

Raitiotieratainfran materiaalien hiilijalanjälki

Kohti hiilineutraalia kaupunkiliikennettä

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK), Kestävä kaupunkiympäristö

2022

Simo Karjalainen

Tiivistelmä

Tekijä(t) Karjalainen Simo Antti Sakari	Julkaisun laji Opinnäytetyö, YAMK	Valmistumisaika 2022
	Sivumäärä 55	Liitteet 1
Työn nimi Raitiotieratainfra materiaalien hiilijalanjälki Kohti hiilineutraalia kaupunkiliikennettä		
Tutkinto Insinööri (YAMK), Kestävä kaupunkiympäristö		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Pääkaupunkiseudun kaupunkiliikenne Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö käsittelee raitiotieratainfraa sekä sen materiaalien aiheuttamaa hiilijalanjälkeä. Raitiotieratainfra on Suomessa merkittävä infrarakentamisen muoto tulevina vuosina ja sen vaikutukset kaupunkikuvaan ja maankäyttöön ovat merkittäviä. Ratarakentamisen hiilijalanjälki muodostuu noin 80 prosenttisesti materiaaleista, joten materiaalien hiilijalanjäljen määrittäminen ja pienentämispotentiaalin löytäminen on tärkeä osa tulevaa hiilineutraalia Helsinkiä sekä Kaupunkiliikenne Oy:tä.</p> <p>Työn kirjallisessa osiossa selvitetään, mistä eri osioista raitiotieratainfra koostuu ja kuinka paljon eri materiaaleja kuluu yhden raidemetrin rakentamiseen yleisimmillä käytössä olevilla ratarakenteilla. Lisäksi tutkitaan materiaalien ominaisuuksia sekä selvitetään niiden aiheuttamat hiilijalanjäljet. Kullekin materiaalille pyritään löytämään vähähiilisempi vaihtoehto ilman, että materiaalivalinnalla vaikutetaan radan käytettävyyteen tai elinkaareen. Vaihtoehtoisten materiaalien käyttämistä varten kartoitetaan mahdollisia ongelmatekijöitä sekä pyritään löytämään ne keinot, joilla uudet materiaalit saataisiin mahdollisimman sujuvasti käyttöön ja osaksi jo suunnitteluvaihetta.</p> <p>Kirjallisen osion lisäksi luotiin yksinkertainen excel-pohjainen laskentatyökalu, jolla pyritään lisäämään hiilijalanjäljen muodostumisen ymmärrettävyyttä ja sitä kautta herättämään ajatuksia siitä, miten suuri vaikutus materiaalivalinnoilla on.</p> <p>Opinnäytetyö on osa Kaupunkiliikenne Oy:n tavoitetta olla hiilineutraali vuoteen 2030 mennessä.</p>		
Asiasanat raitiotie, hiilijalanjälki, ratainfra, joukkoliikenne		

Abstract

Author(s) Karjalainen Simo Antti Sakari	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2022
	Number of Pages 55	Appendixes 1
Title of Publication The carbon footprint of tram track infrastructure materials Towards carbon neutral city traffic		
Name of Degree Master of engineering, Urban sustainability		
Name, title and organization of the client Pääkaupunkiseudun kaupunkiliikenne Oy, Metropolitan Area Transport Ltd		
Abstract <p>The thesis studies the infrastructure that is needed when building tram tracks and the carbon footprint of its materials. Tram track infrastructure will be a significant form of infrastructure construction in Finland in the coming years and its effects towards the cityscape and land use will be remarkable. The carbon footprint of the track construction is made up about 80 percent from the materials involved, so defining the carbon footprint of the materials and finding ways to reduce their carbon footprint is an important part of the future carbon neutral city of Helsinki and the Metropolitan area transport Ltd.</p> <p>The written part of the thesis presents the different parts of the track infrastructure and how much of each material is needed when building one meter of tram track using the common track structures. In addition, the properties of the materials are studied and the carbon footprint they cause is investigated. The aim is to find a low-carbon alternative for each material without affecting the usability or the life cycle of the track. In order to be able to use the alternative materials, possible problem factors will be identified, and efforts will be made to find ways to use new materials as efficiently as possible.</p> <p>In addition to the written section, a simple excel-based calculation tool was created to help increase the knowledge and understanding of the carbon footprint and the great impact that can be had through the material choices.</p> <p>This Thesis is a part of the larger effort that is being made to be able to achieve carbon neutrality for Metropolitan Area Transport Ltd.</p>		
Keywords tram track, carbon footprint, track infrastructure, public transportation		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Tutkimuskysymykset- ja menetelmät	3
2.1	Tutkimusmenetelmät.....	3
3	Raitiotieliikenne joukkoliikennemuotona.....	5
3.1	Kaupunkiraideliikennettä ohjaava laki	8
3.2	Raitiotielikenteen tulevaisuus joukkoliikenteen osana	8
4	Pääkaupunkiseudun kaupunkiliikenne Oy.....	9
4.1	Kaupunkiliikenne Oy:n historia	10
4.2	Organisaatio	11
4.2.1	OmaisuuDENhallintayksikkö	11
4.2.2	Infrapalvelut.....	11
5	Helsingin hiilineutraaliustavoite	12
5.1	Hiilineutraaliuden määrittely	12
5.2	Kaupunkiliikenne Oy:n rooli Helsingin päästöjen vähentämisessä	12
6	Hiilijalanjäljen soveltaminen	14
6.1	Yksittäisen henkilön hiilijalanjälki	14
6.2	Liikenteen hiilijalanjälki.....	15
6.2.1	Raitieliikenteen liikennöinnin päästöt	16
7	Kaupunkiliikenne Oy:n Hilkka-ohjelma	17
8	Hiilijalanjäljen muodostumisen eri vaiheet.....	18
8.1	Työn rajaus vaiheeseen A1-A3.....	19
9	Raitiotieinfran määrittely	20
9.1	Kiskot ja kiskonkiinnikkeet	22
9.1.1	Kiskot.....	22
9.1.2	Kiskonkiinnikkeet	24
9.2	Rata-alueen päällysteet	25
9.2.1	Asfaltti.....	26
9.2.2	Kivipäällysteet.....	27
9.2.3	Nurmipäällysteet.....	28
9.3	Pohjalaatta.....	30
9.4	Radan tukikerrokset.....	32
10	Nykyisen raitinfran eri osioiden hiilijalanjäljet	33
10.1	Hiilidioksidiekvivalentin määrittelmä	33
10.2	Betoninen pohjalaatta	33

10.2.1	Helsinki-rakenne	33
10.2.2	Raide-Jokeri	35
10.3	Kiskot.....	36
10.4	Päällysteet	36
10.4.1	Asfalttipäällysteet.....	37
10.4.2	Betonipäällyste	37
10.4.3	Kivipäällyste.....	39
10.4.4	Kivipäällysteen bitumisauma.....	39
10.4.5	Kivipäällysteen maakostea betoni	40
10.4.6	Betonisella nurmikivellä päällystetty rata.....	41
10.4.7	Betonisen nurmikiven asennushiekan ja sepelin osuus	41
10.4.8	Nurmikivellä päällystetyn radan päällysteen yhteishiilijalanjälki	42
10.5	Täysin nurmetettu päällyste	42
10.6	Tukikerrokset	43
10.7	Raidemetrille muodostuva hiilijalanjälki	44
11	Vähähiilisemmät ratkaisut eri osuuksille	46
11.1	Kiskot ja vähähiilinen teräs	46
11.2	Pohjalaatta ja vihreä betoni.....	47
11.2.1	Vihreä betoni	47
11.2.2	Jatkotoimenpiteet vihreän betonin käyttämiselle	49
11.3	Vähähiilisin päällyste.....	49
11.4	Tukikerroksen betonimurske	50
11.4.1	Jatkotoimenpiteet betonimurskeen käyttämiselle	51
11.5	Vihreämpien materiaalien käytön vaikutukset raidemetrin hiilijalanjälkeen	52
12	Johtopäätökset ja pohdinta	53
12.1	Kompensaatiomahdollisuudet	53
12.2	Kiertotalouden ja lähituotannon mahdollisuudet	54
12.3	Loppupohdintaa	54
	Lähteet.....	55

Liitteet

Liite 1. Laskentatyökalun esimerkkilaskelma

1 Johdanto

Raitiotieliikenne Suomessa on kovassa kasvussa. Lähivuosina uusia raitiotieyhteyksiä rakennetaan Helsinkiin, Tampereelle ja Espooseen sekä myös Vantaan kaupungilla on suunnitteluvaihe kovassa vauhdissa. Nykyinen raitiotieverkko kasvaa pääkaupunkiseudulla yli kaksinkertaiseksi suhteellisen lyhyessä ajassa ja raitiotieinfra onkin yksi merkittävin investointikohde suomalaisessa infrarakentamisessa. Kaupunkien tiivistyessä ja kasvaessa joukkoliikenneyhteyksien läheisyyteen, on ratainfra rakentamisen ominaispiirre se, että rakentaminen tapahtuu monesti hyvin haastavissa ja tiiviissä olosuhteissa.



Kuva 1. Uuden raitiotieyhteyden rakentamista Telakkakadulla Helsingin Punavuoressa. Radan vasemmalla puolella vanhaa rakennuskantaa ja oikealla juuri valmistumassa oleva Euroopan kemikaaliviraston pääkonttori.

Raiteilla kulkeva joukkoliikenne on kulkumuotona hyvin ympäristöystävällinen, kun tarkastellaan ainoastaan liikennöinnistä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Usein jää kuitenkin huomioimatta se, että joukkoliikenneinfra vaatii massiivisia infrarakentamisen hankkeita, joilla voi olla merkittävän kokoiset hiilijalanjäljet. Tässä työssä pureudutaan tarkemmin siihen, mitä raitiotieratainfra tarkoittaa ja mistä eri osioista se koostuu. Kullekin osiolle ja sen materiaaleille määritellään niiden menokit sekä selvitetään niiden mahdollisimman tarkka hiilikuorma. Tämän jälkeen niille materiaaleille, jotka aiheuttavat suurimmat hiilijalanjäljet, pyritään löytämään vähähiilisempi vaihtoehto. Vaihtoehtoisten materiaalien ominaisuudet selvitetään ja pyritään löytämään sellaiset vaihtoehdot, jotka eivät vaikuta ratainfraan elinkaareen tai sen vaatimiin ylläpito- tai kunnossapitotoihin.

Työn tarkoituksena ei ole esittää uusia laskentatapoja tai arviointimenetelmiä, sillä sitä varten on jo olemassa hyviä vaihtoehtoja esimerkiksi One Click LCA-ohjelmisto sekä ceequal-arviointimenetelmä. Tarkoituksena on enemmänkin herättää alan asiantuntijat ajattelemaan ratarainfran materiaalien hiilijalanjälkeä sekä pyrkiä konkretisoimaan eri valintojen vaikutuksia. Juuri hiilipäästöjen konkretisoimista ajatellen työn yhteydessä luotiin yksinkertainen excel-pohjainen laskentatyökalu, jolla on mahdollista karkealla tasolla tutkia sitä, että mitkä eri ratarakenteiden ja esimerkiksi päällysteiden vaikutukset ovat ratahankkeen kokonaispäästöjä ajatellen.

Työn toimeksiantajana toimii Pääkaupunkiseudun kaupunkiliikenne Oy, joka on entinen HKL eli Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos. HKL muuttui yhtiömuotoiseksi alkuvuodesta 2022, jolloin nimi vaihtui mutta pääasiallinen tehtävä säilyi ennallaan.

2 Tutkimuskysymykset- ja menetelmät

Tämä opinnäytetyö koostuu pääasiallisesti kirjallisesta osuudesta, joka pyrkii vastaamaan tutkimuskysymyksiin:

1. Mistä eri materiaaleista raitiotieratainfraan hiilijalanjälki muodostuu?
2. Onko nykyisin käytössä olevia materiaaleja mahdollista korvata vähähiilisillä ja millä edellytyksillä?

Työn yhteydessä laaditaan myös yksinkertainen excel-pohjainen laskentatyökalu, joka pyrkii vastaamaan kysymykseen:

3. Minkälainen ratarakenne ja mitkä materiaalivalinnat johtavat vähähiilisimpään raide-metriin?

Laskentatyökalun on tarkoitus olla enemmänkin ajatuksia herättävä karkean tason väline, jolla pystytään konkretisoimaan muodostuvaa hiilijalanjälkeä. Työkalu on tarkoitettu kehittyväksi excel-dokumentiksi, joka toivon mukaan jatkuvasti tarkentuu ja laajenee. Työkalu tähtää myös siihen, että tulevaisuudessa pystyttäisiin ratahankkeiden päästöt esittämään jo esimerkiksi hankesuunnitelmassa.

2.1 Tutkimusmenetelmät

Työssä on käytetty sekä kvantitatiivisia, että kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä. Kvantitatiivisia menetelmiä ovat olleet erityisesti hiilidioksidiekvivalenttien arvojen kerääminen eri lähteistä. Lähteinä on käytetty pääasiallisesti Suomen Ympäristökeskuksen ylläpitämää rakentamisen päästötietokantaa mutta myös muita lähteitä on jouduttu käyttämään, sillä rakentamisen päästötietokanta on vielä infrarakentamisen osalta hieman vajavainen. Hiilidioksidiekvivalenttien arvoja kerätessä jouduttiin käyttämään myös omaa soveltamista ja arviointia niissä tilanteissa, joissa arvoa ei löytynyt.

Pääasialliset menetelmät ovat kuitenkin olleet kvalitatiivisia menetelmiä erityisesti asiantuntijahaastatteluiden muodossa. Haastatteluja pidettiin sellaisten asiantuntijoiden kanssa, joiden tiedettiin työskentelevän ratainfraan materiaalivalintojen parissa. Haastatteluissa kuultiin niin omistajan edustusta sekä toteuttajan edustusta, jotta pystyttiin keräämään riittävä kokonaiskuva.

Myös vanhaa olemassa olevaa dokumentoimatonta tietoa on pyritty kirjaamaan ylös perustuen omaan työkokemukseen. Tällaista tietoa on esimerkiksi eri materiaalien todelliset menekit työmaaolosuhteissa sekä eri materiaalien toimiminen käytännössä. Oma kokemusta

ja karttunutta tietoa on myös hyödynnetty arvioidessa eri ratkaisujen vaikutuksia rakennettavuuteen. Niin sanotulla vanhalla tiedolla ja omalla kokemuksella onkin pyritty löytämään sellainen näkökanta, jolla pystytään konkreettisesti ja kriittisestikin tutkimaan uudenlaisten ratkaisujen vaikutuksia esimerkiksi kunnossapidettävyyteen sekä koko elinkaaren aikaiseen käytettävyyteen. Vaikka työssä onkin keskitytty pääasiallisesti materiaaleihin ja sitä kautta radan elinkaaren aivan alkupäähän, on taustalla kuitenkin koko ajan vaikuttanut tietoisuus eri vaihtoehtojen vaikutuksista koko elinkaareen.

Vanhan tiedon kerääminen on jatkuva prosessi ja sen hankkiminen suorien haastattelujen muodossa on monesti hieman tehotonta. Usein paras keino onkin eri alojen ammattilaisten kuunteleminen ennakkoluulottomasti ja esimerkiksi työmaalla ajan viettäminen. Työtä tehdessä ei olla järjestetty erillisiä haastatteluja tai kyselyjä vanhan tiedon keräämiseen, vaan tiedot perustuvat noin kymmenen vuoden mittaiseen vuoropuheluun useiden eri alojen ammattilaisten kanssa.

3 Raitiotieliikenne joukkoliikennemuotona

Raitiotieliikenne on joukkoliikenteen muotona suuren matkustajakapasiteetin omaava mutta infran osalta jäykkä järjestelmä. Raideliikenne on ympäristöystävällisyydessään huippuluokkaa ja myös kaupunkien kehittymisen kannalta yksi avaintekijä. Ennen koronaviruspandemiaa raitioliikennettä käytti vuosittain jopa 57 miljoonaa matkustajaa (Kaupunkiliikenne Oy 2022) ja syksyllä 2019 HSL:n toteuttaman matkustajatytyväisyyskyselyn perusteella raitiovaunuliikenteen tulos oli 4,1 / 5 ollen näin paras joukkoliikennemuoto pääkaupunkiseudulla matkustajatytyväisyyden osalta (HSL 2019).

Usein kaupungit rakentuvat enemmän tai vähemmän sujuvien joukkoliikennedyhteyksien varrelle ja raitiotien jäykän infran vuoksi raitiotieyhteydet ovat hyvin pysyviä ja sitä kautta myös houkuttelevat ympärilleen uutta kaupunkia ja investointeja. Tehokkaalla maankäytön suunnittelulla hyödynnetäänkin jo olemassa olevia joukkoliikennedyhteyksiä ja vaikka kaupunkirakenne niiden läheisyydessä tiivistyykin, niin joukkoliikenteen suosion kasvamisen ansiosta asuinalueet muuttuvat viihtyisämmiksi, terveellisimmiksi ja turvallisemmiksi (Mela & Mäkinen 2019).

Raitiotieliikenne on pitkään toiminut kaupunkien ydinkeskustoita palvelevana joukkoliikenteen muotona, jolla on pyritty saamaan vähenevien autojen kautta kaupunkien keskustoita viihtyisämmiksi. Pidemmät matkat on hoidettu juna- tai bussiyhteyksillä, jonka jälkeen on voitu jatkaa raitiovaunulla keskustassa. Tiheään kaupunkirakenteeseen rakennettu raitiotieverkosto palvelee aluetta kattavasti, mutta on usein luonteeltaan hyvin hidas verrattuna muihin joukkoliikenteen muotoihin. Viime vuosina yksi suuri tavoite raitiotieverkon kehittämisessä onkin ollut sen nopeuttaminen ja esimerkiksi Helsingissä raitiovaunujen keskinopeutta pyritään nostamaan nykyisestä 14 kilometrin tuntinopeudesta 17 kilometrin tuntinopeuteen vuoteen 2028 mennessä (Helsingin kaupunki 2017). Raitiotieverkoston monimuotoisuutta kuvaa hyvin Helsingin kaupungin, HSL:n sekä Kaupunkiliikenne Oy:n yhteinen raitiotieiden kehittämisohjelman ratainfraan kohdistuvat toimenpiteet, joilla nopeutta pyritään nostamaan (kuvio 1).

Uutena lisäyksenä perinteisen kantakaupungin raitiotieverkoston lisäksi Helsingin alueelle on parhaillaan rakentumassa pikaraitiotieyhteyksiä, ja jatkossa raitiotiet tulevatkin jakaantumaan pikaraitiotieihin ja kaupunkiraitiotieihin. Pikaraitiotieiden roolina tulee olemaan mahdollistaa nopeat säteittäiset ja poikittaiset yhteydet kaupunkiseudun alakeskusten ja kanta-

kaupungin välille (Helsingin kaupunki 2017). Kaupunkiraitiotiet taas jatkavat vanhaa rooliaan kantakaupungin sisäisen joukkoliikenteen mahdollistajana. Roolijakoa on havainnollistettu kuviossa 2.

Keino	Tavoitteet
Liikennevaloetuuksien kehittäminen	Nopeus, sujuvuus, luotettavuus
Pysäkkimuutokset	Nopeus, sujuvuus
Erottelun parantaminen	Nopeus, luotettavuus
Suojatiejärjestelyt	Nopeus, sujuvuus
Kaarregeometrian parantaminen	Nopeus
Syväuraiset vaihderistikot	Nopeus
Turvavaihteet	Nopeus, sujuvuus
Varayhteydet	Nopeus
Väärinpysäköinnin vähentäminen	Häiriöttömyys, luotettavuus

Kuvio 1. Raitioteiden kehittämissuunnitelman ratainfraan kohdistuvat eri toimenpiteet (Helsingin kaupunki 2017)



Kuvio 2. Pikaraitioteiden ja kaupunkiraitioteiden suunniteltu roolijako vuonna 2025. Kartassa on katkoviivalla esitettyä tuleva Kalasatamasta Pasilaan raitiotieyhteys (Helsingin kaupunki 2017)

3.1 Kaupunkiraideliikennettä ohjaava laki

Kaupunkiraideliikenteen harjoittamista ohjaa ylätasolla *laki kaupunkiraideliikenteestä* 1412/2015. Laissa on määriteltynä hyvin ylätason vaatimuksia muun muassa turvallisuusjohtamisjärjestelmästä ja toiminnan harjoittajan vastuista. Vuodesta 2019 alkaen kaupunkiraideliikennettä on valvonut liikenteen turvallisuusvirasto Traficom.

Traficomien valvonnan ollessa verrattain uusi asia, on valvonnassa keskitytty lähinnä auditoimaan toiminnan harjoittajaa sekä kartoittamaan sitä, mitä eri ohjeita ja määräyksiä toiminnanharjoittajalla itsellään on toimintaansa ajatellen. Tulevaisuudessa tulee varmasti selkeytymään se, että mitä kaikkia virallisia ohjeita ja säädöksiä tulee olla olemassa, ja mitä niiden tulee pitää sisällään. Esimerkiksi raitiotien ratainfraa koskevia virallisia määräyksiä ja vaatimuksia ei ole ollut saatavilla, vaan Kaupunkiliikenne Oy on joutunut ne itse määrittelemään. Tulevaisuudessa tähän saadaan varmasti yhtenäisempiä säädöksiä Suomen raitiotiekaupunkien lisääntyessä, joka taas helpottaa ja selkeyttää monia asioita.

3.2 Raitiotieliikenteen tulevaisuus joukkoliikenteen osana

Raitiotieverkoston kasvaessa ja monimuotoistuessa raitiotieliikenteen rooli tulee entisestään vahvistumaan joukkoliikenteen kulkumuotona. Myös kaupungin ilme tulee muuttumaan yhdessä raitioteiden laajentuessa. Pikaraitioteiden tullessa osaksi Helsingin keskustaa, tulee hyvin moni asia katunäkymässä muuttumaan. Raitiotiepysäkit pitenevät, rata-alueet laajenevat, liikennevalot vähenevät ja kadut muuttuvat tämän muutoksen mukana tuoden lisää tilaa esimerkiksi pyöräilylle ja vähemmän tilaa autoilulle. Kasvava ja nopeutuva raitiotieliikenne on siis yksi suurimmista tekijöistä kaupungeissa tapahtuville katujen muutoksille.

4 Pääkaupunkiseudun kaupunkiliikenne Oy

Vuoden 2022 helmikuussa Helsingin kaupungin liikennelaitos –liikelaitos yhtiöitettiin ja uuden yhtiön nimeksi tuli Pääkaupunkiseudun Kaupunkiliikenne Oy. Uuden yhtiön tehtävät pysyivät hyvin paljolti samoina kuin ne olivat HKL:n aikanaikin, ainoana poikkeuksena metron osuus jäi vielä erilliseen liikelaitokseen johtuen käynnissä olevasta Siemens-oikeudenkäynnistä.

Kaupunkiliikenne Oy:n perustehtävänä on tuottaa ja kehittää kestävän liikkumisen palveluita ja infrastruktuuria laadukkaasti ja kustannustehokkaasti. Kaupunkiliikenne Oy siis hallinnoi Helsingin joukkoliikenneinfraa ja omistaa raitiovaunukaluston. Lisäksi se vastaa joukkoliikenteen kokonaisuuden kehittämisestä ja kunnossapidosta. Alla olevassa kuviossa 3 on esitettyinä päälukuja Kaupunkiliikenne Oy:n matkustajamääristä sekä hallinnoitavasta ratainfrastrasta.

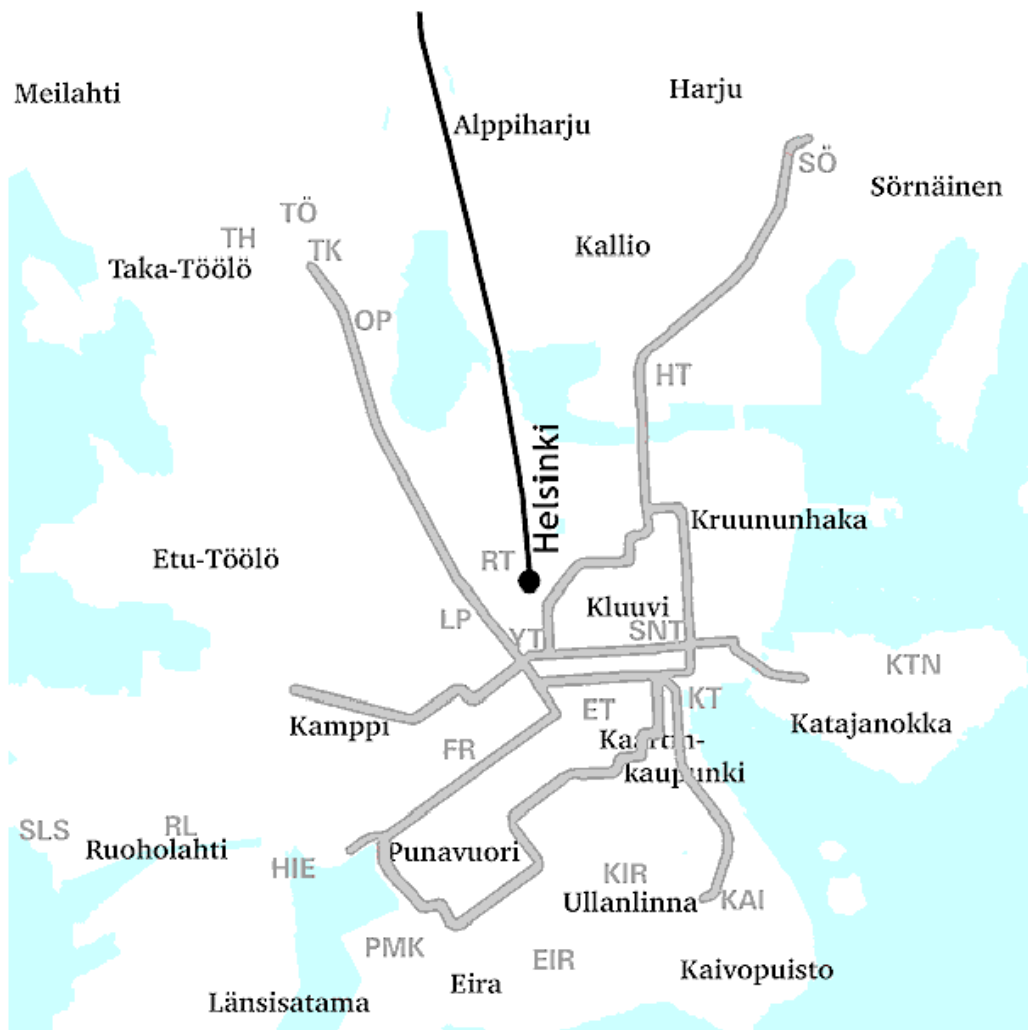


Kuvio 3. Kaupunkiliikenne Oy lukuina (Kaupunkiliikenne Oy 2022)

4.1 Kaupunkiliikenne Oy:n historia

Nykyisen kaupunkiliikenne Oy:n juuret ulottuvat aina vuoteen 1888, jolloin perustettiin Helsingin raitiotie- ja omnibusosakeyhtiö. Liikelaitosmuotoinen HKL aloitti toimintansa vuonna 1945 ja takaisin osakeyhtiömuotoon siirryttiin vuonna 2022.

Ensimmäiset raitiovaunut nähtiin Helsingissä vuonna 1891. Ne olivat hevosvetoisia ja kulivat Töölöstä Kaivopuistoon. Sähköisiin raitiovaunuihin siirryttiin vuonna 1900. Tällöin rataverkko palveli pääosin ydinkeskustan aluetta ulottuen pohjoisimpana Sörnäisten alueelle.

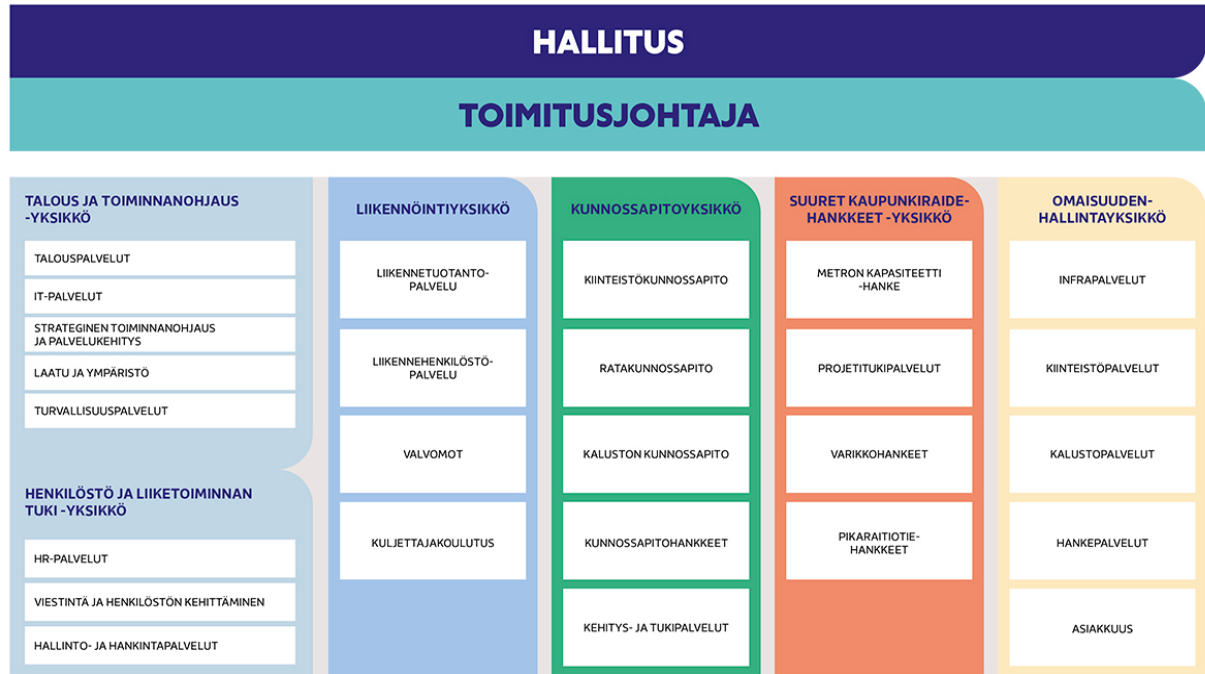


Kuvio 4. Helsingin raitiotielinjasto vuosina 1900-1910 (Pertilä 2022)

Vuosien saatossa on sekä kalusto, että rataverkko kehittynyt Helsingin laajentuessa yhä laajemmalle siten, että nykyisin vuonna 2022 Helsingin alueella liikennöivät modernit Artic-vaunut ja raitiotieverkko on 117 kilometriä laaja.

4.2 Organisaatio

Kaupunkiliikenne Oy:n organisaatio muodostuu viidestä eri yksiköstä, joilla kullakin on omat vastualueensa. Organisaatio on esitettyä alla olevassa kuviossa 5.



Kuvio 5. Kaupunkiliikenne Oy:n organisaatiokaavio (Kaupunkiliikenne Oy 2022)

4.2.1 Omaisuudenhallintayksikkö

Tämä työ toteutetaan omaisuudenhallintayksikölle, jonka pääasiallisena tehtävänä on vastata Helsingin joukkoliikenneinfrastruktuurin sekä raitiovaunu- ja metrokaluston omaisuuden hallinnasta ja kehittämisestä sekä kaluston uushankinnoista. Yksikön vastuulle kuuluvat muun muassa metroasemien ja raitiotieratojen peruskorjaukset.

4.2.2 Infrapalvelut

Infrapalvelut-palvelu hallinnoi ja omistaa joukkoliikenneinfraa. Palvelun keskeinen tehtävä on infran elinkaaren hallinta sekä uusien investointien omistajatehtävät. Palvelu määrittelee sen, että milloin ja missä esimerkiksi raitiotieinfraa peruskorjataan tai uudisrakennetaan ja lisäksi antaa hankkeille laatuvaatimukset sekä laatii projektikuvaustasoisen budjetin.

Infrapalveluiden rooli on ratahankkeiden hiilijalanjäljen muodostumisen kannalta merkittävä, sillä infrapalveluiden asiantuntijat laativat hankkeiden tarve- ja projektikuvaukset sekä laativat hankkeiden alustavat budjetit. Infrapalveluissa luodaan siis tekniset sekä taloudelliset raamit, jotka ohjaavat hankkeiden läpivientiä (Kaupunkiliikenne Oy 2022).

5 Helsingin hiilineutraaliustavoite

Helsingin kaupungin kaupunkistrategiassa 2021-2025 on asetettu tavoitteeksi, että Helsinki on hiilineutraali vuoteen 2030 mennessä. Aikaisemmin tavoite on ollut vuoteen 2035 mennessä, joten aikataulua on kunnianhimoisesti aikaistettu viidellä vuodella.

5.1 Hiilineutraaliuden määrittely

Sitra määrittelee verkkoartikkelissaan ”Mitä nämä käsitteet tarkoittavat?” termin hiilineutraalius seuraavalla tavalla:

Tuote, yritys, kunta ja valtio, joka tuottaa vain sen verran hiilidioksidipäästöjä kuin se pystyy sitomaan. Hiilineutraalin tuotteen hiilijalanjälki on koko elinkaaren ajalta nolla (Sitra 2018).

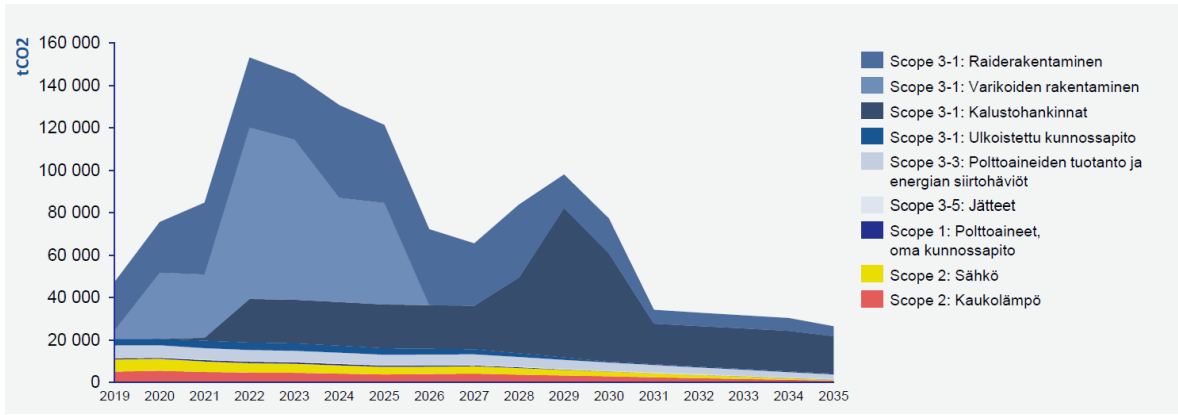
Eli jotta tavoitteeseen päästään, tulisi Helsingin sitoa hiiltä yhtä paljon kuin se sitä tuottaa vuoteen 2030 mennessä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että Helsingin alueella tulisi pystyä pienentämään kasvihuonekaasupäästöjä 80 % nykytilanteesta. Jäljelle jäävät 20 % on tarkoituksena kompensoida eri tavoilla (Helsingin kaupunki 2018).

5.2 Kaupunkiliikenne Oy:n rooli Helsingin päästöjen vähentämisessä

Myös Kaupunkiliikenne Oy:n tavoitteena on olla hiilineutraali samassa aikataulussa Helsingin kaupungin kanssa. Kaupunkiliikenne Oy:n käyttämä ajoenergia, eli sähköenergia, jolla metrot ja raitiovaunut kulkevat, on jo täysin hiilineutraalia, joten tarvittavat muutokset tulevat kohdistumaan kalustoon, infraan sekä varikoihin.

Helsingissä ja sen lähikunnissa ollaan investoimassa merkittäviä summia joukkoliikenneinfraan lähivuosina. Vuoteen 2035 mennessä Kaupunkiliikenteen hallinnoima raitiotieratainfra tulee kasvamaan noin 170 % nykyisestä ja kaluston määrä noin kaksinkertaistumaan. On siis selvää, että Kaupunkiliikenne Oy:llä tulee olemaan hyvin merkittävä rooli rakentamisen aiheuttamien kasvihuonepäästöjen vähentämisessä Helsingissä.

Kuten alla olevasta kuviosta 6 käy ilmi, tulevina vuosina suurimmat päästöt Kaupunkiliikenne Oy:n osalta tulevat aiheutumaan raiderakentamisesta sekä varikoiden rakentamisesta. Useiden uusien raideyhteyksien rakentaminen on jo käynnissä, joten niihin vaikuttaminen on jo myöhäistä, mutta niistäkin on tärkeitä määritellä niiden rakentamisen aiheuttama hiilijalanjälki, jotta vielä suunnitteluvaiheessa oleviin hankkeisiin saadaan tärkeitä oppia.



Kuvio 6. Kaupunkiliikenne Oy:n päästöjen jakautuminen (Gaia consulting 2022)

6 Hiilijalanjäljen soveltaminen

Hiilijalanjälki kuvaa jonkin tietyn rajattavissa olevan kokonaisuuden aiheuttamaa ilmasto-kuormaa. Hiilijalanjälki voidaan siis määritellä esimerkiksi yksittäiselle ihmiselle tai vaikkapa kokonaiselle kunnalle (Open CO₂.net 2022).

Hiilijalanjälki esitetään usein hiilidioksidiekvivalenttina, joka yhdistää ja ottaa huomioon eri kasvihuonekaasujen ominaisuudet ja kuvaa näiden yhteenlaskettua ilmastoa lämmittävää vaikutusta. Yleisimmät kasvihuonekaasut ovat hiilidioksidi, metaani ja typpioksiduuli.

6.1 Yksittäisen henkilön hiilijalanjälki

Yksittäisen henkilön hiilijalanjäljen määrittämisellä päästään kiinni siihen, että kuinka paljon ihmisen erilaiset arjen toimintatavat kuormittavat ympäristöämme ilmastopäästöjen muodossa. On olemassa erilaisia laskureita, joihin syöttämällä tiettyjä parametreja, voi jokainen ihminen määritellä oman hiilijalanjälkensä ja sitä kautta päästä käsiksi siihen, että mitkä osa-alueet omassa toiminnassa eniten vaikuttavat ilmastoon negatiivisesti.

Alla on esitettyä Sitran verkkoartikkelista ”Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki” poimittu kuvio, josta käy havainnollisesti ilmi se, että mistä suomalaisten ihmisten hiilijalanjälki muodostuu (kuvio 7).



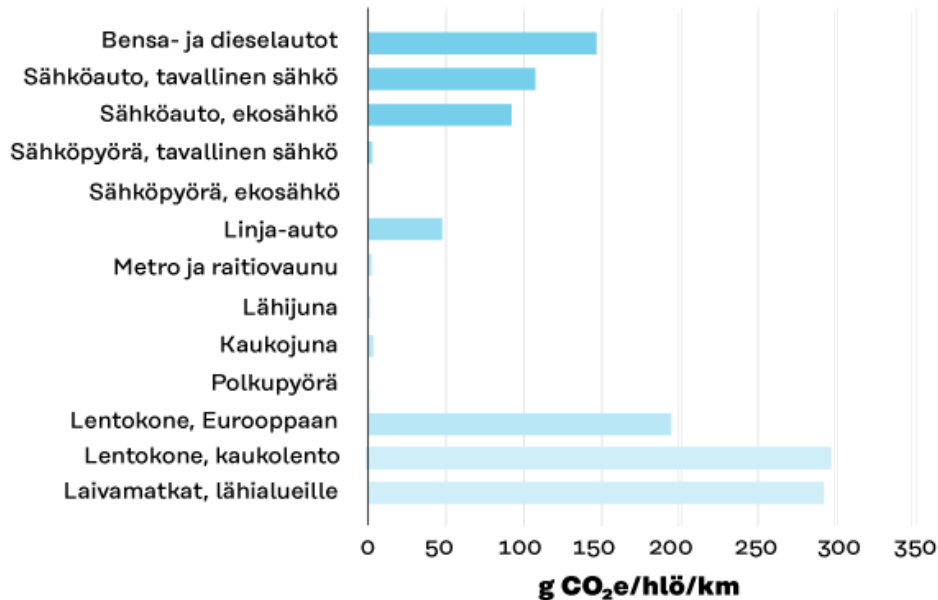
Kuvio 7. Keskivertosuomalaisen henkilön hiilijalanjäljen jakaantuminen eri osa-alueisiin (Sitra 2018)

6.2 Liikenteen hiilijalanjälki

Koska tässä työssä käsitellään joukkoliikenteen ja erityisesti raitiotieliikenteen hiilijalanjälkeä, on tärkeätä havainnollistaa se, että minkälaisia päästöjä kukin eri liikennemuoto aiheuttaa. Liikennemuotojen päästöt esitetään usein suhteutettuna henkilöön ja kuljettuihin kilometreihin, esimerkiksi CO₂e/hlö/km. Tässä tulee huomioida se, että monesti laskennassa on otettu huomioon ainoastaan se, mitä itse liikennöinti aiheuttaa ja laskelmien ulkopuolelle on jätetty ne tekijät, joita tarvitaan siihen, että liikennöinti on mahdollista.

Kuten alla olevasta kuvioista 8, joka on poimittu Sitran verkkoartikkelista ”Keski-vertosuomalaisen hiilijalanjälki” näkyy, näyttäytyvät ison kapasiteetin joukkoliikennemuodot erittäin pieninä hiilen aiheuttajina, kun käsitellään ainoastaan eri liikennemuotojen liikennöinnin aiheuttamia päästöjä.

LIIKENNEMUOTOJEN HIILIJALANJÄLKIÄ



SITRA

Kuvio 8. Eri liikennemuotojen liikennöinnin aiheuttamien päästöjen vertailu (Sitra 2018)

6.2.1 Raitioliikenteen liikennöinnin päästöt

Helsingin raitiotieliikenteessä on silloisen HKL:n toimesta siirrytty kokonaan vesi- ja tuuli-voimalla tuotettuun ajoenergiaan jo vuonna 2012, joten raitiovaunujen liikennöinnin ajoenergia on ollut jo noin kymmenen vuotta hiilineutraalia. Tämä on ollut aikanaan todella edellä aikaansa ja onkin tuottanut raitioliikenteelle paljon positiivista mainetta.

Kun raitioliikenteen liikennöinti hoidetaan hiilineutraalisti ja yhden raitiovaunun kuljetuskapasiteetti on uudella ja pisimmällä 34,5 metriä pitkällä Artic XL-vaunulla jopa yli 200 henkilöä/vaunu, niin raitioliikenne on ympäristöystävällisyydessään huippuluokkaa ja näyttäytyinkin siksi esimerkiksi aikaisemmassa kuviossa 8 erittäin vähähiilisenä.

Tulee kuitenkin huomioida, että onnistunut ja sujuva raitioliikenne vaatii toimiakseen suuren määrän muita asioita kuin pelkästään ajoenergiaa. Esimerkiksi yhden Artic XL-vaunun rakentaminen on hyvin pitkä prosessi ja se aiheuttaa vuosien mittaan mittavia hiilipäästöjä. Siksi myös kalustoa hankkiessakin on suuri vastuu hiilijalanjäljen muodostumisessa.

Toinen merkittävä tekijä raitioliikenteelle on sen vaatima infra, jota ilman liikennöinti ei olisi mahdollista. Raitioliikenne tarvitsee toimiakseen ratainfraa sekä ratasähköinfraa, jotka yhdessä muodostavat raitiotieratainfran. Kappaleesta 9 eteenpäin tullaan määrittelemään ratainfra tarkemmin ja esittämään sen eri osa-alueet.

7 Kaupunkiliikenne Oy:n Hiikka-ohjelma

Kaupunkiliikenne Oy on käynnistänyt vuoden 2021 lopussa Hiikka-ohjelman, jonka nimi tulee sanoista Hiilineutraali Kaupunkiliikenne Oy. Ohjelman päätavoitteena on Kaupunkiliikenne Oy:n saattaminen kokonaan hiilineutraaliksi yhdessä Helsingin kaupungin kanssa. Ohjelmassa on tarkoituksena luoda yksityiskohtaisempia alatavoitteita ja tehokkaita mittareita, jotta konkreettisiin toimenpiteisiin päästäisiin mahdollisimman hyvin (Kaupunkiliikenne 2022).



Kuvio 9. Hiikka-ohjelman tavoitteita (Gaia consulting 2022)

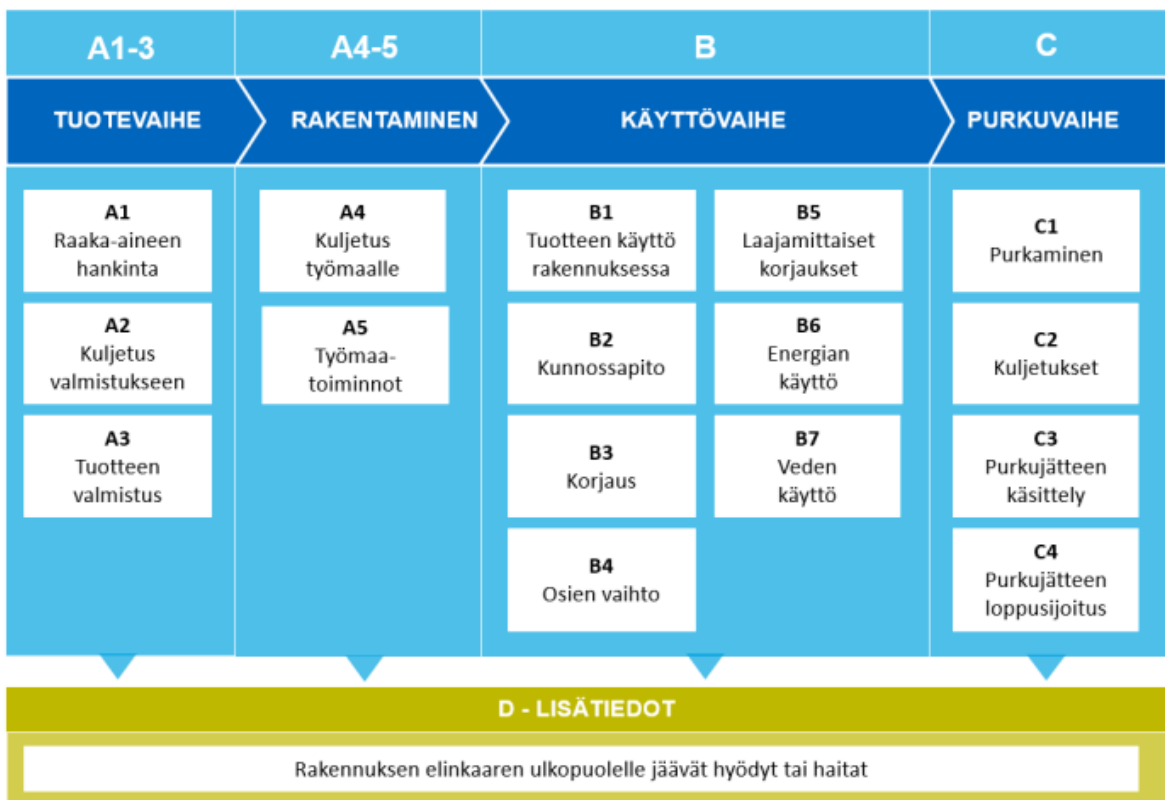
Hiikka-ohjelmassa on perustettu eri työryhmiä pohtimaan ja käsittelemään spesifejä aihealueita, jotta työtä saataisiin kohdistettua juuri oikeille osaajille Kaupunkiliikenne Oy:n sisällä. Eri työryhmät ovat:

- Hiilineutraalius investointisuunnittelussa
- Hiilineutraali hankeohjaus
- Hiilineutraalit suunnitteluratkaisut
- Energiatehokas kiinteistökanta
- Hiilineutraali työmaa
- Hiilineutraali liikennöintikalusto
- Hiilineutraalit hankinnat

Kaupunkiliikenne Oy:ssa on siis käynnistetty kunnianhimoinen ohjelma kohti hiilineutraaliutta, johon panostetaan koko henkilöstön voimin. Tämän työn voidaan katsoa olevan osa tätä työtä, sillä työn aihealueet osuvat usean eri työryhmän kontekstiin.

8 Hiilijalanjäljen muodostumisen eri vaiheet

Rakennushankkeessa muodostuu ympäristövaikutuksia useissa eri vaiheissa. Infraraken-
nushankkeissa rakennettavan tuotteen elinkaari on usein hyvin pitkä ja raitiotiehankeissa
uuden radan odotettu elinkaari on jopa 50 vuotta. Bionova Oy:n tuottamassa selvityksessä
Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa
on havainnollisesti esitetty rakennushankkeen eri vaiheet sekä elinkaarimalli (kuvio 10),
joka perustuu eurooppalaiseen standardiin (Bionova Oy 2017).

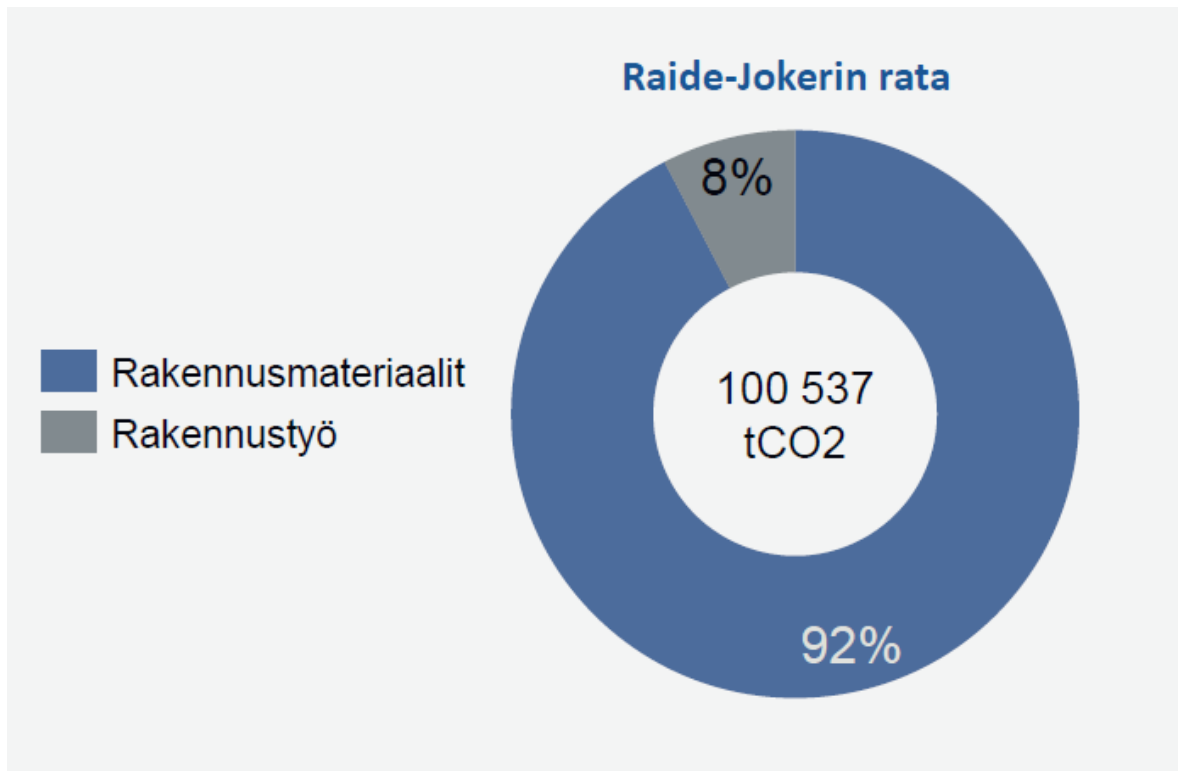


Kuvio 10. Rakennushankkeen CEN/TC 350-standardiperheen mukainen elinkaarimalli (Bionova Oy 2017)

8.1 Työn rajausta vaiheeseen A1-A3

Tässä työssä tullaan keskittymään vaiheeseen A1-A3, sillä se on juuri se osio, jossa tällä hetkellä on merkittävä potentiaali hankkeen hiilijalanjäljen pienentämiseksi. Gaia consultingin toteuttamassa selvityksessä Hiilineutraali HKL todettiin, että jopa 92 % Raide-Jokerissa muodostuvista päästöistä muodostuu materiaaleista (kuvio 11) (Gaia consulting 2022).

Työn tarkoituksena onkin löytää eri materiaalien kautta ne avainkohdat, joihin pystytään vaikuttamaan tehokkaasti. Materiaalivalinnat käsitellään kuitenkin olemassa olevin vaatimusten mukaisesti, jolla varmistetaan se, että esimerkiksi jokin ympäristöystävällisempi materiaalivalinta ei pääse vaikuttamaan rakentamis- tai käyttövaiheeseen negatiivisesti.



Kuvio 11. Raide-Jokerin päästöjen jakautuminen materiaalien ja rakennustyön suhteessa (Gaia consulting 2022)

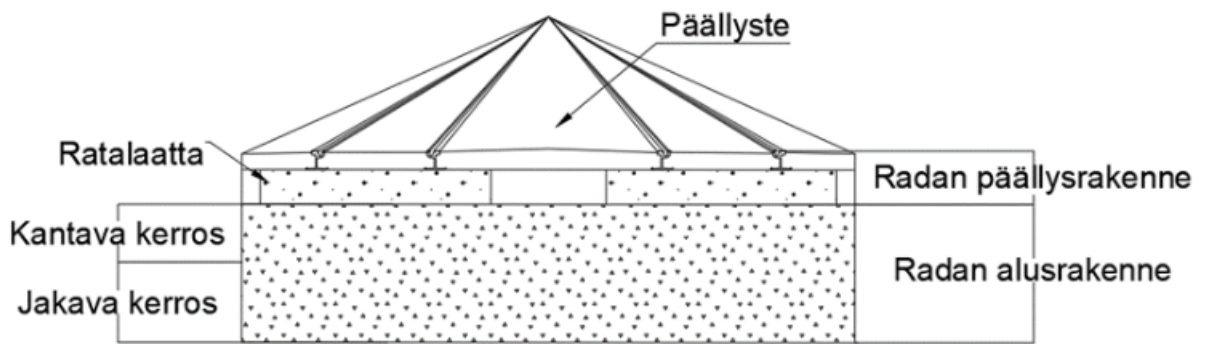
9 Raitiotieinfran määrittely

Ratainfra pitää sisällään kaikki ne infran osiot, joita raitiotierata tarvitsee ollakseen turvallinen ja vaatimusten mukainen. Ratainfraan pääasiallinen tehtävä on pitää rakennettu raide halutussa asemassa mahdollisimman pitkään ja tarkoituksenmukaisesti.

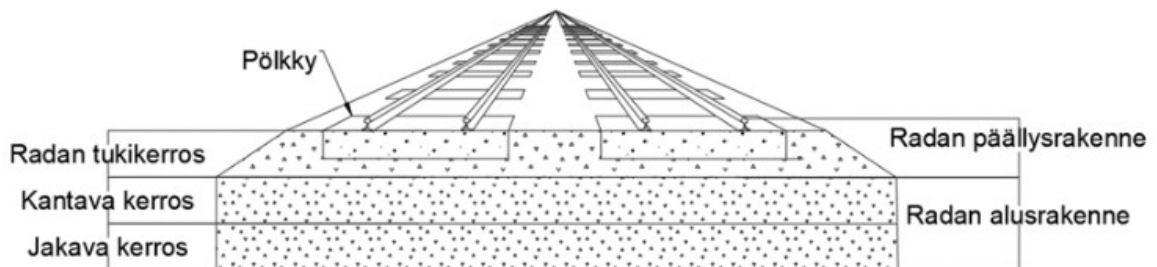
Ratainfraan erilaisia tyyppiratkaisuja on karkeasti jaoteltuna kaksi, joista toinen on kiintoraiderakenne (kuvio 12) ja toinen niin sanottu sepeliratarakenne (kuvio 13). Kiintoraiderakenne on yleisimmin käytössä tiheässä kaupunkirakenteessa, jossa katutila on jaettu useiden eri kulkumuotojen kanssa ja jossa esimerkiksi radan yli kohdistuu paljon risteävää liikennettä. Kiintoraide on stabiili rakenne ja se mahdollistaa rata-alueen päällystämisen kiskon pintaan saakka. Sepeliratarakenne taas vastaa ominaisuuksiltaan pitkälti junarataa ja sitä käytetäänkin usein sellaisilla alueilla, jossa ei ole muuta liikennettä ja rata on kokonaan eroteltu omaksi alueekseen. Sepelirata on elävä rakenne, joka pitää tukea tukemiskoneella tasaisin väliajoin. Tukemiskoneen tulee päästä ratapölkkyihin käsiksi ja siitä syystä sepelirata on usein myös päällystämätön.

Karkeasti voi siis jaotella siten, että kiintoraiderakennetta käytetään tiiviissä kaupunkiympäristössä ja sepelirataa enemmän junamaisilla osuuksilla. Kahden rakenteen välillä on olemassa myös useita erilaisia niin sanottuja hybridiratkaisuja, jotka tuovat ne lähemmäs toisiaan. Sepelirata voidaan myös esimerkiksi nurmettaa, jolloin se saattaa näyttää täysin samalta kuin kiintoraidenurmira ja kiintoraiderata voidaan myös joskus jättää päällystämättä kiskon pintaan saakka, jolloin se saattaa näyttää hieman sepeliradalta. Nämä ovat kuitenkin poikkeustapauksia eivätkä usein kovinkaan toimivia.

Tässä työssä tullaan keskittymään kiintoraiderakenteeseen, sillä se on tällä hetkellä yleisin rakenne Helsingin alueella.



Kuvio 12. Kiintoraiderakenne ja sen vaatimat rakennekerrokset. Kiintoraiderakenteen ominaispiirre on kiskojen alla sijaitseva betoninen pohjalaatta (kuviossa ratalaatta) (Kaupunkiliikenne Oy 2021.)



Kuvio 13. Sepeliratarakenne ja sen vaatimat rakennekerrokset. Sepeliradan ominaispiirre on ratapölkkyt, jotka jäävät maan pinnalle näkyviin (Kaupunkiliikenne Oy 2021.)



Kuva 2. Rakenteilla oleva kiintoraiderakenne Helsingin Sörnäisissä vuonna 2019

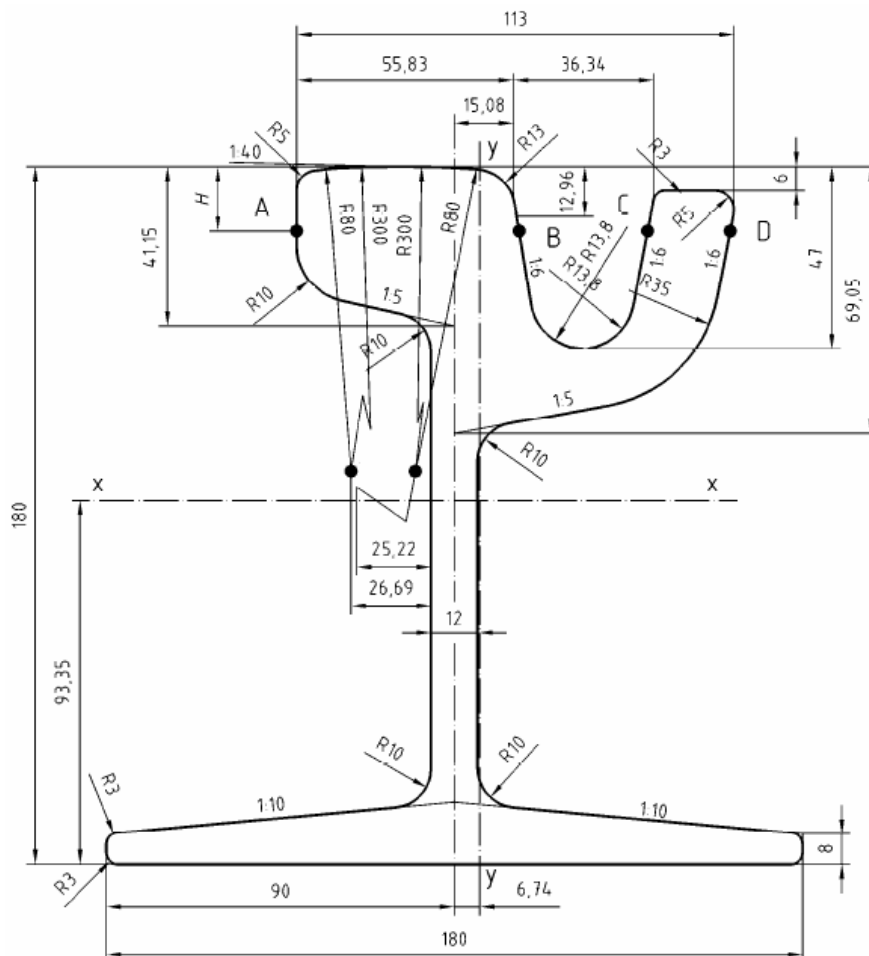
Raitiotieratainfra jaetaan tässä työssä neljään eri osa-alueeseen ja jokainen niistä tullaan käsittelemään tarkemmin seuraavissa kappaleissa. Neljä eri osiota ovat:

- Kiskot ja kiskonkiinnikkeet
- Päällysteet
- Pohjalaatta
- Tukikerrokset

9.1 Kiskot ja kiskonkiinnikkeet

9.1.1 Kiskot

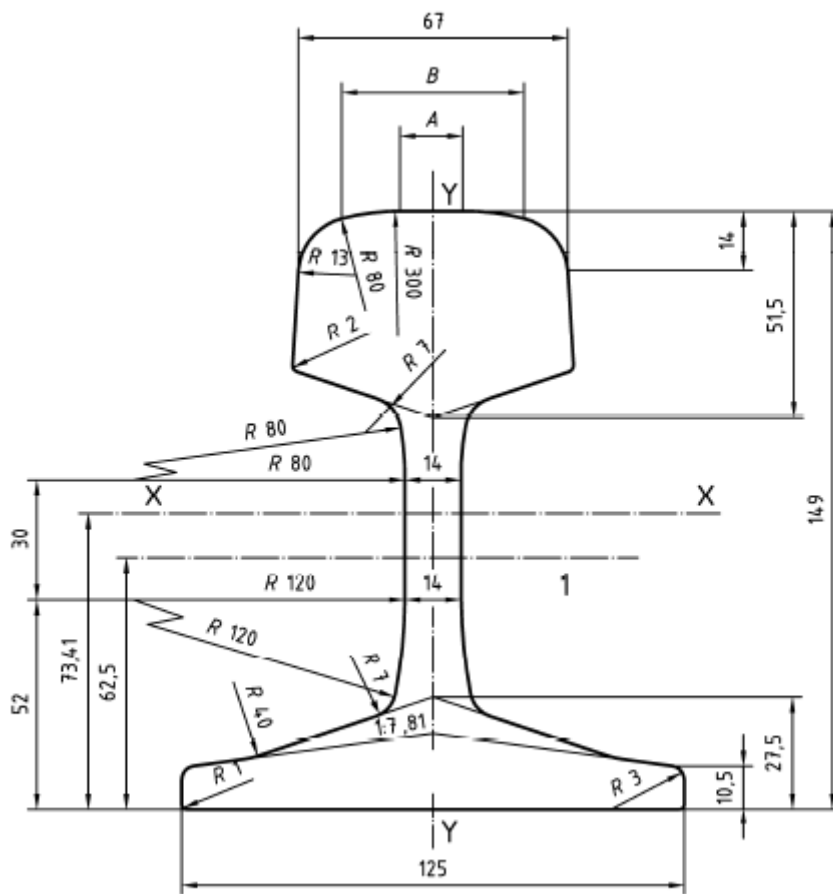
Raitiotieradoilla on yleisesti käytössä pääasiallisesti kaksi erilaista kiskotyyppiä, urakisko (kuvio 14) ja niin sanottu Vignole-kisko (kuvio 15). Näiden kahden eri kiskotyypin pääasiallinen ero on se, että urakiskossa on raitiovaunun pyörän laippaa varten tehty ura ja Vignole-kiskossa uraa ei ole.



Kuvio 14. Ri60R2-urakiskoprofiili (European committee for standardization 2005)

Urakiskoa käytetään yleisesti sellaisilla alueilla, joissa käytetään niin sanottua suljettua rata-rakennetta (kuvio 12) eli rata-alue päällystetään kiskon pintaan asti. Tällaisia alueita on esimerkiksi sellaiset alueet, jossa rata-alueella liikkuu kumipyöräistä kalustoa, esimerkiksi sekaliikennekadut.

Vignole-kiskoa käytetään taas useimmiten avoradalla (kuva 5) sellaisilla alueilla, joissa rata-alueella kulkee ainoastaan kiskopyöräistä kalustoa ja rata-alueella ei ole päällysteitä kiskon pintaan asti.



Kuvio 15. Ri49E1-vignole kiskon profiili (European committee for standardization 2005)

Molemmista kiskotyypeistä on olemassa useita erilaisia kiskoprofiileja, joista yleisimmät ovat Ri60R2 (kuvio 14) sekä Ri49E1 (Kuvio 15). Eri kiskoprofiilit eroavat toisistaan esimerkiksi kiskouran leveyden ja ajopinnan kulman pyöristyneen osalta. Helsingissä kantaverkolla on tällä hetkellä käytössä urakiskoprofiilit Ri59R1 sekä Ri60R1 ja uusissa rakenteilla olevissa hankkeissa on käytössä Ri60R2. Myös kantaverkon alueella tullaan lähivuosina siirtymään urakiskoissa pääasiallisesti profiiliin Ri60R2.

Vignole-kiskon yleisin käytetty profiili on Ri49E1, joka vastaa profiililtaan urakiskoprofiilia Ri60R2 ja nämä kaksi kiskoja ovat siis toisiinsa nähden yhteensopivia eli ne voidaan hitsata toisiinsa kiinni.

Tässä työssä tullaan siis käsittelemään tarkemmin kiskoprofiilit Ri60R2 ja Ri49E1. Molempia kiskoja ohjaa EN-standardit. Eri urakiskotyypin ominaisuuksia ohjaa eurooppalainen standardi EN-14811 *Railway applications – track – special purpose rail – grooved and associated construction* ja Vignole-kiskoja ohjaa standardi EN-13674 *Railway applications – track – Part 1: Vignole railway rails 46 kg/m and above*.

Standardeissa määritellään kiskojen laatu- ja vaatimusmääritykset sekä eri profiileiden mitat. Kaupunkiliikenne Oy käyttää kyseisiä standardeja hankintakriteereinä kiskohankinnoissa.

9.1.2 Kiskonkiinnikkeet

Kiskonkiinnikkeiden tehtävänä on pitää kiskot paikallaan ratarakenteesta riippuen joko suoraan radan pohjalaatassa tai ratapölkkyssä. Kaikkia kiskonkiinnikkeitä ohjaa EN-standardi 13481.

Helsingin kantaverkolla ratarakenteena on käytössä niin sanottu omavalmiste betonilaattarakenne, jota tässä työssä kutsutaan Helsinki-rakenteeksi (kuva 2). Kyseisessä rakenteessa on käytössä omavalmiste kiskonkiinnikkeet (kuvio 16). Tämä kiinnike on jalostunut vuosien saatossa ja perustuu Kaupunkiliikenne Oy:n kunnossapitoyksikön asiantuntijoiden kokemukseen. Kyseisellä mallilla ei ole standardihyväksyntää mutta Kaupunkiliikenne Oy:n on tarkoitus sellainen tälle mallille hakea.



Kuvio 16. Kaupunkiliikenne Oy:n omavalmiste kiskonkiinnike (Kaupunkiliikenne Oy 2018)

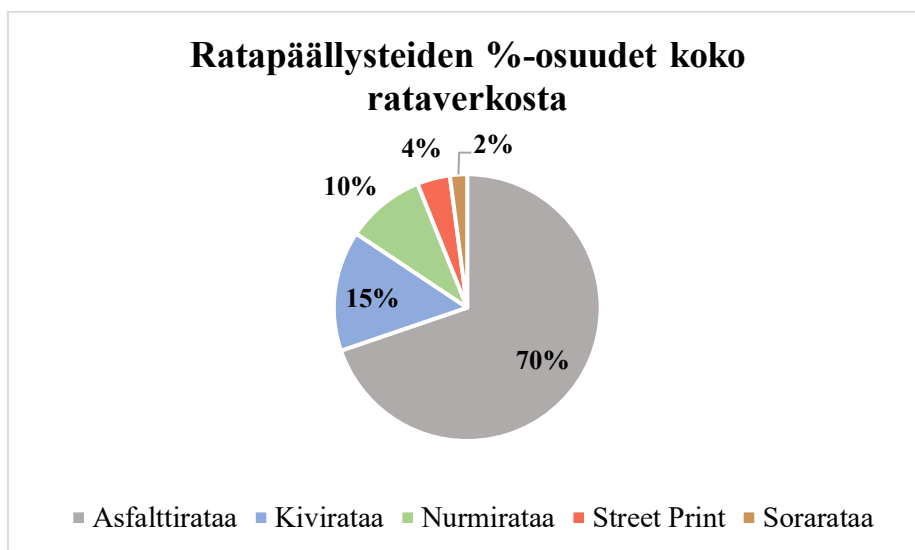
Eri valmistajien toimesta on saatavilla myös hyvin monenlaisia erilaisia valmiita kiskonkiinnikkeitä. Mallit vaihtelevat ratarakenteen ja kiskotyypin mukaan. Useissa kaupungeissa käytetään nykyään niin sanottua ”puolipölkky”-ratarakennetta (kuva 6), jossa kiskot kiinnitetään kiinnikkeillä betoniseen ratapölkkyyn ja sen jälkeen pölkkyt valetaan kiinni pohjalaataan. Tällainen puolipölkky rakenne on käytössä esimerkiksi Tampereen raitiotiellä, Raide-Jokerissa ja tulee olemaan Kruunusillat-hankkeessa sekä Kalasatamasta Pasilaan –hankkeessa.

Koska kiskonkiinnikkeiden materiaalimenekki on hyvin vähäistä suhteutettuna ratainfraan muihin osioihin, niin kiinnikkeiden aiheuttamaan hiilijalanjälkeä ei tulla käsittelemään tarkemmin. On kuitenkin tärkeää muistaa, että kiskonkiinnikkeiden toimivuus ja elinkaari vaikuttavat suoraan koko radan elinkaareen. Jos esimerkiksi tiukassa kaarteessa käytetään liian vähän tai liian heikkoja kiinnikkeitä, on vaarana, että rata pääsee liikkumaan liikaa, joka taas tarkoittaa sitä, että päällysteisiin ja pohjalaattaa kohdistuu normaalia kovempia rasituksia ja koko radan elinkaari voi jopa puolittua.

9.2 Rata-alueen päällysteet

Rata-alueella voidaan käyttää hyvin monenlaisia eri päällystetyyppejä riippuen rata-alueen käyttötarkoituksesta sekä esimerkiksi vallitsevasta ilmastosta. Usein päällysteen valintaan vaikuttavat muun muassa radan tekniset rajoitukset, maisemalliset ja kaupunkikuvalliset tekijät sekä esimerkiksi pelastuslaitoksen vaatimukset.

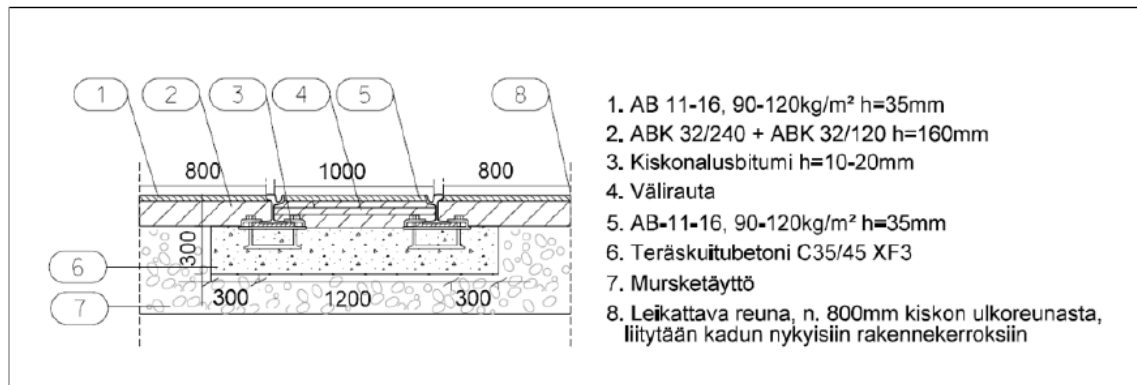
Helsingin kantaverkolla on käytössä viisi eri päällystekategoriaa, jotka on esitetty alla olevassa kuviossa 17.



Kuvio 17. Helsingin raitiotierataverkon päällystemateriaalit ja niiden prosenttiosuudet koko verkon päällysteistä (Kaupunkiliikenne Oy 2021)

Kuten yllä olevasta kuvioista käy ilmi, niin pääasialliset rata-alueen päällysteet ovat asfaltti, kiveys tai nurmikko. Kaaviossa mainittu *Street print* on kuvioitu punainen asfaltti, joten se voidaan laskea mukaan asfalttikategoriaan. Kullekin näistä päällysteistä on olemassa ja käytössä useita eri variaatioita, joita tullaan seuraavaksi käsittelemään.

9.2.1 Asfaltti



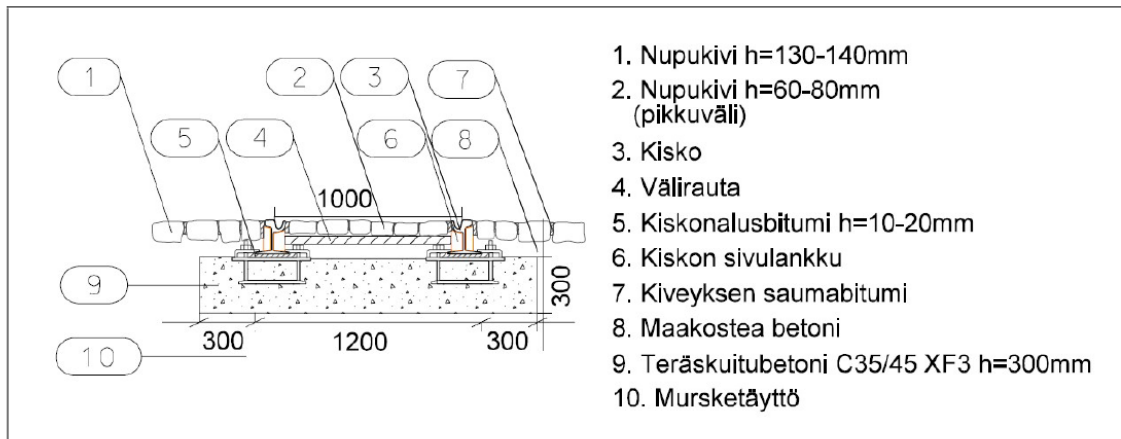
Kuvio 18. Asfalttipäällysteisen radan poikkileikkaus (Kaupunkiliikenne Oy 2018)

Rata-alueiden asfalttipäällyste muodostuu useimmiten pohja-asfaltista, joka on esitetty kuviossa 18 numerolla 2, sekä kulutuskerroksesta, joka on esitetty kuviossa 18 numerolla 1. Pohja-asfaltti on yleensä vakio riippumatta kohteen luonteesta ja kulutuskerroksen valintaan liittyy useita tekijöitä. Kulutuskerroksen valinnassa tulee huomioida kadun käyttötarkoitus, rakentamisen rajoitukset sekä päällysteen elinkaari ja kunnossapidettävyyden. Esimerkiksi sellaisilla alueilla, joissa kulkee ainoastaan raitiovaunu, voidaan käyttää hienompaa raekokoa, esimerkiksi AB11, kun taas sekaliikennekaduilla kannattaa käyttää karkeata SMA-pinnoitetta. Raitiotiekiskojen välissä käytetään usein myös valuasfalttia KBVA.

Usein asfalttipäällysteen kulutuskerrosta valitessa tehdään tiivistä yhteistyötä Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön toimialan asiantuntijoiden kanssa ja pyritään valitsemaan koko katukokonaisuutta parhaiten palvelevat asfalttityypit.

Tässä työssä tullaan tarkemmin käsittelemään tyyppiratkaisun mukaiset pohja-asfaltti ABK22 sekä ABK11-16 kulutuskerroksen asfaltti. Nämä ovat yleisimmin käytössä olevat asfalttilaadut, joten niiden käsittelyllä saadaan hyvä kuva asfalttipäällysteen hiilijalanjäljestä.

9.2.2 Kivipäällysteet



Kuvio 19. Nupukivipäällysteisen radan poikkileikkaus (Kaupunkiliikenne Oy 2018)

Useimmiten kivetty päällyste rata-alueella toteutetaan jonkinlaisella luonnonkivestä tehdyllä nupukiveyksellä (kuvio 19) tai noppakiveyksellä. Nupukiveyksen laatua ohjaa Infraryl 2019-ohje, joka määrittelee esimerkiksi kiveyksen materiaalivaatimukset, laatuvaatimuksen ja sallitut asentamisen poikkeamat. Kaupunkiliikenne Oy:lla on käytössä RYT 2018 -ohje, jossa tarkennetaan rata-alueen kiveyksiin liittyviä ohjeita.



Kuva 3. Bitumisaumattu nupukiveys Helsingin Mannerheimintieellä

Kivetyt kadun peruseriaatteet ovat hyvin samanlaisia toistensa kanssa, ainoastaan kivien koko, materiaali ja saumausten menetelmä vaihtelevat. Siksi tässä työssä otetaan tarkempaan tarkasteluun ainoastaan Helsingissä käytetty nupukivimalli (kuva 3), sillä sen periaatteet voidaan helposti ottaa käyttöön myös muissa malleissa. Helsingin nupukiveysmallissa käytetään standardin SFS 4157 määrittelemiä kivimalleja. (Helsingin kaupunki 2021)

Rata-alueen kiveyksessä käytetään 12 cm ja 14 cm korkeita kiviä ja ne asennetaan aina maakostean betoniin. Saumauksessa käytetään joko sementtiä tai bitumia. Bitumin tilalla on mahdollista käyttää myös jotain muuta elastista materiaalia. (Rakennustieto 2019)

9.2.3 Nurmipäällysteet

Raitiotien rata-alue on myös mahdollista päällystää monenlaisilla eri vihervaihtoehdoilla. Yleisin vihervaihtoehto on jonkinlainen nurmipäällyste. Nurmipäällyste on monesti hyvin hattu vaihtoehto kaupunkikuvallisesti ja usein myös kaupunkilaisten mielestä se luo viihtyisyyttä alueelle. Tiiviissä kaupunkirakenteessa on monesti hankalaa saada mahtumaan esimerkiksi puita, joiden kasvualustat eivät mahdu muun kaupunki-infran sekaan, joten nurmipäällysteinen rata-alue on monesti hyvä vaihtoehto tuoda katukuvaan lisää vehreyttä.

Helsingin kantaverkolla nurmiratoja on noin 10 % koko rataverkosta. Helsingin kantakaupungin alueella nurmiradat on toteutettu betonisella nurmikivellä (kuva 4), johtuen siitä, että Kaupunkiliikenteen kunnossapitokalusto toimii kumipyörillä, joten riittävä rata-alueen kantavuus saadaan kyseisellä betonikiveyksellä. Lisäksi pelastuslaitos haluaa käyttää rata-alueita syöksyreittinään, joten sitäkin kautta on tullut vaatimuksia riittäviin kantavuuksiin.



Kuva 4. Betonisella nurmikiveyksellä päällystetty rata-alue Helsingin Mäkelänkadulla

Betonisen nurmikiven suurin ongelma on se, että kiveyksessä multapinta-ala jää pienemmäksi kuin täydessä nurmikossa ja tämä voi aiheuttaa sen, että nurmikko ei aina menesty parhaalla mahdollisella tavalla. Lisäksi harmaa betonikivi "paistaa" nurmikon seasta ja siten vähentää päällysteen vihreyttä.

Useissa kaupungeissa onkin käytössä niin sanottuja täysnurmiratoja, joissa nurmipäällyste on kokonaan nurmikkoa ilman, että pinnassa on mitään kantavaa kiveä tai muuta kovaa rakennetta (kuva 5). Kyseinen rakenne mahdollistaa nurmikon vapaan kasvamisen ja usein johtaakin hyvin vehreään lopputulokseen. Täysnurmirakenne kuitenkin rajoittaa rata-alueen käyttöä siten, että kyseisen rakenteen alueella rata-aluetta voi käyttää ainoastaan kiskopyöräisellä kalustolla eikä pintarakenne kestä esimerkiksi kunnossapidon hoitamista kumipyöräisellä kalustolla.



Kuva 5. Raide-Jokerin juuri valmistunut täysnurmirata Helsingin Pirkkolassa

Helsingissäkin on Raide-Jokerissa rakennettu uudenlaista täysnurmirataa ja saman tyyppistä rakennetta on tarkoituksena käyttää myös muissa tulevilla isoissa hankkeissa. Vaikuttaisi siis siltä, että täysnurmirakenne tulee olemaan pääkaupunkiseudulla toinen pääasiallinen nurmipäällystemalli. Siispä tässä työssä käsitellään tarkemmin Helsingin kantaverkolla käytössä oleva nurmikivirakenne (kuva 4) ja esimerkiksi Raide-Jokerissa käytössä oleva täysnurmirakenne (kuva 5).

9.3 Pohjalaatta

Kiintoraiderakenteessa kiskojen alle rakennetaan betoninen pohjalaatta. Pohjalaatan tehtävänä on kantaa raitiotieliikenteen aiheuttamat massat yhdessä kadun tukikerroksen kanssa.

Helsingin kantaverkolla on käytössä aikaisemmin esitelty Helsinki-rakenne (kuva 2), jossa kiskojen alle valetaan aina kuitubetoninen pohjalaatta, joka on 300 mm paksu ja 1800 mm leveä. Betonin laatumääriä ohjaavat RYT sekä betoninormit ja Helsingissä kuitubetonina on käytetty tyyppilaatua C35/45 XF3.

Raide-Jokerissa kiintoraiderakenteena on käytetty puolipölkkyrakennetta, jossa betoniset ratapölkkyt valetaan betoniseen pohjalaattaan (kuva 6). Raide-Jokerissa on käytössä monenlaisia mittoja pohjalaatasta, sillä osa rataosuuksista on toteutettu yhtenäisellä suurella laatalalla ja osa erillisillä laatoilla. Erillisen laatan mitat ovat 300 mm x 2000 mm. Raide-Jokerissa pohjalaatan betonin laatu on sama kuin kantakaupungin verkolla eli Kuitubetoni ja lujuusluokka C35/45 XF3.



Kuva 6. Raide-Jokerin Ravitiellä pohjalaattaan kiinni valetut betoniset ratapölkkyt

Raide-Jokerissa ja esimerkiksi Tampereen raitiotiellä on käytetty myös monenlaisia muunlaisia pohjalaattarakenteita esimerkiksi silloilla tai muilla sellaisilla alueilla, joihin normaali pohjalaattarakenne ei mahdu tai muuten sovellu. Nämä ovat kuitenkin erityisrakenteita ja siksi tässä työssä valitaan tarkempaa selvitykseen Helsinki-mallin pohjalaatta sekä Raide-Jokerin puolipölkkyrakenne.

9.4 Radan tukikerrokset

Raitiotieradan pohjalaatan alle tarvitaan aina myös tukikerrokset. Kappaleessa 9 kuviossa 12 on esitetty kiintoraidelaatan yksinkertaistettu poikkileikkaus, jossa tukikerrokset on nimetty radan alusrakenteeksi. Tukikerrokselle onkin käytössä useita eri termejä riippuen usein siitä, että miltä kannalta kokonaisuutta katsotaan. Koska raitiotierata on usein katu-ympäristöön rakennettu, niin siksi tässä työssä käytetään termiä tukikerros, sillä se on termi, jota kadun rakentamisessa käytetään.

Kadun tukikerrokset vaihtelevat paljon esimerkiksi kadun eri kantavauusluokkien mukaan. Siksi tässä työssä tullaan käsittelemään tarkemmin ainoastaan radan alle tehtävä tyypinratkaisu.

10 Nykyisen rataifran eri osioiden hiilijalanjäljet

Tässä luvussa käydään läpi rataifran eri osioiden materiaalien hiilipäästöt nykyisten ohjeiden mukaisesti rakennettuna. Kullekin materiaalille määritellään sen menekki sekä nykyiset vaatimukset ja selvitetään materiaalien hiilidioksidiekvivalentit sopivaa määrettä kohden.

Tämän jälkeen kullekin materiaalille lasketaan sen hiilidioksidiekvivalentti yhtä raidemetriä kohti, jota voidaan myös kutsua hiilijalanjäljeksi raidemetriä kohden.

10.1 Hiilidioksidiekvivalentin määritelmä

Hiilidioksidiekvivalentti terminä tarkoittaa kasvihuonekaasujen yhteismittaa. Termi pitää sisällään siis kaikki kasvihuonepäästöt ja niiden ilmastoja lämmittävät vaikutukset (Optiwatti 2019). Hiilidioksidiekvivalentista voidaan käyttää lyhennettä CO₂e.

Hiilidioksidiekvivalentti voidaan myös suhteuttaa eri suureiden kanssa (Brander 2012). Tässä työssä tullaan käyttämään esimerkiksi termejä CO₂e/kuutiometri ja CO₂e/kg, jotta pystytään havainnollistamaan paremmin eri materiaalien ilmastokuormaa suhteessa niiden menekkiin.

Lopuksi pyritään luomaan kullekin materiaalille sopiva termi, joka kuvaa materiaalin ilmastokuormaa yhtä raidemetriä kohden. Tällä pyritään siihen, että lopuksi pystyttäisiin luomaan selkeä esitys siitä, että kuinka suuren ilmastokuorman kukin materiaaliosio aiheuttaa, kun rakennetaan yksi metri raidetta.

10.2 Betoninen pohjalaatta

10.2.1 Helsinki-rakenne

Helsinki-rakenteessa pohjalaatan betonin laatuvaatimukset on esitelty RYT 2018 -ohjeessa. Betonilaattaa valaessa käytetään erillisiä valumuotteja (kuva 7), jotka yleensä rakennetaan jätepuusta ja -vanerista. Muotit saadaan irrotettua valun jälkeen ehjinä ja ne voidaan siis käyttää uudelleen useita kertoja. Siitä syystä valumuottien vaikutukset laatan hiilijalanjälkeen ovat häviävän pienet, joten muottien osuus jätetään tässä työssä pois.



Kuva 7. Valumuottien käyttöä Helsingin Jätkäsaassa Välimerenkadulla
(Kaupunkiliikenne Oy 2018)

Jossain tapauksissa Kaupunkiliikenne Oy:n kunnossapitoyksikkö käyttää valumuotteina niin sanottua maamuottia, joka tarkoittaa sitä, että valun reunat täytetään esimerkiksi murskeella. Tämä tapa on kuitenkin huono siinä mielessä, että betonia kuluu enemmän kuin tarkoilla valumuoteilla. Lisäksi betonin menekin kontrollointi on maamuoteilla hankalampaa johtuen niiden epävarmasta kantokyvystä. Näistä syistä myös kaupunkiliikenne Oy:n on tarkoitus siirtyä kokonaan valumuottien käyttöön.

Seuraavassa luettelossa käydään läpi Helsinki-rakenteen betonisen pohjalaatan vaatimukset sekä menekki:

- Laatuvaatimus: Kuitubetoni, lujuusluokka C35/45 XF3 (lähde: RYT 2018)
- Laatan koko: leveys 1800 mm, korkeus 300 mm
- Menekki: **0,54** m³ / raidemetri = **1240** kilogrammaa / raidemetri (muunnoskerroimen lähde: <https://www.co2data.fi/>)

Eli yhden raidemetrin mittaisella raideosuudella betoniseen pohjalaataan kuluu 0,54 kuutiota ja 1240 kg kuitubetonia. Rakentamisen päästötietokannassa ei ole suoraan annettu kuitubetonille CO₂e-arvoa, sillä infrabetoneiden päästöarvoja ei ole vielä määriteltynä.

Tämä määrittely on työn alla Suomen Betoniyhdistyksellä ja kun se valmistuu, niin tulevissa laskelmissa voidaan ottaa käyttöön tarkempi arvo. (Helsingin kaupunki 2022)

Tässä työssä käytetään pohjalaatan betonille hiilidioksidiekvivalenttiarvoa **0,15 kg CO₂e /kg**, joka on rakentamisen päästötietokannassa määritelty valmisbetonille C30/37 XF1 sekä valmisbetoni C40/50, joten voidaan olettaa, että tämä arvo on lähellä oikeaa (Suomen ympäristökeskus 2022).

Kun käytetään CO₂e/kg arvoa 0,15 sekä menekkiä 1240 kg / rdm, niin saadaan pohjalaatan betonille arvoksi **186 kg CO₂e / rdm**.

10.2.2 Raide-Jokeri

Raide-Jokerin kiintoraideosiot on toteutettu niin sanotulla puolipölkkyrakenteella, jossa rata ensin kiinnitetään betoniin ratapölkkyihin ja sen jälkeen pölkkyt valetaan kiinni betoniin. Siitä syystä pohjalaatan betonin menekki koostuu siis ratapölkkyjen betonista sekä valetusta betonista.

Raide-Jokerin betoniset ratapölkkyt valmistaa suomalainen yritys Luja Betoni Oy, ne ovat 1800 mm leveitä ja niiden menekki on keskimäärin 2 pölkkyä raidemetriä kohden. Koska ratapölkkyt jäävät melkein kokonaan valetun pohjalaatan sisälle, voidaan siitä syystä ratapölkkyjen todeta kuuluvan pohjalaattaan ja yhdistää siten betonin menekki yhdeksi kokonaisuudeksi.

Valetun laatan laatuvaatimukset sekä menekki ovat:

- Laatuvaatimus: Kuitubetoni, lujuusluokka C35/45 XF3
- Laatan koko: 300 mm x 2000 mm
- Menekki: **0,6 m³ = 1425** kilogrammaa / raidemetri (Suomen ympäristökeskus 2022)

Eli yhden raidemetrin mittaisella rataosuudella betoniseen pohjalaattaan kuluu 0,6 m³ ja 1425 kg betonia. Hiilidioksidiekvivalenttina käytetään samaa arvoa kuin Helsinki-rakenteelle eli **0,15 kg CO₂e /kg**.

Kun käytetään CO₂e/kg arvoa 0,15 sekä menekkiä 1425 kg / rdm, niin saadaan pohjalaatan betonille arvoksi **214 kg CO₂e / rdm**.

10.3 Kiskot

Raideliikenteessä käytettäviä kiskoja ohjaa EN-standardit ja niissä on kiskoissa käytettävän teräksen koostumus esitetty alla olevassa taulukossa:

Alkuaine pitoisuus	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)	H (ppm)
	0.49	0.28	0.86	0.020	0.020	0.03	2.2

Taulukko 1. Kiskoteräksen materiaalikoostumus (Kaupunkiliikenne 2018)

Kiskot ovat siis terästä ja niiden menekki on raidemetriä kohden 2 metriä. Ri60R2-urakiskoprofiili painaa 60 kg metriä kohden ja Ri49E1 taas painaa 49 kg metriä kohden. Ero painossa johtuu siitä, että Ri49E1-kiskossa ei ole uraa ja Ri60R2 kiskossa on.

Kiskojen osalta terästä kuluu siis profiilista riippuen joko $2 \times 60 \text{ kg} = 120 \text{ kg}$ tai $2 \times 49 \text{ kg} = 98 \text{ kg}$ raidemetriä kohden.

Kiskoteräkselle ei ole suoraan määriteltynä $\text{CO}_2\text{e} / \text{kg}$ -arvoa, joten tässä työssä joudutaan käyttämään jotain mahdollisimman lähellä olevaa teräksen arvoa. Eräessä Kaupunkiliikenne Oy:n tilaamassa laskelmassa, jonka Sitowise Oy on toteuttanut, on kiskoteräkselle käytetty kerrointa **2,59 kg $\text{CO}_2\text{e} / \text{kg}$** . Tämä kerroin on ceequal-laskentaohjelmasta ja se perustuu kiskovalmistaja Voestalpineen toimittamiin tietoihin ja vaikuttaisi olevan lähellä myös rakentamisen päästötietokannan teräsrakenteen arvoa $3,0 \text{ kg } \text{CO}_2\text{e} / \text{kg}$ (Sitowise 2021 & Suomen ympäristökeskus 2022).

Näin ollen voidaan todeta, että ceequal-ohjelman arvo on paras saatavilla oleva arvo, joten tässä työssä tullaan käyttämään kyseistä arvoa. Kun tulevaisuudessa myös varsinaiselle kiskoteräkselle saadaan arvo, voidaan arvo helposti muuttaa tuleviin laskelmiin.

Kiskoteräkselle saadaan siis arvoksi raidemetriä kohden:

- Ri 60R2: $120 \text{ kg} \times 2,59 \text{ kg } \text{CO}_2\text{e} / \text{kg} = \mathbf{311 \text{ kg } \text{CO}_2\text{e} / \text{kg}}$
- Ri 49E1: $98 \text{ kg} \times 2,59 \text{ kg } \text{CO}_2\text{e} / \text{kg} = \mathbf{254 \text{ kg } \text{CO}_2\text{e} / \text{kg}}$

10.4 Päälysteet

Rata-alueen päälysteiden menekki vaihtelee usein, sillä rata-alueen leveys vaihtelee katu-tilassa olevan tilan mukaisesti. Joskus esimerkiksi sekaliikennekadulla rata-alueen päälysteiksi lasketaan uloimmasta kiskosta vain noin 40 cm pois päin ulottuva kaistale, jolloin rata-alueen leveydeksi tulee 4,8 m. Toimivan ja tarkoituksen mukaisen rata-alueen minimileveys on 6,4 m, jolloin kiskojen ulkopuolelle jää 1,2 m päälysteikaistaleet (Kaupunkiliikenne Oy

2021). Joskus esimerkiksi nurmirataosuuksien leveys voi olla reilusti enemmänkin johtuen esimerkiksi puukaistoista. Tässä työssä tullaan kuitenkin käyttämään päällysteiden menekin laskentaa varten tyyppiratkaisua 6,4 metriä.

Tulee huomioida, että rata-alueen leveys 6,4 metriä sisältää kaksi raidetta, joka tarkoittaa yhtä ratametriä. Yhden raidemetrin menekki saadaan siis jakamalla ratametrin menekki kahdella.

10.4.1 Asfalttipäällysteet

Asfalttipäällysteet koostuvat kahdesta eri kerroksesta, pohja-asfaltista sekä kulutuskerroksessa. Tässä esimerkissä pohja-asfalttina käytetään ABK32/240+120 ja kulutuskerroksina ABK11-16 ja KBVA. Asfalttipäällysteiden laatuvaatimukset määritelty asfalttinorminimissä ohjeessa (Pank Ry 2017).

Asfaltin yleisin menekki raidemetriä kohden on:

- Pohja-asfaltin leveys 6,4 m ja korkeus 0,16 m = 1,024 kuutiota pohja-asfalttia ratametriä kohden ja **0,51 kuutiota = 1275 kg** raidemetriä kohden (Suomen ympäristökeskus 2022)
- Kulutuskerroksen leveys 6,4 m ja korkeus 0,035 m = 0,224 kuutiota kulutuskerroksen asfalttia ratametriä kohden ja **0,112 kuutiota = 280 kg** raidemetriä kohden (Suomen ympäristökeskus 2022)

Rakentamisen päästötietokannasta löytyy kertoimet asfalteille:

- Asfalttibetoni (ABK16) **0,048 kg CO₂e / kg**
- Asfalttibetoni kantavaan kerrokseen (ABK22) **0,036 kg CO₂e / kg**

Näillä arvoilla saadaan kulutuskerroksen asfaltille arvo $280 \text{ kg} \times 0,048 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{kg} = 13,44 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{kg}$ sekä pohja-asfaltille $1275 \text{ kg} \times 0,036 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{kg} = 45,9 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{kg}$. Kun nämä arvot yhdistetään, saadaan asfalttipäällysteen kokonaisarvoksi **59,6 kg CO₂e / kg** raidemetriä kohden.

10.4.2 Betonipäällyste

Betonipäällysteitä on olemassa monenlaisia ja monesti esimerkiksi Helsingin kantaverkolla on käytetty osittaista asfalttipäällystettä ja osittain betonipäällystettä. Tässä työssä keskitytään kuitenkin koko poikkileikkauksen kattavaan betonipäällysteeseen, jollaista on käytetty esimerkiksi Raide-Jokerissa pysäkkialueilla. Tällainen on uusi ratkaisu Helsingissä, joten sen hiilijalanjäljen laskeminen on mielenkiintoista.



Kuva 8. Betonipäällyste Raide-Jokerin rakenteilla olevalla pysäkillä Pirkkolassa

Betonin menekki arvioidaan tyyppileikkauksen mukaisesti 6,4 metrin leveyden mukaisesti, vaikka pysäkkialueiden päällysteet ovatkin leveydeltään 5,5 metriä. Tämä helpottaa eri päällystemateriaalien hiilijalanjälkien suhteuttamista keskenään.

Betonin menekki lasketaan siis korkeuden 0,2 m ja leveyden 6,4 metriä mukaan, jolloin menekiksi ratametriä kohden saadaan $1,28 \text{ m}^3$. Raidemetriä kohden menekki on siis $1,28 / 2 = 0,64 \text{ m}^3$. Rakentamisen päästötietokannasta löytyvällä muunnoskertoimella $2297 \text{ kg} / \text{m}^3$ menekin painoksi saadaan 1470 kg.

Raide-Jokerin suunnitteluperusteissa on päällysteenä käytettävän betonin laaduksi määritetty harjattu betoni, jonka lujuusluokka on C35/45. Tämän lujuusluokan betonille käytetään jo edelläkin pohjalaatan kappaleessa käytettyä hiilidioksidiekvivalentin arvoa **0,15 kg CO₂e /kg**.

Näillä arvoilla betonipäällysteen hiilijalanjäljeksi muodostuu **220 kg CO₂e /kg** raidemetriä kohden.

10.4.3 Kivipäällyste

Helsingissä käytössä oleva nupukivimalli luonnonkiveä ja sen laatua ja vaatimuksia määrittelee InfraRyl 2019-ohje. Kaupunkiliikenne Oy:n ohjeessa RYT 2018 ohjeistetaan käyttämään 130-140 mm korkeita kiviä mutta yleisesti käytössä on 140 mm korkea malli.

Kivi Ry on teettänyt vuonna 2019 alkaen selvityksen, jossa on selvitetty kotimaisten luonnonkivituotteiden hiilijalanjälkeä. Selvityksen on tehnyt Bionova Oy ja lopputuotoksena on valmistuneet kotimaisten kivituotteiden eurooppalaisten standardien EN-15804 ja ISO 14025 mukaiset ympäristöselosteet (Kivi Ry 2019).

Selvityksessä kotimaiselle luonnonkivestä valmistetulle nupukivelle on määritetty hiilidioksidiekvivalenttiarvoksi **0,05 kg CO₂e / kg**. (Kivi Ry 2019). Sama arvo löytyy myös rakentamisen päästötietokannasta, joten arvoa voidaan pitää luotettavana.

Kiveyksen menekki määritellään neliömetreissä eikä siihen tehtäviä saumoja oteta huomioon pinta-alaa vähentävänä tekijänä. Kiveyksen menekki voidaan siis määrittellä olevan raidemetriä kohden 3,2 neliometriä. Ruduksen sivuilla on määritetty normaalin nupukivimallin (140 mm x 220 mm x 140 mm) painoksi 1 tn 3,2 neliometriä kohden. Tästä voidaan laskea, että yhden neliömetrin kokoinen alue painaa kivien osalta noin 313 kilogrammaa.

Raidemetrin alueelle kuluu siis nupukiveä $3,2 \times 313 \text{ kg} = 1000 \text{ kg}$. Näillä arvoilla yhden raidemetrin alue nupukiveystä muodostaa $0,05 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{kg} \times 1000 \text{ kg} = \mathbf{50 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{kg}}$.

10.4.4 Kivipäällysteen bitumisauma

Tässä työssä käytetään esimerkkinä bitumisaumattua kiveystä, sillä sen hiilijalanjälki on esimerkiksi hiekkasaumattua kiveystä korkeampi. Rata-alueen kiveys tulee saumata jollain elastisella materiaalilla, jotta kiveyksen ladonta saadaan sidottua siten, että se kestää raitiotieliikenteen aiheuttamat tärinät. Bitumi on yleisesti käytetty saumausaine mutta myös muita elastisia massoja voidaan käyttää.

Bitumille on hankala löytää yksiselitteistä hiilidioksidiekvivalenttiarvoa, mutta Joonas Karjalaisen opinnäytetyössä *Asfalttiaseman hiilijalanjälki* on Bitumin hiilidioksidiekvivalentiksi saatu Eurobitumenilta **0,174 kg CO₂e / kg** (Karjalainen 2015). Muita arvoja ei kyselyistä huolimatta ole saatu, joten työssä käytetään Eurobitumenin arvoa.

Kaupunkiliikenne Oy:n RYT 2018 -ohjeessa ohjeistetaan, että bitumisauman tulee olla vähintään 1/3 osaa kiven paksuudesta. Nupukiven yleisin korkeus on 140 mm, joten bitumisauman tulee siis olla noin 5 senttimetriä korkea ja sauman leveys on yleensä noin 12

mm. Usein saumauksessa käytetään Kerabit Oy:n tuotetta katusaumo, jolle Kerabit Oy ilmoittaa menekiksi 20 mm x 20 mm saumalle **0,52 kg/m** ja 30 mm x 30 mm saumalle **1,17 kg/m** (Kerabit Oy 2022). Raitiotiekiveyksen sauman ollessa noin 12 mm x 50 mm, riittävään tarkkuuteen päästään käyttämällä menekkiarvoa **1 kg/m**.

Yhden raidemetrin kattavan kivettyyn 3,2 m² alueeseen muodostuu noin 30 metriä saumatavaa, joten bitumin menekki voidaan laskea olevan 30 kg raidemetriä kohden.

Koska muita arvoja ei ole tällä hetkellä vielä saatavilla, niin joudutaan käyttämään Eurobitumenin hiilidioksidiekvivalenttiarvoa ja Kerabitin menekkiarviota. Kun nämä arvot yhdistetään, saadaan yhden raidemetrin alueen bitumisaumaukselle hiilijalanjäljeksi 0,174 kg CO₂e / kg x 30 kg = **5,22 kg CO₂e / kg**.

10.4.5 Kivipäällysteen maakostea betoni

Maakostea betoni on yleensä sementin ja lentotuhkan sekoitus, jossa käytetään hyvin vähän vettä (Rudus 2022). Kaupunkiliikenne Oy:n RYT 2018-ohjeessa vaaditaan nupukiveyksen alle tulevalle maakostealle betonille lujuusluokaksi K15 ja sementtiä tulee seoksessa olla 250 kg/m³, joka on noin puolet vähemmän kuin normaalissa betonissa.

Heikkinen Oy:n teettämässä hiilijalanjälkilaskelmassa todetaankin, että maakostean betonin hiilijalanjälki on noin puolet normaalista betonista. (Heikkinen Oy 2018). Pienempi hiilijalanjälki selittyy suurelta osin sementin vähemmällä määrällä ja sillä, että lentotuhka on teollisuuden sivutuote. Näin ollen voidaan maakostealle betonille riittävän tarkan arvon saamiseksi käyttää arvoa **0,075 kg CO₂e / kg**, joka on puolet lujuusluokan C40/50 valmisbetonin arvosta.

Kuten kuviosta 19 käy ilmi, niin maakostea betonia tulee pohjalaatan päälle noin 60 mm paksuinen kerros ja tästä laskettuna menekki maakostealle betonille on yhtä raidemetriä kohden 0,060 m x 3,2 m x 1 m = 0,192 m³. Maakostealle betonille voidaan käyttää samaa muuntokerrointa 2375 kg/m³ kuin normaalille betonille, joten 0,192 m³ maakosteata betonia painaa noin **456 kg**.

Kun menekki ja hiilidioksidiekvivalentti yhdistetään, saadaan maakostealle betonille hiilijalanjäljeksi raidemetriä kohden noin **34 kg CO₂e / kg**.

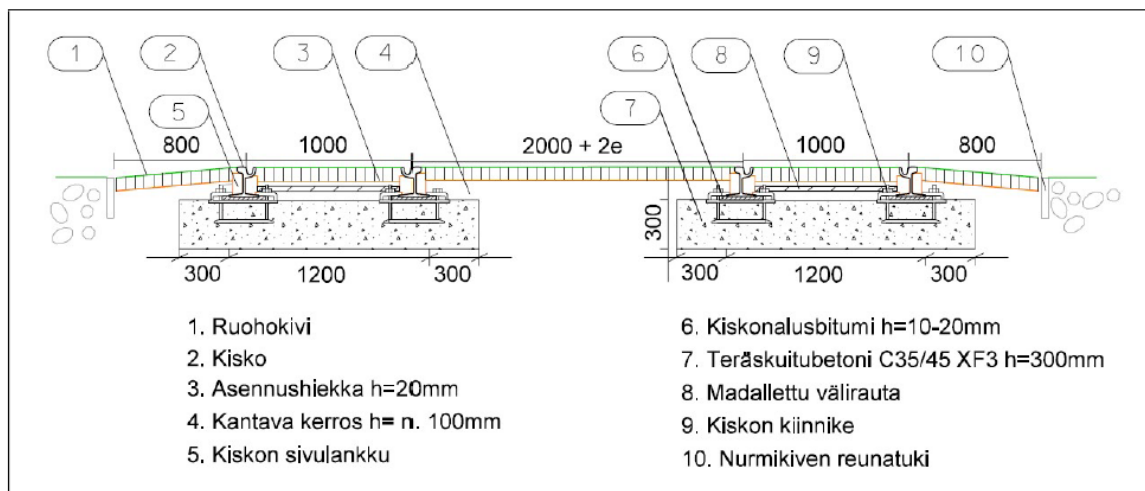
Kun luonnonkiven, bitumin ja maakostean betonin arvot yhdistetään, saadaan nupukivipäällysteelle yhdistetty arvo:

- luonnonkivi **50 kg CO₂e / kg**
- bitumisaumaus **5,22 kg CO₂e / kg**

- maakostea betoni **34 kg CO₂e / kg**
- Yhteensä noin **89 kg CO₂e / kg**

10.4.6 Betonisella nurmikivellä päällystetty rata

Kuten kappaleessa 9.2.3 mainitaan, niin hyvin usein erinäisistä syistä nurmirata joudutaan toteuttamaan kantavana, joka taas tarkoittaa sitä, että nurmikon sekaan joudutaan asentamaan jokin rakennetta jäykistävä elementti. Helsingin kantaverkolla on vuosien mittaan käytetty useita erilaisia betonisia nurmikiviä ja kehitystyön myötä tällä hetkellä on päädytty käyttämään Ruduksen valmistamaan SF-reikäkiveä (kuva 4). SF-kiven läpäisevä pinta on 31 % kiven pinta-alasta (Rudus 2022), joka tarkoittaa sitä, että tällaisella kivellä kivetty rata-alue on karkeasti sanottuna 1/3 nurmipintainen ja 2/3 betonipintainen.



Kuvio 20. Betonisella nurmikivellä päällystetyn radan poikkileikkaus (Kaupunkiliikenne Oy 2018)

SF-kiven menekki on Ruduksen mukaan 20 kpl kiviä neliötä kohden. Yhden raidemetrin alueen vaatima pinta-ala on 3,2 neliometriä, joten voidaan arvioida, että yhden raidemetrin mittaiselle alueelle menee noin 60 kappaletta.

Ruduksen mukaan neliömetrin laajuinen alue SF-kiveä painaa noin 157 kg, joten betonia kuluu yhden raidemetrin alueelle noin 500 kg. Betonin hiilidioksidiekvivalenttina voidaan käyttää samaa kuin aikaisemmin eli **0,15 kg CO₂e / kg**, näin ollen yhden raidemetrin mittaisen alueen hiilijalanjälki betonikiven osalta on noin **75 kg CO₂e / kg**.

10.4.7 Betonisen nurmikiven asennushiekan ja sepelin osuus

Betonisen kiven lisäksi päällysteeseen tarvitaan asennushiekkaa sekä kantavaan kerrokseen sepeliä poikkileikkauskuvion 20 mukaisesti. Asennushiekan menekki on noin 0,06 m³

ja sepelin 0,32 m³ raidemetriä kohden. Muunnoskerroin molemmille, sepelille sekä hiekalle on 1500 kg / m³ (Suomen ympäristökeskus 2022), joten hiekan menekki on 90 kg ja sepelin 480 kg.

Rakentamisen päästötietokannassa on sama arvo hiekalle ja sepelille 0,005 kg CO_{2e} / kg, joten asennushiekan ja sepelin osuus voidaan yhdistää ja käyttää arvoja 570 kg x 0,005 kg CO_{2e} / kg = **2,85 kg CO_{2e} / kg**.

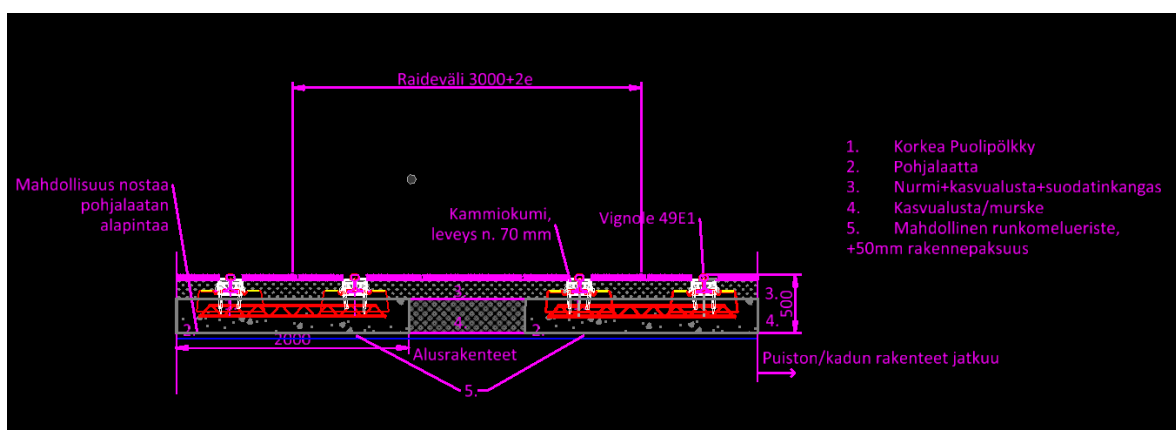
10.4.8 Nurmikivellä päällystetyn radan päällysteen yhteishiilijalanjälki

SF-kivellä päällystetty rata-alue vaatii vielä multaa kiven reikiin mutta mullan menekki on niin pientä (n. 0,1 m³ / rdm) eikä vaaditulle seokselle ole tällä hetkellä saatavilla luotettavaa hiilidioksidiekvivalenttia, joten mullan osuus jätetään laskelmasta pois ja sen sijaan pyöristetään kokonaistulosta hieman ylöspäin.

Kun betonikiven, asennushiekan ja sepelin arvot yhdistetään, saadaan nurmikiviradan päällysteen hiilijalanjäljeksi 77,85 kg CO_{2e} / kg ja tämä voidaan mullan vuoksi pyöristää arvoon **80 kg CO_{2e} / kg**.

10.5 Täysin nurmetettu päällyste

Raide-Jokerissa on käytössä hyvin monenlaisia erilaisia nurmiraideratkaisuja, joissa pintamateriaalina on pelkästään nurmikko. Tässä työssä käsitellään ensisijainen rakenne, joka on esitettyinä poikkileikkauksen muodossa kuviossa 21.



Kuvio 21. Raide-Jokerin täysnurmen poikkileikkaus (Kaupunkiliikenne Oy 2022)

Tässä rakenteessa päällyste koostuu kuvassa näkyvästä osiosta 3, joka pitää sisällään nurmikon, kasvualustan sekä suodatinkankaan. Päällyste koostuu 200 mm korkeasta multaseoksesta, jonka pitoisuudet ja seos vaihtelevat. Lopullista parhaiten toimivaa kasvualustan

seosta ei olla vielä löydetty ja se tullaankin löytämään vasta vuosien päästä, kun nähdään, että mikä seos toimii parhaiten.

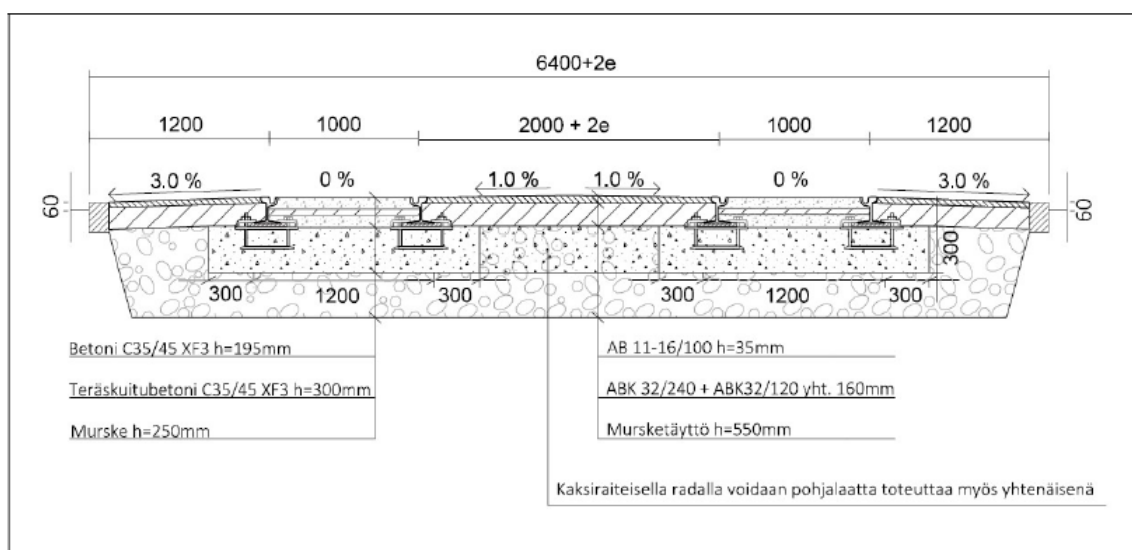
Kasvualusta tullaan siis käsittelemään multana, jonka hiilijalanjälkeä on vaikea mitenkään yleisesti määrittellä. Biolanin tekemässä selvityksessä vuonna 2010 on Biolanin multatuotteille arvioitu hiilijalanjäljeksi **0,03 – 0,1 kg CO₂e / kg** (Biolan 2010). Joudutaan siis käyttämään Biolanin haarukasta keskiarvoa, joka on noin **0,065 kg CO₂e / kg**.

Mullan menekki on $0,2 \text{ m} \times 3,2 \text{ m} = 0,64 \text{ m}^3$ ja yksi kuutio multaa painaa noin 1000 kg (Porvoon sora ja multa 2022), joten mullan menekki kiloina on noin **640 kg** raidemetriä kohden.

Näillä arvoilla täysnurmpäällysteen hiilijalanjäljeksi saadaan **41,6 kg CO₂e / kg** raidemetriä kohden.

10.6 Tukikerrokset

Kaikkien edellä mainittujen osioiden lisäksi raitinfra vaatii aina myös vaatimusten mukaiset tukikerrokset. Kuviossa 22 on esitetty esimerkki raitiotien alle tulevasta tukikerroksesta. Tukikerros on kuitenkin usein koko kadulle yhteinen ja siksi sen määrittely onkin hieman haastavaa pelkästään raitiotien osalta. Kadun tukikerroksen vaatimuksia ohjaa InfraRyl 2019 -ohje ja kantavuusvaatimukset voivat vaihdella kadun mitoituksen mukaan. Tässä työssä keskitytään siitä syystä ainoastaan raitiotien alle tehtävään tyyppiratkaisuun. Tulee huomioida, että tyyppiratkaisu ei läheskään aina ole mahdollinen tai riittävä mutta se antaa kuitenkin hyvän kuvan siitä, minkälainen hiilijalanjälki tukikerroksesta muodostuu.



Kuvio 22. Raitiotieradan rakenteellinen poikkileikkaus asfalttikadulla (Kaupunkiliikenne Oy 2018)

Kaupunkiliikenne Oy ohjeistaa radan tukikerroksen tyyppiratkaisuksi 550 mm korkean mursketäytön. Tarkemman määrittelyn murskeen raekoosta ja materiaaleista antaa InfraRyl 2019 -ohje. Tässä työssä voidaan kuitenkin käyttää yleistermiä murske, joka eroaa sepeleistä siten, että murskeen seassa on myös hienojakoista tiivistyvää materiaalia, niin sanottua nollaraekokoa. Rakentamisen päästötietokannassa murskeelle on määritelty hiilidioksidiekvivalentti 0,007 kg CO₂e / kg.

Yhden raidemetrin matkalle murskeen menekki on 3,2 m x 0,55 m x 1 m = 1,76 m³. Muunnoskerrointa 1500 kg/m³ käytettäessä saadaan painoksi 2640 kg (Suomen ympäristökeskus 2022).

Kun yllä olevat arvot yhdistetään, saadaan tukikerroksen hiilijalanjäljeksi raidemetriä kohden **18,48 kg CO₂e / kg**.

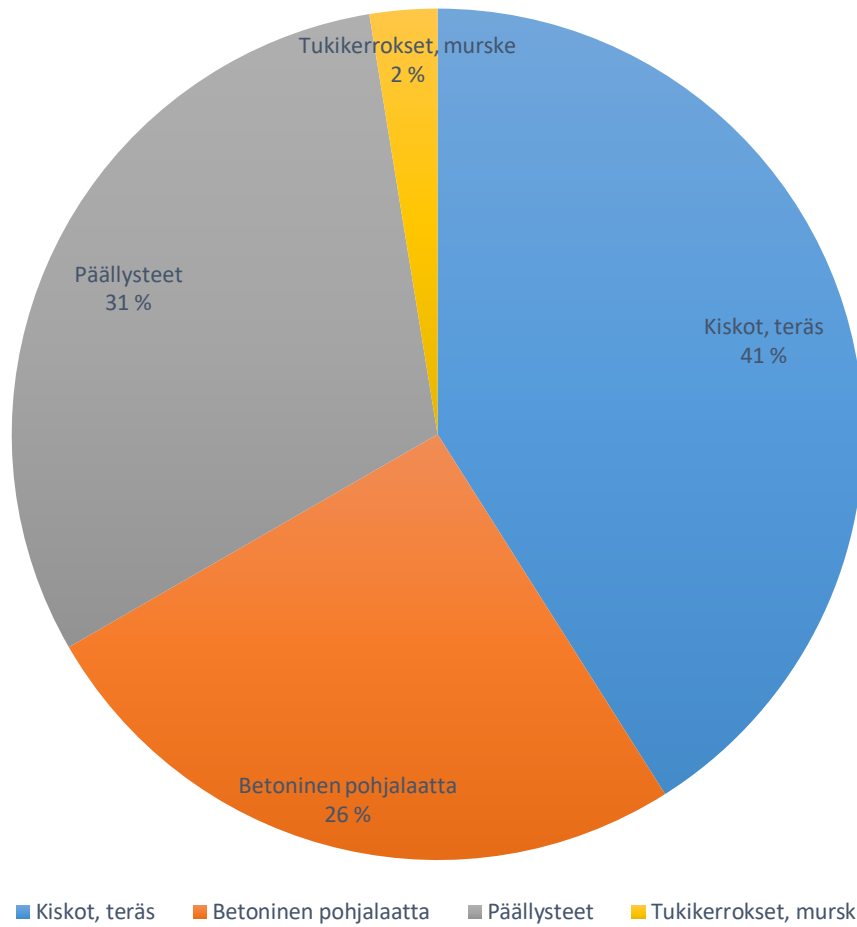
10.7 Raidemetrille muodostuva hiilijalanjälki

Aikaisemmissa kappaleissa selvitettyjen arvojen perusteella voidaan todeta, että yhden raidemetrin rakentamiseen käytettyjen materiaalien hiilijalanjäljeksi muodostuu kiskotyypistä ja päällystevalinnasta riippuen noin 500-750 kg CO₂e / kg / rdm.

Alla olevassa kuviossa 23 on esitettyinä eri osioiden osuudet hiilijalanjäljen muodostumisessa huonoimman skenaarion mukaan, jolloin kokonaishiilijalanjäljeksi muodostuu 750 kg CO₂e / kg / rdm. Selkeästi suurimmat aiheuttajat ovat kiskoteräs ja seuraavat betoninen pohjalaatta sekä päällysteet. Mielenkiintoista on myös huomata, että päällystevalinnoista riippuen, voivat päällysteet muodostaa joko noin 10 % tai jopa yli 30 % koko raidemetrin hiilijalanjäljestä.

Näillä lukemilla kilometrin mittaisen kaksiraiteisen raitiotieradan materiaalien hiilijalanjälki olisi noin **1500 t CO₂e**. Open CO₂.net -sivuston laskurin perusteella tämä vastaa noin 140:n suomalaisen henkilön vuosittaista hiilijalanjälkeä (openco2.net 2022).

Hiilijalanjälki 500 - 750 kg CO₂e / kg / rdm



Kuvio 23. Hiilijalanjäljen muodostuminen raidemetriä kohden

11 Vähähiilisemmät ratkaisut eri osuuksille

Pääasiallisiksi hiilijalanjäljen aiheuttajiksi ratarakenteessa materiaalien osalta esille nousivat kiskot, pohjalaatta sekä päällysteet. Seuraavaksi esitellään joitakin potentiaalisia vaihtoehtoisia materiaaleja, joilla voitaisiin korvata nykyiset ratkaisut ja sitä kautta pienentää raidemetrin aiheuttamaan hiilijalanjälkeä.

11.1 Kiskot ja vähähiilinen teräs

Selvästi suurin päästöjen aiheuttaja rataan osalta on teräksestä valmistetut kiskot. Kiskojen materiaalivaatimukset tulevat standardeista, joten niiden ominaisuuksiin on hyvin vaikea puuttua. Kiskojen elinkaari on nykystandardeilla hyvin pitkä, joten kiskoteräksen seokseen tai muihin sen ominaisuuksia muuttaviin toimintatapoihin ei kannattane ryhtyä.

Teräksen suurin hiilijalanjäljen aiheuttaja on sen valmistus ja siihen liittyvät äärimmäisen suuret lämpötilat. Vaikuttaisi kuitenkin siltä, että teräksen valmistukseen on löytymässä uudenlaisia menetelmiä ja SSAB Oy lupaakin, että markkinoille olisi tulossa vuonna 2026 täysin fossiilivapaata terästä (SSAB Oy 2022). Fossiilivapaan teräksen on tarkoitus olla ominaisuuksiltaan täysin vastaava kuin nykyinen teräs, joten tulevan fossiilivapaan teräksen ei pitäisi siis vaikuttaa raitiotiekiskojen ominaisuuksiin tai kunnossapidettävyyteen millään tavalla.

Lupaus vaikuttaa todella suurelta muutokselta ja sen vaikutukset ovat pelkästään jo raitiotiemaailmassa massiiviset. Jos kiskoteräksen aiheuttaman hiilijalanjäljen saa nollattua, niin koko rataan hiilijalanjälki pienenee suoraan jopa noin 50 %. Kun ottaa huomioon, että kiskojen elinkaari on jopa 50 vuotta ja senkin jälkeen jäljelle jäävä romuteräs pystytään äärimmäisen tehokkaasti kierrättämään, niin voidaan todeta, että fossiilivapaa teräs tulisi toteutuessaan olemaan raitioinfran osalta erittäin hyvä tuote.

Fossiilivapaan teräksen hinta tulee varsinkin aluksi olemaan varmasti merkittävästi korkeampi kuin tavanomaisin menetelmin tuotetun teräksen. Siksi onkin tärkeätä pystyä esittämään sillä saatavat hyödyt konkreettisesti, jotta rahoitusvaiheessa saadaan riittävät perustelut korkeammalle hinnalle. Todennäköisesti vuoteen 2026 mennessä on myös Kaupunkiliikenne Oy:n päätöksenteon osana hankkeiden hiilijalanjälki ja toivottavasti sen suhteen saadaan riittävät kannustimet luotua, jotta fossiilivapaan kiskoteräksen tilaaminen ja käyttäminen olisi mahdollista.

Koska kiskojen laatu- ja vaatimusmäärittely tulee standardien kautta, niin varsinaista spesifikaatiota fossiilivapaan teräksen käyttöön ei voida tässä vaiheessa vielä luoda. Lisäksi

kiskojen ominaisuuksien on tarkoitus pysyä samana, joten voi olla, ettei teknistä spesifikaatiota tarvitse edes päivittää vaan riittää vain, että jatkossa tehdään päätös siitä, että fossiilivapaa teräs on Kaupunkiliikenne Oy:n ratahankkeissa ensisijainen valinta.

11.2 Pohjalaatta ja vihreä betoni

Toinen suuri päästöjen aiheuttaja raitinfran osalta on betoninen pohjalaatta. Pohjalaatan vaatimukset on määritelty Kaupunkiliikenne Oy:n toimesta, ja ne perustuvat vaadittaviin kantavuuksiin sekä lujuuksiin, joten näitä arvoja ei voida ainakaan heikentää, päinvastoin uuden painavamman raitiovaunukaluston myötä niitä voidaan joutua jopa nostamaan. Betoni on materiaalina hyvinkin toimiva ja se vaikuttaisi monesti kestävänsä jopa koko kiskojen pitkän 50 vuoden elinkaaren.

Betoni on kuitenkin materiaalina kovin ilmastoa kuormittava ja se aiheuttaakin hyvin suuren osan rakentamisen päästöistä juuri betonin sideaineen sementin takia.

11.2.1 Vihreä betoni

Vihreäksi betoniksi kutsutaan vähähiilistä betonia, jonka valmistamisessa käytetään normaalia betonia ympäristöystävällisempiä materiaalivalintoja. Betonin suurin päästöjen aiheuttaja on sementti ja se aiheuttaakin noin 90 % betonin hiilijalanjäljestä (Kokkonen 2013). Vähähiilisissä betoneissa pyritään puhtaasti Portland-sementin sijaan käyttämään jotain vähähiilisempää ratkaisua, esimerkiksi masuunikuonaa tai lentotuhkaa (Härkönen 2021). Markkinoille ilmestyy myös jatkuvasti uusia tuotteita, joissa sementin tilalla käytetään uusia innovatiivisia materiaaleja. Vihreiden betonien tarkoituksena on toimia samoin kuin normaali betoni mutta ilman sementin aiheuttamaa suurta hiilikuormaa.

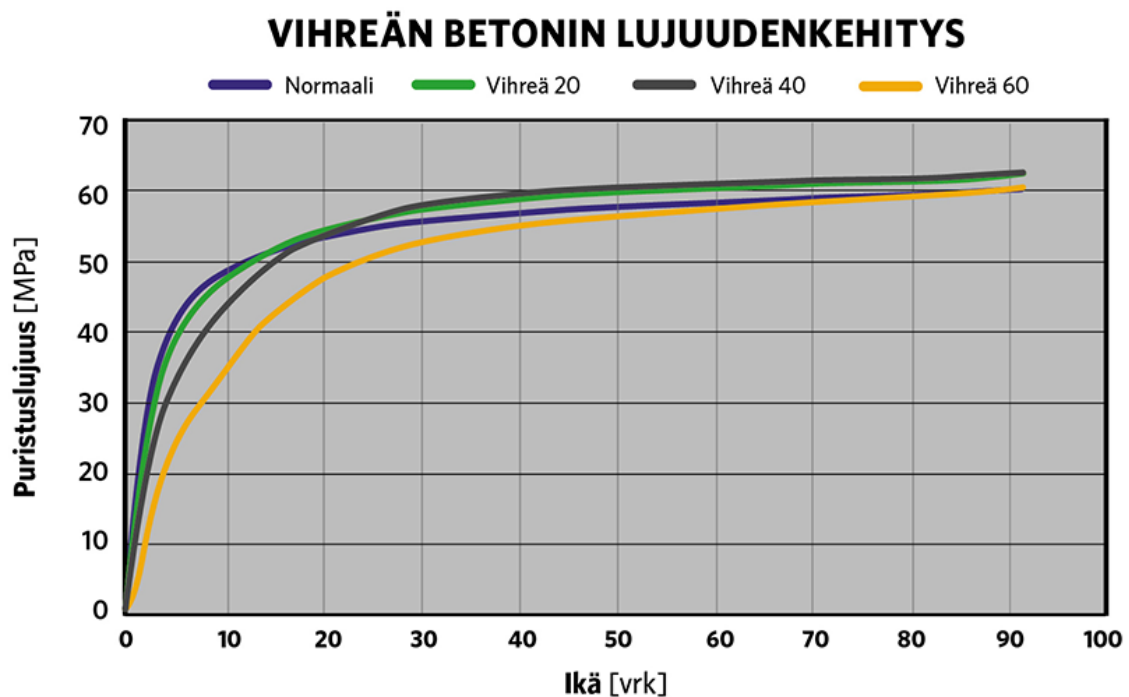
Kaupunkiliikenne Oy on teettänyt selvityksiä vihreän betonin käytöstä pohjalaatassa liittyen Ruskeasuon varikolle tulevan ratayhteyden suunnitteluun. Hankkeessa selvitettiin Sitowise Oy:n toimesta vihreän betonin käytön mahdollisia rajoituksia ja esimerkiksi sitä, että vaikuttaako vihreän betonin käyttö laatan kantavuuteen. Selvityksessä kävi ilmi, että vihreän betonin lujuus on sama kuin tavanomaisenkin betonin mutta kuivumisajoissa on jonkin verran eroja.

Ruduksen valikoimissa on tällä hetkellä neljää erilaista vaihtoehtoa vihreälle betonille:

- **Vihreä 20** – CO₂-päästö on 20 % pienempi kuin vastaavalla normaalilla betonilaadulla
- **Vihreä 40** – CO₂-päästö on 40 % pienempi kuin vastaavalla normaalilla betonilaadulla
- **Vihreä 60** – CO₂-päästö on 60 % pienempi kuin vastaavalla normaalilla betonilaadulla
- **Nopeammin kovettuva vihreä betoni** – CO₂-päästö on huomattavasti pienempi kuin vastaavalla normaalilla betonilaadulla

Kuvio 24. Ruduksen vaihtoehdot vihreälle betonille (Rudus 2022)

Vihreän betonin päästövähennyspotentialiaali on siis jopa 60 % normaaliin betoniin nähden. Kuivumisajatkin vaikuttaisivat olevan sen verran lähellä normaalia betonia (kuvio 25), että vaikuttaisi siltä, ettei ainakaan suuria esteitä vihreän betonin käytölle olisi raitiotien pohjalaatassa.



Kuvio 25. Vihreiden betonilaatujen lujuudenkehitys (Rudus 2022)

Ruskeasuon varikkoyhteyden radan rakentamisessa päädyttiinkin siihen, että vihreätä betonia voidaan käyttää raitiotien pohjalaatassa. Ongelmaksi käytölle kuitenkin muodostui se, että mitään virallisia hankintateknisiä spesifikaatioita ei ole vihreän betonille vielä olemassa ja yleisesti vihreän betonin käytön vaatimista urakkapapereissa ei oikein osata vielä tehdä, sillä kuivumisaikojen ja rakentamisen lämpötilojen ei haluta vaikuttavan kokonaisurakan

kestoon hallitsemattomasti. Ruskeasuon urakassa päädyttiin siihen, että mainintaa vihreästä betonista ei urakkapapereihin kirjata vaan ensin valitaan urakoitsija niin sanotuilla normaaleilla tavoilla, jonka jälkeen valitun urakoitsijan kanssa neuvotellaan vihreän betonin käytöstä ja pyritään yhdessä tilaajan ja urakoitsijan kanssa löytämään parhaat keinot vihreän betonin käyttämiseksi. Urakoitsijakilpailutus on parhaillaan käynnissä ja nähtäväksi siis jää, että miten tällainen menetelmä toimii käytännössä.

11.2.2 Jatkotoimenpiteet vihreän betonin käyttämiseksi

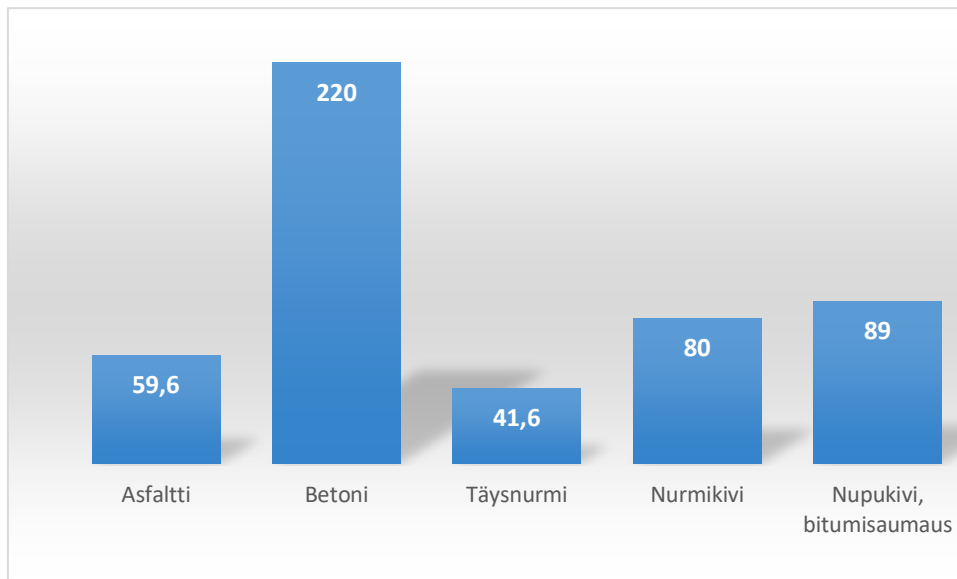
Jatkossa vihreän betonin käyttämiseksi kannattaisi hyvissä ajoin tehdä suunnitelma jo aikaisessa suunnitteluvaiheessa. Tehokasta olisi järjestää yhteinen neuvottelu useamman toimittajan kanssa ja selvittää yhdessä vihreän betonin vaikutukset pohjalaatan rakentamiseen, ja sen mahdolliset heijastavat vaikutukset koko katu-urakkaan. Alla on lueteltu ne asiat, jotka tulisi selvittää mielellään mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta vihreän betonin käytölle olisi aidot mahdollisuudet.

- Taloudelliset vaikutukset -> vaikuttaako hankkeen budjettiin?
- Kuivumisaika -> vaikuttaako hankkeen kokonaisaikatauluun?
- Saatavuus -> kuinka aikaisessa vaiheessa tulee tilata?
- Kiskonkiinnikkeiden kiinnitys -> aiheuttaako muutoksia?
- Laadun toteaminen -> miten vihreän betonin valun jälkeinen laatu tarkastetaan?

Lopputulena voidaan siis todeta, että käyttämällä vihreää betonia, voitaisiin raitiotien pohjalaatan materiaalien hiilijalanjälkeä pienentää jopa 60 %.

11.3 Vähähiilisin päällyste

Parhaaksi päällysteeksi pelkästään materiaalien hiilijalanjälkeä tarkastellessa, osoittautui täysnumipäällyste ja selvästi huonoimmaksi betonipäällyste. Päällysteitä valittaessa tulee kuitenkin miettiä asiaa myös päällysteen elinkaarta ja toiminnallisuutta silmällä pitäen. Esimerkiksi pysäkkialueelle ei kannata valita täysnumipäällystettä, sillä pysäkkeihin kohdistuvien ylläpito- ja kunnossapitotöiden vuoksi päällysteen tulee olla kantava sekä helposti puhdistettava.



Kuvio 26. Eri päällysteluokkien hiilijalanjäljet raidemetriä kohden

Vaikka täysnurmi-päällyste osoittautui selvästi matalahiilisimmäksi, voivat sen elinkaaren aikaiset tarvitsemat ylläpitotyöt nostaa koko elinkaaren hiilijalanjäljen selvästi esimerkiksi asfaltti korkeammaksi. Täysnurmi vaatii leikkausta, kastelua, lannoitusta sekä sen pinta on hyvin herkkä esimerkiksi lumitöitä ajatellen, kun taas asfaltti vaatii elinkaarensa aikana oikeastaan vain puhdistamista.

Betoninen päällyste taas vaikuttaisi olevan niin korkea hiilijalanjäljeltään, ettei oikein mikään puolla sen käyttämistä asfaltin sijasta. Molemmat ovat perusominaisuuksiltaan vastaavanlaisia ja asfaltti on elinkaareltaan jopa betonia pitkäikäisempi ja monin paikoin helpompi ja edullisempi korjata. Vaikka betonipäällysteen tekisi vihreä 60 vihreästä betonista, jäisi sen hiilijalanjälki silti asfalttia korkeammaksi.

Päällystettä valittaessa tulee kiinnittää asiaa monelta eri kantilta, tulee miettiä ensisijaisesti rata-alueen toiminnallisuutta sekä koko elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä. Lisäksi huomioon tulee ottaa kaupunkikuvalliset kysymykset ja esimerkiksi katuvihreän lisäämisen tavoitteet. Joissain tapauksissa täysnurmen suuremmat ylläpitotarpeet voivat olla täysin perusteltuja, jos katutilaan ei esimerkiksi mahdu ollenkaan puita tai muuta katuvihreää.

11.4 Tukikerroksen betonimurske

Vaikka tukikerroksen murskeen hiilijalanjälki onkin suhteellisen pieni, on murske kuitenkin neutraali materiaali, joten olisi tärkeää löytää myös sille jokin kiertotalouden periaatteita noudattava materiaali.

Betonimurske määritellään yleisellä tasolla jätteeksi, joka on murskattu jostain puretusta betonirakenteesta tai esimerkiksi betoniteollisuuden betonijätteistä. (Helsingin, Espoon ja

Vantaan kaupunki 2015) Kuten aikaisemmissa kappaleissa huomattiin, on betonilla hyvin suuri hiilijalanjälki ja siksi betonin uudelleen käyttäminen vaikuttaakin hyvin mielenkiintoiselta. LCA Consulting on selvittänyt esimerkiksi Ruduksen tarjoaman Betoroc-betonimurskeen hiilijalanjälkeä ja sen on todettu olevan materiaalien osalta itseasiassa hiilinegatiivinen (LCA consulting 2022).

Betonimurskeen käyttöä onkin tutkittu paljon ja esimerkiksi Helsingissä raitiotielinjojen alapuoliset täytöt on määritelty yhdeksi betonimurskeen mahdolliseksi käyttökohteeksi (Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupunki 2015). Myös aiheesta tehdyssä opinnäytetyössä betonimurskeen mekaanisten ominaisuuksien on oletettu sopivan hyvin sopivaksi kiintoraiderakenteen rakennekerroksissa (Linden 2017).

Ongelmana betonimurskeen käytössä on se, että kuten aikaisemmin mainittiin, vaikuttavat kadun tukikerrokset koko katuun, eivätkä ainoastaan raitiotierataan. Siksi tukikerroksen materiaalivalinnat tuleekin tehdä yhteistyössä Helsingin kaupunkiympäristön toimialan kanssa ja vielä ei ole löydetty sellaista kohdetta, jossa yhteisesti olisi hyväksytty betonimurskeen käyttöä kadun tukikerroksissa kokonaan. Kaupunkiliikenne Oy on linjannut, että radan tukikerroksissa betonimursketta voi käyttää, jos riittävät kantavuudet voidaan varmistaa.

Betonimurskeen laatuvaatimuksia on määritelty julkaisussa *Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa* (843/2017), lyhennettynä MARA. Julkaisun laatuvaatimuksissa mainitaan muun muassa, ettei betonimurske saa sisältää yli yhtä painoprosenttia vedessä kellumatonta ainesta kuten puuta, kumia tai metallia. (Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa 843/2017, Liite 1). Nykyisillä vaatimuksilla siis betonimurske voi sisältää pieniä määriä esimerkiksi metallia, joka luonnollisesti voi nostaa betonimurskeen hiilijalanjälkeä. Pitoisuuden ollessa kuitenkin korkeintaan yhden painoprosentin verran, voidaan todeta, että sen vaikutus hiilijalanjälkeen on hyvin vähäinen.

11.4.1 Jatkotoimenpiteet betonimurskeen käyttämiseksi

Jotta betonimurskeen käyttö saataisiin konkreettisesti käyntiin, tulisi esimerkiksi katu-urakoissa tilaajien linjata asiasta jo ennen suunnitteluvaiheen käynnistymistä yhteisesti ja osapuolien pitäisi pystyä sitoutumaan asiaan. Hankkeen suunnittelijoiden toimeksiantoon tulisi lisätä kohta, jossa vaaditaan betonimurskeen käytön mahdollisuuksien kartoittaminen koko katupoikkileikkauksen osalta. Jos potentiaalisia kohteita löytyy, niin ne tulisi selkeästi merkata suunnitelmiin ja sitä kautta ne saataisiin urakan kilpailutukseen mukaan.

Lopputulemana voidaan todeta, että käyttämällä betonimursketta tukikerroksessa osin tai kokonaan, voitaisiin raitiotieradan tukikerroksen materiaalien hiilijalanjälki saada jopa nol-lattua.

11.5 Vihreämpien materiaalien käytön vaikutukset raidemetrin hiilijalanjälkeen

Jos kaikki edellä mainitut vaihtoehtoiset materiaalit otettaisiin käyttöön, saataisiin raidemetrin hiilijalanjälkeä pienennettyä jo huomattavasti. Alla on laskettu optimaalisin tilanne, johon voitaisiin päästä, jos kaikki luvatut arvot toteutuisivat materiaalien osalta.

- Kiskoteräs vaihdetaan fossiilivapaaseen teräkseen: n. **300 kg CO₂e / kg -> 0 kg CO₂e / kg**
- Betoninen pohjalaatta toteutetaan vihreä 60-vihreällä betonilla: n. **190 kg CO₂e / kg -> 76 kg CO₂e / kg**
- Tukikerroksien murske vaihdetaan betonimurskeeseen: **19 kg CO₂e / kg -> 0 kg CO₂e / kg**

Näillä muutoksilla nupukivipäällysteisen raidemetrin materiaalien hiilijalanjäljen kokonaisuusmäärä olisi noin **150 kg CO₂e / kg**, joka on noin 73 % pienempi kuin oletusmateriaaleilla. Jos päällysteeksi valitsi vielä jonkin pienempipäästöisen vaihtoehdon, voisi määrää saada vielä alaspäin jopa **50 kg CO₂e / kg**.

Toki nämä luvut ovat hyvin optimistisia ja paljon kehitystyötä ja muutoksi pitää vielä tapahtua, jotta näihin lukuihin päästäisiin mutta luvut kuitenkin osoittavat, että materiaalivalinnoilla on todella suuri vaikutusmahdollisuus hiilijalanjäljen pienentämisessä.

12 Johtopäätökset ja pohdinta

Vaikuttaisi siltä, että Kaupunkiliikenne Oy:llä on aidosti hyvä mahdollisuus saattaa raitiotie-ratainfra ainakin materiaalien osalta hiilineutraaliksi vuoteen 2030 mennessä. Aikaisemmissa kappaleissa luetellut muutokset ovat niin merkittäviä ja niiden eteen myös markkinat vaikuttaisivat panostavan paljon, joten on hyvin todennäköistä, että näitä vähähiilisiä materiaaleja saadaan käyttöön pikaisellakin aikataululla.

Hilkka-ohjelman myötä myös itse Kaupunkiliikenne Oy panostaa työhön paljon, joten kunnianhimoa ja motivaatiota riittää siihen työhön, jota muutokset vaativat. Paljon työtä tulee olemaan siinä, että kaikki prosessit saadaan toimimaan siten, että vähähiiliset vaihtoehdot ovat ensisijainen vaihtoehto, huolimatta niiden mahdollisesta korkeammasta hinnasta. Uskoisin kuitenkin, että myös kaupunkilaisilta saadaan vahva tuki sille, että vähähiilisiin vaihtoehtoihin voi ja pitää panostaa myös rahallisesti.

12.1 Kompensaatiomahdollisuudet

Vaikka ratainfraan kaikki mahdolliset muutokset tehtäisiin materiaalien osalta, niin jää vielä rakentamisvaiheeseen ja elinkaaren aikaiseen kunnossapitoon paljon työvaiheita, joissa kasvihuonekaasuja muodostuu. Näiden suhteen on kuitenkin ollut jo pitkään kehitystyö käynnissä kaupungin laajuisesti ja nykyään jo melkein kaikilla Helsingin kaupungin katutyömailla vaaditaan esimerkiksi vähäpäästöisiä työkoneita. Lisäksi kunnossapitokalustoa ollaan kehittämässä sekä työohjeita päivittämässä, joten vaikuttaa vahvasti siltä, että myös näihin asioihin on parannusta tulossa.

Kuitenkin aina jäljelle jää jonkinlainen hiilijalanjälki, vaikka sitten pieni sellainen. Tärkeätä onkin siksi pitää mielessä se, että täysin päästöttömäksi Kaupunkiliikenne Oy:n laajuista toimintaa on mahdotonta saada. Kannattaakin siis kehitystyön ohessa miettiä sitä skenaariota, että miten jäljelle jäävä, toivottavasti hyvin pieni, hiilijalanjälki pystyttäisiin kompensoimaan. Kaupunkiliikenne Oy:llä ei ole vielä määriteltynä erillisiä kompensaatiokohteita tai edes keinoja kompensaatiolle mutta sellaisia on tarkoitus etsiä Hilkka-ohjelman puitteissa.

Hiilijalanjäljen kompensoiminen pelkästään rahalla voi vaikuttaa hieman ”viherpesulta”, joten kompensaatiolle kannattaisikin miettiä omassa toiminnassaan mahdollisia kohteita. Kaupunkiliikenne Oy:n kannattaisi selvittää esimerkiksi, että minkälaisena hiilinieluna nurmiradat toimivat, voisiko nurmiradan rakentaminen kivikaupunkiin toimia jonkinlaisena kompensaation tapana? Kehitteillä on parhaillaan myös viherkattoja raitiotiepysäkeille, joten kannattaisi selvittää, että minkälaisia kasveja valitsemalla saataisiin sidottua hiiltä mahdollisimman paljon pois ilmakehästä.

12.2 Kiertotalouden ja lähituotannon mahdollisuudet

Myös kiertotalouteen kannattaa jatkossakin panostaa. Kaupunkiliikenne Oy kierrättää jo nyt täysin käytöstä poistuneet kiskot kokonaan sekä käyttää luonnonkivet aina mahdollisuuksien mukaan uudestaan. Myös pysäkkien reunakivet käytetään usein uudestaan. Materiaaleja valitessa tulisikin pohtia myös sitä kysymystä, että voiko kyseisen materiaalin kierrättää tai käyttää sen sellaisenaan uudestaan jossakin toisessa kohteessa? Hyvänä esimerkkinä toimii luonnonkiven ja betonikiven käyttö. Luonnonkivi on kalliimpaa ja hitaampaa rakentaa mutta sen hiilijalanjälki on betonikiveä pienempi ja sen voi käyttää uudestaan monia kertoja, kun taas betonikivet tuppaaavat hajoamaan helpommin ja läheskään kaikkia purettuja kiviä ei voida käyttää uudestaan.

Ja vaikka itse materiaalin hiilijalanjälki olisi kuinka pieni tahansa, mutta se ostetaan jostain kaukaa ja kuljetetaan Suomeen useilla eri kuljetusmuodoilla, niin kokonaishiilijalanjälki kasvaa heti huomattavasti. Siksi olisikin tärkeätä panostaa hankintoja tehtäessä siihen, että materiaalit hankittaisiin mahdollisimman läheltä.

12.3 Loppupohdintaa

Tätä työtä tehdessä on käynyt selväksi se, että vaikka raitiotieliikenne ja joukkoliikenne kokonaisuudessaan ovat hyvin ympäristöystävällinen tapa liikkua, niin vielä paljon parempaan voidaan pystyä. On ollut silmiä avaavaa laskea ja selvittää lukuja ja menekkejä itse, jolloin asiat näyttäytyvät paljon konkreettisempina kuin jonkin toisen tekemän selvityksen kautta.

Ennen työn aloittamista tuntui siltä, että suuri syy sille, etteivät ihmiset kiinnostu hiilineutraaliustyöstä, on se, että asiat ovat liian kaukana omasta työarjesta ja ne tuntuvat siksi vaikeaselkoisilta. Tätä työtä tehdessä ajatus on vahvistunut entisestään ja koenkin, että yksi tärkeimmistä asioista on tuoda asiat esille ihmisille ymmärrettävällä tavalla.

Työssä toteutettiin Kaupunkiliikenne Oy:n käyttöön yksinkertainen excel-pohjainen laskentatyökalu, jolla voi tutkia eri materiaalien vaikutuksia esimerkiksi tulevan radan rakennushankkeen osalta hyvin karkealla tasolla. Uskoisin, että sen käyttäminen ainakin konkretisoi hiilijalanjälkeä ja ehkä jopa kannustaa tekemään vihreämpiä valintoja.

Hiilineutraalius on nykyisin esillä hyvin monissa eri kanavissa ja tuntuu, että vähän jokainen tekee jonkinlaista työtä sen eteen, että tulevaisuudessa päästötilanne olisi parempi. Välillä tuntuu, että paljon tehdään myös päällekkäistä työtä mutta tärkeintä on, että päämäärä on sama. Ainakin omassa työympäristössäni päämäärä tuntuu olevan Hiilineutraali Kaupunkiliikenne Oy ja Helsinki.

Lähteet

Bionova Oy. 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Selvitys. Viitattu 25.3.2022. Saatavissa https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D-129197.pdf/1f3642e1-5d58-8265-40c1-337deeab782d/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjaljen-huomioonottamiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D-129197.pdf?t=1603260760602

Brander, M. 2012. Greenhouse Gases, CO₂, CO₂e, and Carbon: What Do All These Terms Mean? Verkoartikkeli. Viitattu 20.4.2022. Saatavissa <https://ecometrica.com/assets/GHGs-CO2-CO2e-and-Carbon-What-Do-These-Mean-v2.1.pdf>

Gaia Consulting. 2022. Hiilineutraali Kaupunkiliikenne Oy Hilka-ohjelma. Raportti. Viitattu 1.6.2022.

Heikkinen yhtiöt Oy. 2022. Maakostea betoni – kustannustehokkaampi ja ekologisempi vaihtoehto tavanomaiselle valmisbetonille. Verkoartikkeli. Viitattu 30.4.2022. Saatavissa https://www.heikkinen.fi/upload/Heikkinen_maakostea-betoni_2018.pdf

Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupunki. 2015. Betonimurskeen hyödyntäminen infrarakentamisessa pääkaupunkiseudulla. Ohje. Viitattu 30.4.2022. Saatavissa <https://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/ohjeet/betonimurske.pdf>

Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupungit sekä Kaupunkiliikenne Oy. 2021. Raitioteiden suunnitteluohje. Suunnitteluohje. Viitattu 27.4.2022. Saatavissa <https://pikaraitiotie.fi/>

Helsingin kaupunki. 2021. Raitioteiden pintamateriaalit. Kaupunkitilaohje. Viitattu 25.3.2022. Saatavissa <https://kaupunkitilaohje.hel.fi/kortti/raitiotie/>

Helsingin kaupunki. 2022. Infrarakentamisen betonin hiilijalanjäljen vähentäminen. Esiselvitys. Viitattu 2.5.2022. Saatavissa <https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/aineistot/aineistoja-02-22.pdf>

HSL Helsingin seudun liikenne. 2019. HSL:n joukkoliikenteen asiakastyytyväisyystutkimus, syksy 2019. Helsingin seudun liikenne. Raportti. Saatavissa https://www.hsl.fi/sites/default/files/asty_syksy_2019_3_2020.pdf

Härkönen, T. 2021. Vähähiilinen betoni tulee vauhdilla. Betoni nro 4/21. Viitattu 16.5.2022. Saatavissa https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/12/BET2104_84-95.pdf

Kaupunkiliikenne Oy. 2018. Raitioteiden yleiset työselosteet, RYT 2018. Toimintaohje. Viitattu 7.5.2022.

Kerabit Oy. 2022. Kerabit Katusaumo. Verkkosivu. Viitattu 30.4.2022. Saatavissa <https://www.kerabit.fi/tuotteet/massat-ja-jalosteet/78/kerabit-katusaumo>

Kerabit Oy. 2021. Kerabit saumaussmassat. Tuote-esite. Viitattu 30.4.2022. Saatavissa <https://www.kerabit.fi/>

Kivi Ry. 2019. Kotimaisen luonnonkiven hiilijalanjälki. Verkkoartikkeli. Viitattu 2.5.2022. Saatavissa <https://kivi.info/vastuullisuus/luonnonkiven-hiilijalanjalki/>

Kokkonen, O. 2013. Vähäpäästöinen säänkestävä betoni. Savonia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 16.5.2022. Saatavissa https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/61195/Kokkonen_Olli-Pekka.pdf?sequence

Linden, T. 2017. Betonimurskeen käyttö raitiotierakentamisessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. Viitattu 30.4.2022. Saatavissa <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/25813/linden.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Mela, H. & Mäkinen, J. 2019. Joukkoliikenteellä on tärkeä rooli liikenteen päästöjen vähentämisessä. Canemure. Artikkel. Saatavissa https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/128521/Canemure_BestPractices_Joukkoliikenne_28_11_2019.pdf?sequence=1

Open2.net. 2022. CO2-muunnin. Verkkosivu. Viitattu 20.4.2022. Saatavissa <https://www.openco2.net/fi/co2-muunnin>

Optiwatti. 2019. Hiilijalanjälki – mitä siitä pitäisi tietää? Blogi. Viitattu 25.3. Saatavissa <https://www.optiwatti.fi/hiilijalanjalki-mita-siita-pitaisi-tietaa/>

Pertilä, J. 2022. Yksiraiteiset sähköraitiotielinjat, kartat. Suomen raitiotieseura Ry. Sähköinen kartta. Viitattu 16.5.2022. Saatavissa www.raitio.org

Päällystealan neuvottelukunta Ry. 2017. Asfalttinormit 2017. Pank Ry. Helsinki: Pank Ry.

Rakennustietosäätiö RTS. 2020. Noppa- ja nupukivi. Ympäristöseloste. Viitattu 2.5.2022. Saatavissa https://kivi.info/wp-content/uploads/2020/05/RTS_EPD_55_20_Noppa-ja-nupukivi_KIVI-Ry.pdf

Rudus Oy. 2022. Rudus vihreä betoni. Verkkoartikkeli. Viitattu 4.5.2022. Saatavissa <https://www.rudus.fi/tuotteet/betoni/vihrea-betoni>

Rudus Oy. 2022. Rudus vihreä betoni – luonto kiittää, betoni kestää. Verkkoartikkeli. Viitattu 4.5.2022. Saatavissa <https://www.rudus.fi/tuotteet/betoni/vihrea-betoni-luonto-kiittaa-betoni-kesta>

Rudus Oy. 2022. Maakostea betoni. Tuotekuvaus. Viitattu 30.4.2022. Saatavissa <https://www.rudus.fi/tuotteet/betoni/maakosteet-betonit/5802/maakostea-betoni>

Silvo, A., Setälä, N., Räty, L. 2017. Raitioliikenteen kehittämissuunnitelma. Helsingin kaupunki. Raportti. Saatavissa <https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisut/julkaisu-09-17.pdf>

Sitowise Oy. 2021. Nauvontien – Korppaanmäentien päästölaskenta. Raportti. Viitattu 25.3.2022.

Sitra. 2018. Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki. Verkkoartikkeli. Viitattu 8.4.2022. Saatavissa <https://www.sitra.fi/artikkelit/keskivertosuomalaisen-hiilijalanjalki/>

Sitra. 2018. Mitä nämä käsitteet tarkoittavat? Verkkoartikkeli. Viitattu 14.4.2022. Saatavissa <https://www.sitra.fi/artikkelit/mita-nama-kasitteet-tarchoittavat/>

SSAB Oy. 2022. Fossiilivapaa teräs. Verkkosivu. Viitattu 23.4.2022. Saatavissa <https://www.ssab.com/fi-fi/fossiilivapaa>

Suomen ympäristökeskus. 2022. Rakentamisen päästötietokanta. Verkkopalvelu. Viitattu 2.5.2022. Saatavissa <https://www.co2data.fi/>

Haastattelut

Toivonen, J. 2022. Laatuinsinööri. Pääkaupunkiseudun kaupunkiliikenne Oy. Haastattelu 29.4.2022.

Kyrklund, O. 2022. Projektipäällikkö. Pääkaupunkiseudun kaupunkiliikenne Oy. Haastattelu 29.4.2022.

Liite 1. Laskentatyökalun esimerkkilaskelma

	menekki, kuutiota/rdm	menekki, kg/rdm	muunnoskerroin	kg CO2e/kg	CO2e/rdm
Betoninen pohjalaatta, valmisbetoni C30/37 XFI	0,54	1240,38	2297	0,15	186,057
Urakisko Ri60R2		120		2,59	310,8
Vignolekisko Ri49E1		98		2,59	253,82
Asfaltti, pohja-asfaltti ABK 22	0,51	1275	2500	0,036	45,9
Asfaltti, kulutuskerros ABK 16	0,112	280	2500	0,048	13,44
Nupukivi, luonnonkivi		1000		0,05	50
Bitumisaumaus nupukivelle		30		0,174	5,22
Maakostea betoni	0,192	456	2375	0,075	34,2
SF-kivi		500		0,15	75
Asennushiekka + sepeli		570		0,005	2,85
Tukikerroksen h=550 mm sepeli	1,76	2640	1500	0,007	18,48
	rdm	CO2e/rdm			
Asfalttipäällysteinen rata	50	28733,85			
Nupukivipäällysteinen rata (bitumisaumattu)	50	30237,85			
Nurmirata, betonikivipäällysteinen	50	29659,35			