulkopuolelle jääneistä materiaaleista. Yksittäin katsottuna materiaalit ovat kokonaisuuden kannalta pienehköjä päästöjen aiheuttajia. Kuitenkin yhdessä nuo

materiaalit valmistuksineen ja kuljetuksineen luultavasti aiheuttavat kymmenien tuhansien kilojen hiilidioksidiekvivalenttipäästöt, joten jatkossa on tärkeää saada ne mukaan hiilijalanjälkilaskelmiin. Toisaalta tähän laskentaan on otettu huomioon koko työmaan aikainen polttoaineen kulutus, vaikka urakassa tehtiin paljon muutakin työtä, kuin vain raitiotien rakennusta. Tämä puolestaan tasoittaa laskennan tarkkuutta huomioimatta jääneiden materiaalien osalta.

Aki Suokko ja Rauli Partanen pohtivat teoksessaan *Energian aika (2017)*, kuinka paljon siirtyminen vähähiiliseen energiajärjestelmään maksaa. Kysymykseen on vaikeaa löytää yksiselitteistä kattavaa vastausta, sillä siihen sisältyy monia epävarmuustekijöitä ja lisäksi joudutaan tekemään paljon oletuksia tulevaisuuden teknologioista. Näin ollen maksettavasta hinnasta voidaan saada hyvinkin pieni tai suuri, riippuen siitä, mitä oletuksia ja lähtötietoja käytetään. Eräs ”ongelma” on siinä, ettei ilman nykyisen kaltaista fossiilisiin polttoaineisiin perustuvaa energiajärjestelmää olisi lähellekään nykyisen kaltaista taloutta. Tämän lisäksi kustannukset tulevat riippumaan paljolti siitä, kuinka suuri on ylijäämä tulevilla vähähiilisellä energiantuotantojärjestelmällä. Energiaylijäämä tarkoittaa sitä, että kuinka pieni osuus tulevista resursseista ja energiasta joudutaan käyttämään itse energiantuotantoon ja kuinka paljon puolestaan voidaan kohdistaa muun yhteiskunnan käyttöön. (Suokko, Partanen 2017.)

Samaa mieltä asiasta on yhdysvaltalainen fyysikko Richard A. Muller, joka tarkastelee energiantuotantoa ja sen käyttöä teoksessaan *Energy for future presidents (2012)*. Muller toteaa, että energialähteiden vaihtoehtoista merkittävimpiä eivät ole ydinvoima, aurinkovoima, maakaasu, kivihiihi, eikä myöskään öljy tai jokin synteettinen polttoaine tai muu lähde. Jollain muulla tekijällä on paljon suurempi potentiaali, se on halpaa ja se on käyttöönotettavissa jo nyt. Se on energian tuottavuuden kasvua. Tämä tarkoittaa, että teemme kaiken kuten nytkin, mutta käytämme niihin toimintoihin vähemmän energiaa. (Muller 2012.)

Talouden kannalta olisi siis tärkeää siirtyä fossiilisista polttoaineista korkeamman energiaylijäämän omaaviin tuotantomuotoihin. Jos siirrytään reilusti matalamman energiaylijäämän energiantuotantoon, joita ovat muun muassa monet biopolttoaineet ja valtavia energiavarastoja vaativat ja vaihtelevasti tuottavat energianlähteet, pienentyy myös nettoenergialla ylläpidetyn muun talouden koko. Muutoksen hintaa määrää myös se, kuinka paljon joudumme hylkäämään käyttökelpoista

kalustoa ja kuinka suurten osuuden ilmastonmuutokseen sopeutuminen ja siitä aiheutuvien haittojen ja kustannuksien paikkaamiset vievät. Voidaan ajatella, että nämä ovat osa taloutta, mutta kuitenkin niitä voidaan verrata sodan jälkeiseen uudelleen rakentamiseen: Yhteiskunnan hyvinvoinnin kannalta katsottuna ne ovat lähes täysin pelkkiä kustannuksia. (Suokko & Partanen 2017.)

Laskennan tulosta pohdittaessa, herättää se monenlaisia ajatuksia. Kaupunkiliikenne Oyn toimet ja infran rakentaminen aiheuttaa päästöjä, mutta koko Suomen päästöihin suhteutettuna ne ovat marginaalisen pieniä. Etenkin kun huomioon otetaan vielä, että valmistumisen jälkeen uusi raitiotie osuus tulee ainakin jonkin verran vähentämään ihmisten liikkumisen aiheuttamia päästöjä. Toisaalta taas vertailu Suomen päästöihin muistuttaa, kuinka valtavasti ihmiskunta maailmanlaajuisesti päästöjä aiheuttaa ja ilmakehää kuormittaa.

## Lähteet

Anttila, Pirkko 2006. Tutkiva toiminta ja ilmaisu, teos, tekeminen.

Cengel Y., Boles M., Kanoglu M. 2020. Thermodynamics An Engineering approach, Ninth edition in SI units

Energian alkuperä 2021. Helsingin energia Helenin verkkosivut. Viitattu 11.2.2023. <https://www.helen.fi/helen-oy/energia/energiantuotanto/energian-alkupera>

Hiilineutraali kaupunkiliikenne 2030. Pääkaupunkiseudun Kaupunkiliikenne Oy, 2023. Viitattu 11.2.2023. <https://kaupunkiliikenne.fi/vastuullisuus/hiilineutraali-kaupunkiliikenne/>

Ilmatieteenlaitos. Viitattu 25.3.2023. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutoskysymyksia>

IPCC 2022. Viitattu 2.1.2022. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_SummaryForPolicymakers.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf)

JRC Science for policy report 2020. Euroopan komissio. Viitattu 13.3.2023. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/29bff8ca-fe10-11ea-b44f-01aa75ed71a1/language-en>

Kasvihuoneilmiö ja ilmakehän koostumus 2022. Ilmatieteenlaitos, Suomen ympäristökeskus & Luonnonvarakeskus. Viitattu 3.1.2023. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/kasvihuoneilmio-ja-ilmakehan-koostumus>

Karjalainen, Simo 2022. Opinnäytetyö YAMK, Raitiotieratainfraan hiilijalanjälki; Kohti hiilineutraalia kaupunkiliikennettä. Viitattu 11.1.2023. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/753404/Karjalainen\\_Simo.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/753404/Karjalainen_Simo.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Kaupunkiliikenne Oy 2022. Viitattu 28.12.2022. <https://kaupunkiliikenne.fi/paakaupunkiseudun-kaupunkiliikenne-oy/arvot-ja-strategiset-tavoitteemme/>

Leppäranta M., Arvola L., Huttula T. 2021. Suomalainen järvikirja, Minerva kustannus Oy

Liikennevirasto 2012. Liikenneviraston ohjeita, Fore-palvelu väylähankkeiden kustannushallinnassa. Viitattu 26.2.2023. [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo\\_2011-26\\_fore-palvelu\\_vaylahankkeiden\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2011-26_fore-palvelu_vaylahankkeiden_web.pdf)

Lunkka, Juha Pekka 2008. Maapallon ilmastohistoria, Gaudeamus Helsinki University Press Oy yliopistokustannus

Luoto, Juuso 2022. Opinnäytetyö YAMK. Vähäpäästöisen infratyömaan pilotointi ja niiden vaikutukset infrarakentamisen päästöihin, kustannuksiin ja rakentamiseen. Viitattu 20.2.2023. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/751754/Luoto\\_Juuso.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/751754/Luoto_Juuso.pdf?sequence=5&isAllowed=y)

Muller, Richard A. 2012. Energy for future Presidents, The science behind the headlines. W. W. Norton & Company.

Myllylän betoni 2023. Viitattu 27.2.2023. <https://mybe.fi/valmisbetoni/>

OpenCo2.net-päästötietokanta. Viitattu 20.2.2023. <https://www.openco2.net/fi/paastokertoi-met/tuote/rudus-saankestava-rakenne-betoni-c3545-16mm-s3-normaali-xf3/3478>. Viitattu 2.2.2023

Puhtaampi sähköntuotanto 2022. Suomen Tuulivoimayhdistys. Viitattu 12.1.2023. <https://tuulivoi-mayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoiman-vaikutukset/tuulivoiman-ymparistovaikutukset/puhtaampi-sahkontuotanto>

Perustietoa liikenteestä 2022. Motiva 2022. Viitattu 11.2.2023. <https://www.motiva.fi/ratkai-sut/kestava-liikenne-ja-liikkuminen/perustietoa-liikenteesta>

Ratojen yleinen työselostus 2018. Raitioteiden rakentaminen RYT 2018.

Smil V. 2017. Energia ja sivilisaatio, Terra Cognita

Suokko A., Partanen R. 2017. Energian aika. Avain talouskasvuun, hyvinvointiin ja ilmastonmuutokseen. WSOY.

Suomen ympäristökeskus 2019. Viitattu 2.1.2023. [https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Tyokalut/Infrarakentamisen\\_paastotietokanta](https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Tyokalut/Infrarakentamisen_paastotietokanta)

Suomen ympäristökeskus 2022. Viitattu 2.1.2023. <https://co2data.fi/infra/re-ports/INFRA%20muovituotteet%20R01.02.pdf>

Suomen ympäristökeskus 2022. Viitattu 27.3.2023. <https://co2data.fi/rakentaminen/>

Teknologian tutkimuskeskus VTT, Traficom, Ympäristöministeriö ym. Viitattu 3.1.2023. <http://li-pasto.vtt.fi/liisa/co2ekvs.htm>

Tilastokeskus 2023. Viitattu 22.3.2023. <https://www.stat.fi/tilasto/khki>

Tilastokeskuksen polttoaineluokitus- excel. Viitattu 2.2.2023. [https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus.html](https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html).

Vesti Sanna, Rautiainen Nea 2021. Toimintaohje: Elinkaarianalyysin laatiminen HKL-Omaisuuksienhallinta.

Viranta-Kovanen S. 2010. Tiedettä kaikille Elämä, Ursan julkaisuja 121

Väylävirasto 2022. Toimintaohje Infrarakentamisen vähähiilisyysarviointimenetelmä.

Ympäristö lukuina 2022. Helsingin seudun liikenne. Viitattu 11.2.2023.

<https://www.hsl.fi/hsl/sahkobussit/ymparisto-lukuina>

Ympäristöministeriö 2022. Viitattu 28.12.2022. <https://ym.fi/green-deal-sopimukset>

## Liitteet

## Liite 1. Kuljetusten päästöt

Materiaali	Määrä	Yksikkö	Päästöt/yksikkö	Päästöt/kg	Massa (tlg)	Etäisyys (km)	Päästökerroin kgCO <sub>2</sub> ekv/tkm	Päästökertoimen selite	Päästöt kgCO <sub>2</sub> ekv	Päästökertoimen lähde
AB 16/120 asfaltti (kulutuskerros)	1855	m2	5,64	0,047	222,6	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	196,7	co2data.fi/infra
AB 22/120 asfaltti (kulutuskerros)	4260	m2	5,64	0,047	511,2	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	451,7	co2data.fi/infra
AB 8/90 asfaltti	305	m2	4,23	0,047	27,5	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	24,3	co2data.fi/infra
ABK 32/120 asfaltti	3365	m2	5,4	0,045	403,8	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	356,8	co2data.fi/infra
ABK 32/150 asfaltti	3365	m2	6,75	0,045	504,8	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	446,0	co2data.fi/infra
ABK 32/220 asfaltti (kantava kerros)	1470	m2	9,9	0,045	323,4	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	285,8	co2data.fi/infra
Ajojohtin TRL100, Cu (100 mm2)	3000	m	3,8	4,2	2,7	9,4	0,3	Pakettiauto 2,7t, 100 %, katuajo	7,7	co2data.fi/infra
Betonikivi, iso sauvakivi (278x138x80) värillinen	44	m2	25,5	0,135	8,3	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	7,3	co2data.fi/infra
Betonikiviverho, nelikivi (138x138x180)	195	m2	30,9	0,135	44,6	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	39,4	co2data.fi/infra
Betonikiviverho, nelikivi (138x138x80)	419	m2	25,5	0,135	79,1	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	69,9	co2data.fi/infra
Hulevesikaivo EK 800	7	kpl	97,82	0,146	4,7	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	3,8	co2data.fi/infra
Hulevesiviemäri M110/95 SN8	16	m	3,06	2,12	0,0	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	0,0	co2data.fi/infra
Jakava kerros, murske Kam 0/90	190	m3	9	0,006	285,0	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	230,4	co2data.fi/infra
Kaapeli MKEM 1x95	150	m	4,074	4,2	0,1	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	0,1	co2data.fi/infra
Kaapeli (1200)	38	kpl	199,8	0,148	51,3	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	41,5	co2data.fi/infra
Kaapeli (1400)	2	kpl	199,8	0,148	2,7	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	2,2	co2data.fi/infra
Kaapeli (800)	22	kpl	143,1	0,146	21,6	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	17,4	co2data.fi/infra
Kaapelin suojaputki M110	2933	m	2,12	2,39	2,6	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	2,1	co2data.fi/infra
Kaapelin suojaputki M140	8595	m	3,37	2,4	12,1	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	9,8	co2data.fi/infra
Kaapelin suojaputki M50	72	m	1,1	2,41	0,0	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	0,0	co2data.fi/infra
Kannatinlanka/tukilanka 50mm2	3370	m	5,08	4,2	4,1	9,4	0,3	Pakettiauto 2,7t, 100 %, katuajo	11,5	co2data.fi/infra
KBVA 11/120 asfaltti (kulutuskerros)	960	m2	6,96	0,058	115,2	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	101,8	co2data.fi/infra
Kiskokaivo (liinjakaivo)	12	kpl	309	3	1,2	9,4	0,3	Pakettiauto 2,7t, 100 %, katuajo	3,5	co2data.fi/infra
Kiskokotelo	25	kpl	-	-	0,2	9,4	0,3	Pakettiauto 2,7t, 100 %, katuajo	0,6	co2data.fi/infra
Kiskonalustan bitumointi	1662	m	0,66	0,15	7,3	9,4	0,3	Pakettiauto 2,7t, 100 %, katuajo	20,6	co2data.fi/infra
Kiskonkiinnike	390	kpl	-	-	0,1	9,4	0,3	Pakettiauto 2,7t, 100 %, katuajo	0,3	co2data.fi/infra
Luonnonkivilaatoitus 100mm	224	m2	29,2	0,108	60,6	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	53,5	co2data.fi/infra
Noppakivi 140x140x140	90	m2	16,3	0,05	29,3	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	25,9	co2data.fi/infra
Noppakivi 90x90x90	22	m2	8,4	0,05	3,7	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	3,3	co2data.fi/infra
Nupukivi 250x140x140	575	m2	16,9	0,05	194,4	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	171,7	co2data.fi/infra
Pysäkin sähkökeskus	3	kpl	-	-	0,3	9,4	0,3	Pakettiauto 2,7t, 100 %, katuajo	0,8	co2data.fi/infra
Pysäkkivi luonnonkivistä (500x300x1000-2000)	330	m	35	0,104	111,1	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	98,1	co2data.fi/infra
R100 kielisovitus	3	kpl	7236	2,68	8,1	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	6,5	co2data.fi/infra
R50 kielisovitus	1	kpl	5360	2,68	2,0	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	1,6	co2data.fi/infra
Raitiotie pysäkin roiskeuojalevykaide	82	m	-	-	0,3	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	0,2	co2data.fi/infra
Raitiotie pysäkki	4	kpl	-	-	2,0	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	1,6	co2data.fi/infra
Raitiotien asennuskautio	4190	kpl	3,9	0,13	125,7	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	101,6	co2data.fi/infra
Raitiotien pohjalaatta	2036	m3	340	0,148	4677,3	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	4132,9	co2data.fi/infra
Raitiotien runkometerite	1640	m2	14	3,5	6,6	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	5,3	co2data.fi/infra
Raitiotien syöttöpistekotelo	4	kpl	-	-	1,0	9,4	0,3	Pakettiauto 2,7t, 100 %, katuajo	2,8	co2data.fi/infra
Raitiotiepysäkin putkikaide	48	m	8,6	3,6	0,1	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	0,1	co2data.fi/infra
Rasvauskaivo	3	kpl	143,1	0,146	2,9	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	2,4	co2data.fi/infra
Reunakivi M300x220	5	m	16,7	0,104	0,8	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	0,7	co2data.fi/infra
Reunakivi V300x500	67	m	42,1	0,104	27,1	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	24,0	co2data.fi/infra
Reunatuki, graniitti, suora 22cm	644	m	11,7	0,104	72,5	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	64,0	co2data.fi/infra
Reunatuki, graniitti, suora 15cm	14	m	11,4	0,104	1,5	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	1,4	co2data.fi/infra
Ristikokisko 180/105	4830	kg	2,68	2,68	4,8	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	3,9	co2data.fi/infra
Ristikoteräs 180/310	3007	kg	2,68	2,68	3,0	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	2,4	co2data.fi/infra
Sitomaton kantava kerros KAM 0/55	1210	m3	9	0,006	1815,0	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	1603,7	co2data.fi/infra
Sitomaton kantava kerros KAM 0/63	1090	m2	9	0,006	1635,0	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	1444,7	co2data.fi/infra
Suodatin kangas N3	3358	m2	0,398	1,99	0,7	9,4	0,3	Pakettiauto 2,7t, 100 %, katuajo	1,9	co2data.fi/infra
Sähköyöttökaapeli alumiini 1x800mm2	2869	m	3,7	2	5,3	9,4	0,3	Pakettiauto 2,7t, 100 %, katuajo	15,0	co2data.fi/infra
Tasauskerros, murske KAM 0/32	556	m3	9	0,006	834,0	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	736,9	co2data.fi/infra
Täysurakisko VKRi60 (75kg/m)	8	m	226,866	2,68	0,7	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	0,5	co2data.fi/infra
Urakisko R59-10 (59 kg/m)	972	m	158	2,68	57,3	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	46,3	co2data.fi/infra
Urakisko R60-10 (60,6kg/m)	3456	m	158	2,68	203,7	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	164,7	co2data.fi/infra
Vaihteenlämmityskeskus	2	kpl	-	-	0,5	9,4	0,3	Pakettiauto 2,7t, 100 %, katuajo	1,4	co2data.fi/infra
YK-pylväiden perustukset	52	kpl	100,1	0,143	36,4	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	29,4	co2data.fi/infra
YK-pylväs, Pyöreä, P1000/11 rak typ 4.1	31	kpl	268	2,6	5,2	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	2,6	co2data.fi/infra
YK-pylväs, Pyöreä, P1000/12 rak typ 2.1	4	kpl	268	2,6	0,4	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	0,3	co2data.fi/infra
YK-pylväs, Pyöreä, P500/11 rak typ 3.1	17	kpl	268	2,6	1,8	9,4	0,086	Puoliperävaunuyhdistelmä 40t, 100 %, katuajo	1,4	co2data.fi/infra
KBVA 16/120 asfaltti	270	m2	6,96	0,058	32,4	9,4	0,094	Maansiirtoautot 32t, 100 %, katuajo	28,6	co2data.fi/infra

Yhteensä

11113,6



### Liite 3. Sähkönkäytön päästöt

Ilmalankatu 1	2020	2021	2022
	Kulutus (kWh)	Kulutus (kWh)	Kulutus (kWh)
Tammikuu		5346,30	386,50
Helmikuu		6712,40	321,40
Maaliskuu		5980,90	311,30
Huhtikuu		3605,80	311,70
Toukokuu		2516,10	112,00
Kesäkuu		659,50	
Heinäkuu		636,00	
Elokuu	122,00	1254,80	
Syyskuu	655,00	1680,20	
Lokakuu	1701,30	2315,00	
Marraskuu	2838,60	4168,00	
Joulukuu	3585,60	4096,40	
<b>Yhteensä</b>	<b>8902,50</b>	<b>38971,40</b>	<b>1442,90</b>

Radiokatu 13	2020	2021	2022
	Kulutus (kWh)	Kulutus (kWh)	Kulutus (kWh)
Tammikuu		41,50	
Helmikuu		27,20	
Maaliskuu		80,80	
Huhtikuu		0,40	
Toukokuu		33,00	
Kesäkuu		0,20	
Heinäkuu			
Elokuu	19,40		
Syyskuu	102,40		
Lokakuu	2,70		
Marraskuu	10,90		
Joulukuu	0,40		
<b>Yhteensä</b>	<b>135,80</b>	<b>183,10</b>	

Kulutus Yht.	49635,70	kWh
Päästöt	546,0	kgCO <sub>2</sub> ekv