



**Turun raitiotien hiilikädenjälki**  
**FLOU**

# Esipuhe

Tämä hiilikädenjälkiselvitys on laadittu osana Euroopan investointipankin (EIP) Turun raitiotien asiantuntijatuken. Tavoitteena on tuottaa lisätietoa hankkeen ilmastovaikutuksista. Selvitys laadittiin syyskuun 2025 ja tammikuun 2026 välisenä aikana, ja sen lopputuotoksina syntyi kaksi raporttia:

- Perusskenaarion hiilijalanjälki -raportti (Carbon Footprint Baseline Report)
- Hiilikädenjälki -raportti (Carbon Handprint Report)

Yhdessä raportit muodostavat perustan Turun raitiotien ilmastovaikutusten arvioinnille, ja niiden tulokset on esitetty tässä suomenkielisessä raportissa. Hiilikädenjälkiraporttiin sisältyy myös perusskenaarion hiilijalanjälkiraportin tulokset.

Ohjausryhmään kuuluivat Aris Pantelias (EIP), Urszula Rzesot (EIP), Maria Granlund (Turun kaupunki), Juha Jokela (Turun kaupunki), Anna von Zweybergk (Turun kaupunki) ja Minna Tontti (Turun Raitiotie Oy). Työn toteutti FLOU Oy, josta työhön osallistuivat Taina Haapamäki, Siiri Korhonen, Celeste Nummelin, Emmi Vieira ja Touko Väänänen.

# Raportissa käytetyt termit

## **Asukaskohtaiset päästöt**

Päästöt per asukas. Huom. ei vastaa kulutusperäisiä päästöjä.

## **Hiilijalanjälki**

Hankkeen koko elinkaaren aikana tuotetut kasvihuonekaasupäästöt.

## **Hiilikädenjälki**

Kahden skenaarion hiilijalanjälkien erotus.

## **Kasvihuonekaasu**

Kaasu, joka aiheuttaa ilmaston lämpenemistä.

## **Kädenjälkiskenaario / Hankeskenaario**

Skenaario, jolle hiilikädenjälki arvioidaan. Tässä työssä kädenjälkiskenaariona toimii raitiotieskenaario.

## **Perusskenaario**

Skenaario, jonka odotetaan toteutuvan ilman hanketta. Tässä työssä perusskenaariona toimii Turun runkobussiverkosto.

## **Elinkaariarviointi (LCA)**

Hankkeen koko elinkaaren ympäristövaikutusten arviointi.

## **Päästöluokka**

Luokka, jolla kasvihuonekaasupäästöt lasketaan.

## **Absoluuttiset päästöt**

Hankkeen tai päästöluokan kokonaispäästöt, joita ei verrata toisen hankkeen tai päästöluokan päästöihin.

## **Suhteelliset päästöt**

Hankkeen (tai sen osan) päästöt verrattuna toisen hankkeen (tai sen osan) päästöihin.

## **Toiminnallinen yksikkö**

Vakiomittari, jolla vertaillaan kahden tai useamman skenaarion suuretta.

# Sisältö

Tiivistelmä.....	1
1. Johdanto .....	2
2. Työn taustaa .....	4
3. Menetelmät .....	6
3.1. Hiilikädenjälkiopas (The Carbon Handprint Guide).....	6
3.2. Työn rajaukset .....	7
3.3. Päästölaskelmat .....	11
3.3.1. Kaluston valmistus ja huolto .....	12
3.3.2. Rakennettu ympäristö.....	13
3.3.3. Liikenteen päästöt .....	15
4. Tulokset .....	19
4.1. Hiilikädenjälki .....	19
4.2. Kaluston valmistus ja huolto.....	20
4.3. Rakennettu ympäristö.....	22
4.4. Liikenteen päästöt.....	26
4.5. Tulosten vertailu EIP:n hiilijalanjälkimenetelmään .....	28
5. Herkkyys- ja lisätarkastelut.....	30
5.1. Sama väestömäärä runkobussi- ja raitiotieskenaariorissa .....	30
5.2. Sähköntuotanto päästötöntä .....	31
6. Pohdinta.....	34
7. Johtopäätökset .....	37
Lähteet.....	39
Liitteet .....	42
Liite A: Turun seudun väestökehitys liikennöintijakson aikana.....	42
Liite B: Runkobussi- ja raitiotieskenaarioriden oletukset.....	43

# Tiivistelmä

Turun kaupunki pyrkii kohti hiilineutraaliutta osana Euroopan komission Climate Neutral and Smart City (CNC) -missiota. Turun raitiotiehankkeen odotetaan tukevan tätä tavoitetta edistämällä siirtymää kestävimpiin kulkumuotoihin. Tämän työn tavoitteena on tutkia Turun raitiotien ilmastovaikutuksia kattavammin.

Tässä hiilikädenjälkiselvityksessä on arvioitu Turun raitiotien ilmastovaikutusta vertaamalla sen hiilijalanjälkeä perusskenaarioon, jossa Turun joukkoliikenne perustuu runkobussiverkostoon raitiotien sijaan. Hiilikädenjälki on raitiotieskenaarion ja runkobussiskenaarion hiilijalanjälkien erotus. Jos raitiotieskenaarion hiilikädenjälki on positiivinen, tarkoittaa se, että raitiotien hiilijalanjälki on pienempi kuin runkobussien hiilijalanjälki, mikä siis tarkoittaa, että raitiotiellä on positiivinen ilmastovaikutus runkobussivaihtoehtoon verrattuna.

Työhön on sovellettu VTT:n ja LUT-yliopiston tuottamaa hiilikädenjälkiopasta (Carbon Handprint Guide), joka pohjautuu kansainvälisiin elinkaariarvioinnin ja hiilijalanjäljen ISO-standardeihin. Lisäksi työssä on arvioitu raitiotien ilmastovaikutusta Euroopan investointipankin (EIP) hiilijalanjälkiohjeella (EIB Carbon Footprint Methodologies).

Kädenjäljen arviointi kattaa Turun seudun kunnat, mikä vastaa Turun seudun liikenne-ennusteen rajausta. Arviointijakso sijoittuu aikajaksolle 2027–2062 ja sisältää sekä rakentamista että liikennöintiä. Laskennassa käytetty toiminnallinen yksikkö on kg CO<sub>2</sub>e Turun seudun asukasta kohden.

Laskennoissa päästöt jaettiin kolmeen luokkaan: kaluston valmistamisen ja huollon päästöt, rakennetun ympäristön päästöt ja liikenteen päästöt. Kaluston sekä rakennetun ympäristön päästöt perustuvat Turun raitiotien yleissuunnitelmaan, sen liitteisiin ja Turun Raitiotieallianssin toimittamiin päivityksiin koskien valmisteilla olevaa toteutussuunnitelmaa. Liikenteen päästöt, eli henkilöautojen, raskaan liikenteen, bussien ja raitiovaunujen päästöt, mallinnettiin Turun seudun liikenne-ennustemallilla.

Arviointijakson, eli 2027–2032, hiilijalanjälki on yhteensä runkobussiskenaariossa 248,76 kg CO<sub>2</sub>e per asukas per vuosi ja raitiotieskenaariossa 248,34 kg CO<sub>2</sub>e per asukas per vuosi. Koska hiilikädenjälki määritellään perusskenaarion ja hankeskenaarion erotuksena, Turun raitiotien hiilikädenjälki on täten +0,42 kg CO<sub>2</sub>e per asukas per vuosi. Vaikka rakennetun ympäristön rakentamisen päästöt ovat raitiotieskenaariossa suuremmat kuin runkobussiskenaariossa, kaluston ja liikenteen päästöt ovat pienemmät. Näin ollen raitiotieskenaariossa syntyy vähemmän päästöjä asukasta kohden kuin runkobussiskenaariossa, ja pitkällä aikavälillä sen ilmastovaikutus on pienempi kuin runkobussien vaikutus. On tärkeää huomioida, että tämä hiilikädenjälkiselvitys on ensimmäinen laatuaan, joten tuloksia ei pysty vertaamaan samankaltaisten selvitysten tuloksiin.

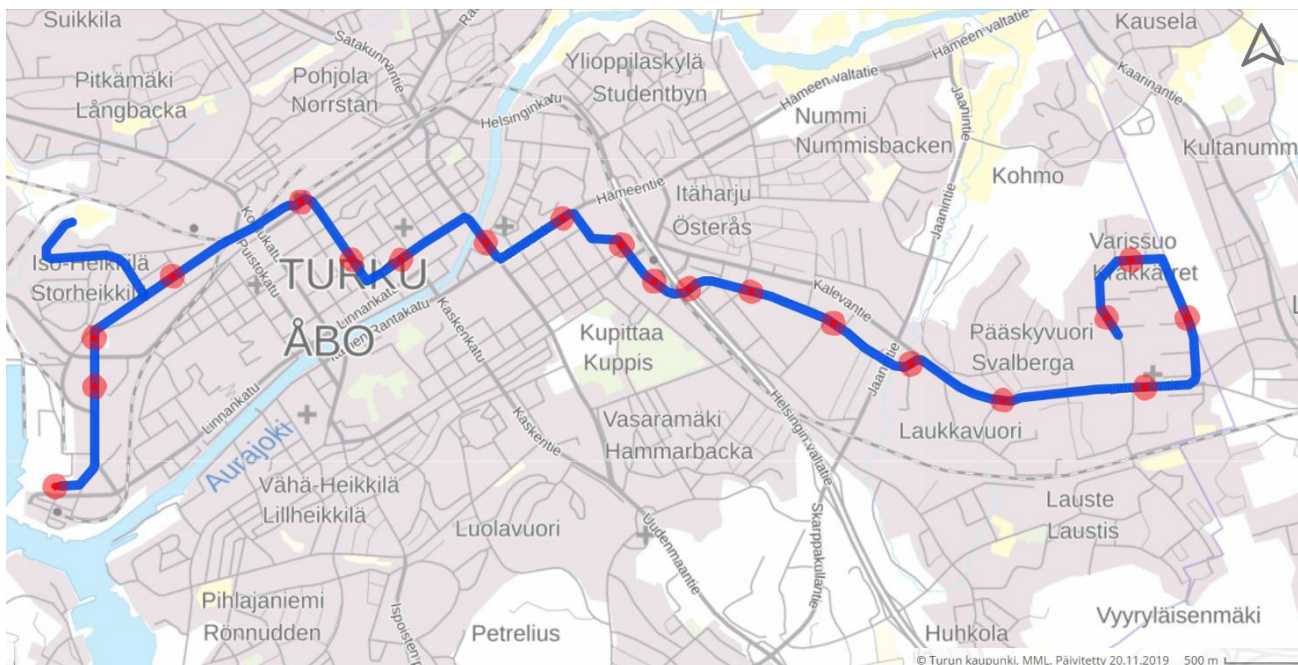
Tulosten riippuvuutta keskeisistä oletuksista arvioitiin herkkyystarkasteluin. Alkuperäisissä runkobussi- ja raitiotieskenaarioissa käytetään eri väestöennusteita, koska raitiotien myötä vaikutusalueen asukasmäärän odotetaan kasvavan. Herkkyystarkastelussa tarkasteltiin tilannetta, jossa raitiotie ei lisää väestömäärää Turun seudulla, eli raitiotieskenaariossa on käytetty runkobussiskenaarion väestömäärää. Tällöin liikenteen pienemmät päästöt eivät kompensoi rakentamisen aiheuttamia päästöjä arviointijakson aikana. Kaupunkiympäristön tiivistyminen raitiotien varrella on siis tärkeä mekanismi asukaskohtaisten päästöjen vähentämisessä. Raitiotieskenaarion liikenteen päästöt ovat kuitenkin pienempiä kuin runkobussiskenaarion myös herkkyystarkastelussa, mikä tarkoittaa, että pitkällä aikavälillä raitiotien ilmastovaikutukset ovat positiiviset runkobussiverkostoon verrattuna.

# 1. Johdanto

Liikennehankkeiden ilmastovaikutusten arviointi on tärkeä osa ilmastonmuutoksen ja sen vaikutusten hillitsemistä. Yhtenä Euroopan komission Climate Neutral and Smart City (CNC) -missioon osallistuvista 100 eurooppalaisesta kaupungista Turun kaupunki on asettanut kunnianhimoisia tavoitteita niin hiilineutraaliuden saavuttamiseksi kuin kaupungin kasvun ja kehityksen edistämiseksi. Yhtenä keinona tavoitteiden saavuttamiseksi on Turun raitiotiehanke. Raitiotien odotetaan tukevan kaupungin kestäväen kehityksen tavoitetta edistämällä kaupungin tiivistymistä sekä sen asukkaiden siirtymää kohti kestävämpiä liikumismuotoja.

Turun raitiotiehanke kulkee Turun satamasta Varissuolle keskustan ja Kupittaaan rautatieaseman kautta (ks. kuva 1). Vuonna 2022 perustettu ja Turun kaupungin omistama Turun Raitiotie Oy vastaa raitiotiehankehen kokonaiskoordinaatiosta ja organisoinnista. Raitiotiehankehen suunnittelusta ja mahdollisesta toteutuksesta vastaa Turun Raitiotieallianssi, johon kuuluvat tilaajaosapuolina Turun Raitiotie Oy sekä Turun kaupunki ja palveluntuottajina GRK Suomi Oy, NRC Group Finland Oy, Ramboll Finland Oy sekä Sweco Finland Oy. Turun raitiotien suunnittelu on tällä hetkellä loppuvaiheissa, ja mahdollinen investointipäätös sen toteuttamisesta tehdään Turun kaupungin toimesta viimeistään kesäkuussa 2026.

Tässä kädenjälkiselityksessä raitiotietä verrataan niin sanottuun perusskenaarioon eli nykykehitysskenaarioon, jossa joukkoliikenne Turun seudulla jatkuu nykyiseen tapaan nykyisellä runkobussiverkostolla. Runkobussien lisäksi Turun seutua palvelee myös tavallisten bussien verkosto, jonka oletetaan säilyvän samana sekä runkobussi- että raitiotieskenaarioissa.



Kuva 1. Turun raitiotien suunniteltu reitti.

Kädenjälkiselvityksen tavoitteena on määrittää Turun raitiotien hiilikädenjälki suhteessa runkobussiverkoston ja täten mahdollistaa raitiotien laajemman ilmastovaikutusten arvioinnin. Toisin kuin hiilijalanjälki, joka mittaa hankkeen absoluuttisia kasvihuonekaasupäästöjä, hiilikädenjälki määritetään kahden skenaarion päästöjen erotuksena, eli se on suhteellinen mittari (VTT, 2021). Käytännössä hiilikädenjälki vertaa hankeskenaarion (kädenjälkiskenaario) hiilijalanjälkeä olemassa olevaan tai vaihtoehtoiseen skenaarioon (perusskenaariorio). Tässä työssä hankeskenaariorio sisältää Turun raitiotien rakentamisen, kun taas perusskenaariorio toimii nykyinen runkobussiverkosto. Siinä missä jalanjälki keskittyy tuotettuihin kokonaispäästöihin, kädenjälki antaa tietoa hankkeen päästövähennyspotentialista verrattuna vaihtoehtoiseen tilanteeseen ja on siten tarkoitettu kannustamaan vähäpäästöisempien ratkaisujen toteuttamiseen.

Menetelmänä käytettiin VTT:n ja LUT-yliopiston kehittämää hiilikädenjälkiopasta (Carbon Handprint Guide), joka pohjautuu kansainvälisiin elinkaariarvioinnin (LCA) ja hiilijalanjäljen laskennan ISO-standardeihin. Hiilikädenjälki on verrattain uusi käsite, eikä sitä ole siksi vielä laajasti sovellettu. Tämä Turun raitiotien hiilikädenjälkiselvitys on tietääksemme ensimmäinen käynnissä oleva liikennehanke, johon on sovellettu kädenjälkiopasta.

Työssä määriteltiin ensin sekä runkobussi- (perusskenaariorio) että raitiotieskenaariorioiden hiilijalanjäljet, joiden pohjalta laskettiin raitiotien hiilikädenjälki. Päästöt jaettiin kolmeen luokkaan: kaluston valmistus ja huolto, rakennetun ympäristön rakentaminen sekä liikenne.

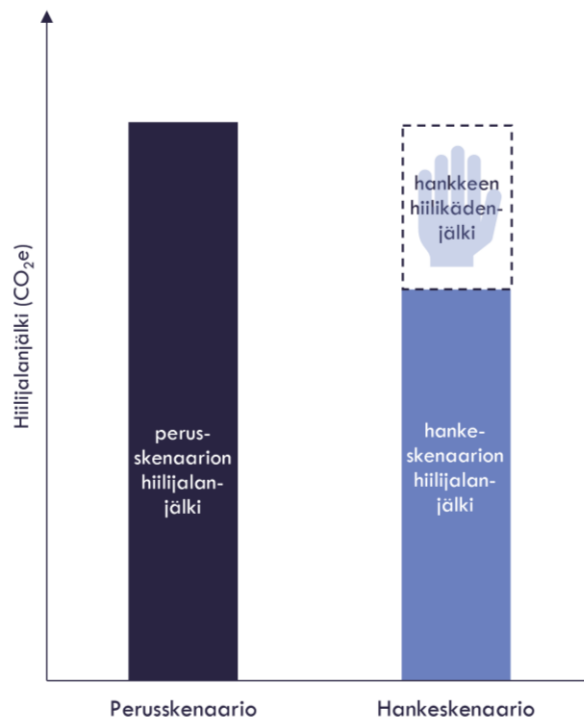
## 2. Työn taustaa

Hiilikädenjäljen käsite pohjautuu hiilijalanjälkeen, joka määritetään yleensä hankkeen kokonaispäästöinä (EIB, 2023; VTT, 2021; ISO, 2024). Joissain lähteissä määritetään hiilijalanjäljen laskentamenetelmä, kuten esimerkiksi ISO-standardeissa (ISO, 2024), jossa hiilijalanjälki perustuu tuotantojärjestelmän kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien elinkaariarviointiin. Vaikka terminä käytetään *hiilijalanjälkeä*, käsite huomioi muutkin kasvihuonekaasut kuin pelkän hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>). Kasvihuonekaasut muunnetaan lopulta hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO<sub>2</sub>e), joka on hiilijalanjälkilaskennan standardiyksikkö. Koska hiilijalanjälki arvioi tuotteen kasvihuonekaasupäästöjä, suurempi hiilijalanjälki tarkoittaa suurempaa negatiivista ympäristövaikutusta. Kuten hiilikädenjälkioppaassa todetaan (VTT, 2021), tuotteen tulisi siis pyrkiä pienimpään mahdolliseen hiilijalanjälkeen.

Kun taas hiilijalanjäljen avulla arvioidaan tuotettuja kasvihuonekaasupäästöjä ja näin ollen negatiivisia ympäristövaikutuksia, hiilikädenjäljen tarkoituksena on arvioida ”sitä hyvää, mitä teemme” (Biemer, Dixon & Blackburn, 2013) arvioimalla tuotteen tai hankkeen potentiaalia vähentää päästöjä. Siinä missä positiivinen jalanjälki merkitsee negatiivista ilmastovaikutusta, positiivinen kädenjälki merkitsee positiivista vaikutusta, koska hanke tuottaa vähemmän päästöjä kuin vertailuvaihtoehto.

Hiilikädenjäljen tarkoituksena on arvioida yhden tuotteen tai hankkeen suhteellisia vaikutuksia verrattuna toiseen (VTT, 2021), ja se lasketaan seuraavan kaavan avulla. Kädenjäljen käsite on myös havainnollistettu kuvassa 2.

$$\text{hankkeen hiilikädenjälki} = \text{perusskenaarion hiilijalanjälki} - \text{hankkeen hiilijalanjälki}$$



Kuva 2. Hankkeen hiilikädenjäljen visualisointi. Tässä kuvaajassa hankkeen hiilikädenjälki on positiivinen. ((VTT, 2021, s. 14) mukaan).

Hiilikädenjälki on suhteellinen mittari, joka riippuu verrattavista tuotteista, toisin kuin hiilijalanjälki, joka on tuotteen kasvihuonekaasupäästöjen absoluuttinen summa. Tuotteen tulisi minimoida jalanjälkeään mutta toisaalta maksimoida kädenjälkeään, sillä suurempi kädenjälki tarkoittaisi suurempaa potentiaalia positiivisiin ilmastovaikutuksiin verrattuna vaihtoehtoiseen tuotteeseen. Usein vaihtoehtoinen tuote on olemassa oleva tuote tai tilanne, jota uusi tuote korvaisi. Vaihtoehtoista tuotetta kutsutaan perusskenaarioksi (VTT, 2021). Perusskenaarion valinnalla on täten ratkaiseva rooli kädenjäljen suureen määrittämisessä.

Kädenjäljen käsite on ollut käytössä jo 2000-luvun alusta lähtien, mutta kädenjäljen arviointia ei ole standardisoitu tai yleisesti sovellettu. Kädenjäljen arviointiin liittyvää tutkimusta on tehty ainakin Yhdysvalloissa, Saksassa, ja Suomessa 2000- ja 2010-luvuilla (Guillaume ym., 2020). Suomessa hiilikädenjälkimenetelmiä on kehitetty VTT:n ja LUT-yliopiston johdolla vuodesta 2016 lähtien (VTT & LUT, 2025). Tutkimushankkeen tuloksena syntyi Hiilikädenjälkiopas (Carbon Handprint Guide) (VTT, 2018), jonka soveltamisalaa laajennettiin myöhemmin kattamaan muitakin ympäristökädenjälkiä oppaan päivitettyssä versiossa (Carbon Handprint Guide 2.0) (VTT, 2021).

Hiilikädenjälkioppaan menetelmä perustuu elinkaariarviointiin (LCA), joka huomioi sekä perusskenaarion että hankeskenaarion kasvihuonekaasupäästöt koko elinkaaren ajalta (VTT, 2021). Oppaan mukaan kasvihuonekaasupäästöt eli hiilijalanjälki lasketaan elinkaariarvioinnin ja hiilijalanjäljen ISO-standardien mukaisilla menetelmillä (ks. ISO, 2022a; ISO, 2022b; ISO, 2024).

Hiilijalanjäljen laskemiseen on olemassa muitakin menetelmiä, kuten WRI:n ja WBCSD:n laatima kasvihuonekaasuprotokolla (GHG Protocol), jonka mukaan hiilijalanjälki lasketaan eri "rajausten" (scope) mukaan: 1. rajausta kattaa suorat käytönaikaiset päästöt, 2. rajausta kattaa epäsuorat energiankulutuksen päästöt ja 3. rajausta kattaa muut epäsuorat käytönaikaiset päästöt (WBCSD & WRI, 2004). Näin ollen protokollan mukainen jalanjäljen laskentamenetelmä ei kata koko elinkaarta, johon kuuluisi myös esimerkiksi epäsuorat rakentamisen päästöt ja elinkaaren lopun purkamisen päästöt.

Jalanjälkeä on arvioitu hankkeissa jo pitkään, mutta kädenjälkiselvityksiä on tehty verrattain vähän erityisesti liikenteen ja kaupunkisuunnittelun alalla. Kädenjäljen arviointia on sovellettu enimmäkseen yksittäisiin tuotteisiin tai suppeisiin järjestelmiin, kuten uusiutuvaan dieseliin, radiotukiasemiin tai elintarvikkeen vesijalanjälkeen (Guillaume ym., 2020; Lakanen ym., 2021; Kasurinen ym., 2019). VTT:n hiilikädenjälkioppaan pohjalta on myös hiljattain kehitetty yksinkertainen viitekehys kaupunkien ja alueiden hiilikädenjäljen arvioinnin tueksi (Lakanen ym., 2022). Hiilikädenjäljen arviointia ei ole kuitenkaan vielä sovellettu laajamittaisesti liikennesektorilla.

### 3. Menetelmät

Tässä hiilikädenjälkiselvityksessä noudatetaan VTT:n ja LUT-yliopiston kehittämää hiilikädenjälkiopasta (VTT, 2021), joka valittiin kattavuuden sekä vertailukelpoisuuden vuoksi. Opas huomioi tuotteen koko elinkaaren ja määrittää vaadittavat kertoimet suoraan kyseessä olevasta projektista, mikä parantaa kädenjäljen tarkkuutta ja sovellettavuutta. Lisäksi menetelmä perustuu ISO-standardeihin, mikä edistää sen vertailukelpoisuutta tuleviin kädenjälkiselvityksiin sekä aiempiin jalanjälkiselvityksiin.

#### 3.1. Hiilikädenjälkiopas (The Carbon Handprint Guide)

VTT:n ja LUT-yliopiston kehittämässä hiilikädenjälkioppaassa on neljä vaihetta (ks. taulukko 1). Ensin määritetään kädenjäljen ulottuvuudet, toiseksi määritetään elinkaarianalyysin ulottuvuudet, kolmanneksi tehdään laskelmat ja lopuksi tuloksia analysoidaan. Ensimmäisessä ja toisessa vaiheessa määritetään laskelmien laajuus sekä perusskenaario. Näitä kuvataan tarkemmin alaosiossa 3.2 Työn rajaukset. Aineistot sekä jalanjälkien ja kädenjäljen laskelmat, jotka kattavat toisen ja kolmannen vaiheen, kuvataan alaosiossa 3.3 Päästölaskelmat. Oppaan neljättä vaihetta käsitellään koko raportissa ja erityisesti sen viimeisissä osioissa: Tulokset (luku 4), Pohdinta (luku 6) ja Johtopäätökset (luku 7).

Taulukko 1. Hiilikädenjälkioppaan mukaiset kädenjäljen arvioinnin vaiheet (VTT, 2021).

Vaihe	Vaiheessa tehdyt tehtävät
1	Kädenjäljen vaatimat ulottuvuudet
2	Elinkaarianalyysin ulottuvuudet
3	Laskelmat
4	Kommunikointi

Hiilikädenjälkiopas perustuu ISO:n kansainvälisiin hiilijalanjälkilaskentaa koskeviin standardeihin. Taulukossa 2 kuvataan tutkimuksessa käytetyt ISO-standardit ja niiden soveltaminen tähän työhön.

Taulukko 2. Kädenjälkiselvityksessä käytetyt ISO-standardit.

ISO-standardi	Soveltavuus kädenjälkiselvitykseen
ISO 14026:2017 Ympäristömerkit ja -selosteet. Jalanjälkiviestinnän periaatteet, vaatimukset ja ohjeet.	Kommunikoinnin periaatteet, joita käytetään koko kädenjälkiraportissa. (Vaiheet 1-4)
ISO 14040:2006 Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet	Elinkaariarvioinnin periaatteet, joita käytetään perusskenaarion ja hankeskenaarion määrittämiseen. (Vaiheet 1-2)
ISO 14044:2006 Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja.	Elinkaariarvioinnin ohjeet, joita käytetään elinkaariarvioinnin ulottuvuuksien määrittämiseen perusskenaariolle ja hankeskenaariolle. (Vaihe 2)
ISO 14067:2018 Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista koskevat vaatimukset ja ohjeet.	Laskelmien ohjeet, joita käytetään hiilijalanjäljen laskemiseen. (Vaihe 3)

### 3.2. Työn rajaukset

Kädenjälkiselvityksen rajaukset määriteltiin yhteistyössä Turun kaupungin ja Turun Raitiotie Oy:n kanssa, ja ne perustuvat aiemmin tehtyihin selvityksiin, kuten Turun raitiotien yleissuunnitelmaan ja liikenneennusteeseen (Turun kaupunki, 2023; Ramboll Finland, 2025). Kädenjälkiselvitys säilyttää siis rajausten osalta vertailukelpoisuuden muiden Turun raitiotiehankkeen selvitysten kanssa. Ohjausryhmän kanssa käytyjen keskustelujen perusteella päätettiin päivittää tiettyjä rajauksia, kuten arviointijaksoa, jotta rajaukset vastaisivat paremmin työn tavoitteita. Tässä osiossa kuvatut rajaukset on listattu kokonaisuudessaan Liitteessä B.

#### Perusskenaario ja hankeskenaario

Työssä määriteltiin ensin selvityksen perusskenaario sekä hankeskenaario. Hankeskenaariona toimii hanke, jonka kädenjälkeä eli mahdollisia ilmastovaikutuksia tutkitaan, kun taas perusskenaario on vertailutilanne, jonka odotetaan toteutuvan ilman hanketta (VTT, 2021). Tässä työssä hankeskenaariona toimii Turun raitiotien toteutus, ja perusskenaariona toimii Turun seudun nykyinen runkobussiverkosto.

Turun kaupunki tutkii parhaillaan superbussiverkostoa vaihtoehtona raitiotielle. Superbussiverkoston päivitettyjä laskelmia tehtiin vasta vuoden 2025 syksyllä, minkä vuoksi superbussiskenaario ei ehtinyt mukaan kädenjälkiselvitykseen. Raitiotien vertaaminen nykykehityksen mukaiseen skenaarioon vaihtoehdoisen projektin sijasta antaa tarkemman arvion itse raitiotien vaikutuksista. Tässä työssä perusskenaariona toimii siis Turun nykyinen runkobussiverkosto.

Sekä raitiotien että runkobussiverkoston osalta kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa huomioitiin koko elinkaari sisältäen sekä rakentamista että liikennöintiä. Päästöt luokiteltiin kolmeen osaan, jotka on avattu tarkemmin taulukossa 3:

- Kaluston valmistuksen ja huollon päästöt
- Rakennetun ympäristön päästöt
- Liikenteen päästöt

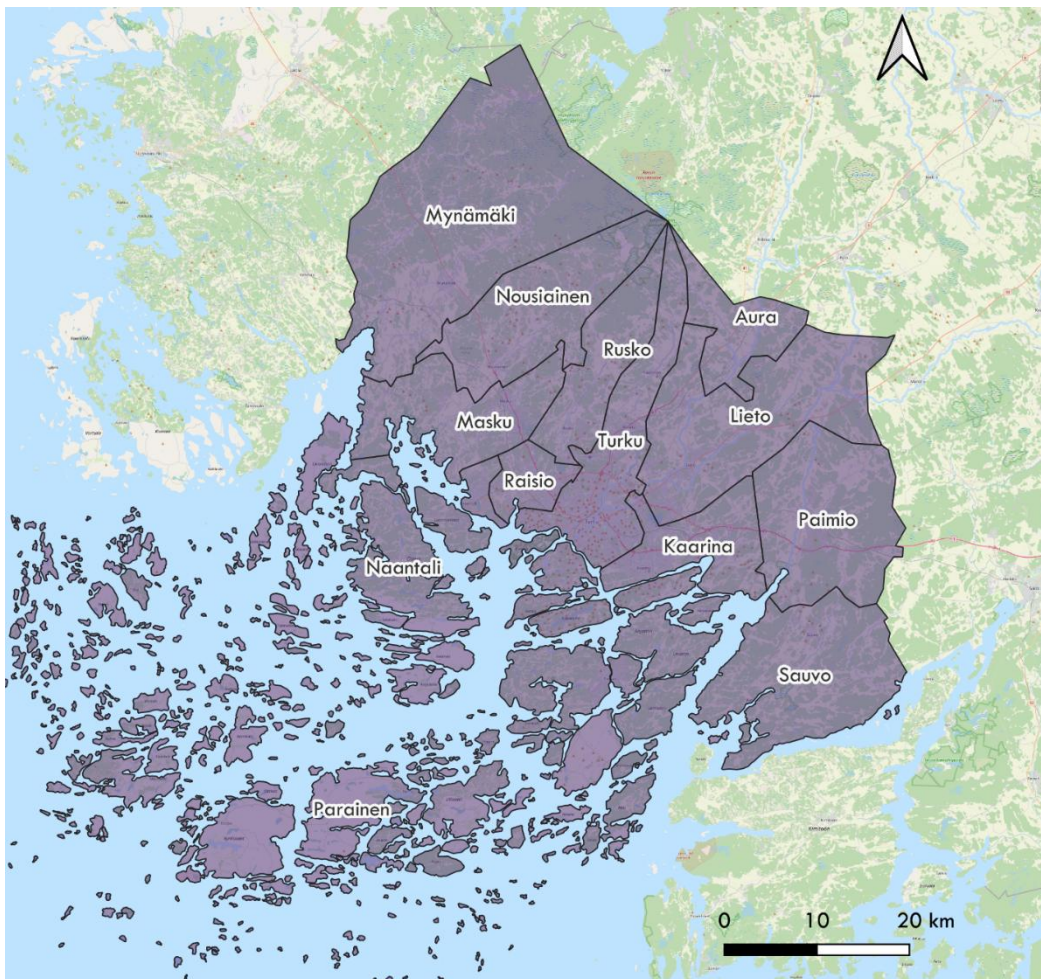
Raitiotieskenaario sisältää raitiotien infrastruktuurin rakentamisen, raitiovaunujen valmistuksen ja liikennöintijakson. Vaikka runkobussiskenaario ei sisällä raitiotien rakentamista, se sisältää useiden katujen kunnostuksen ja rakentamisen sekä uusien bussien valmistuksen ja liikennöintijakson. Liikenteen osalta molemmat skenaariot huomioivat paitsi raitiovaunujen ja bussien liikennöinnin päästöt myös muiden Turun seudun kulkumuotojen päästöt, sillä skenaariot vaikuttavat Turun seudun kulkutapaosuuksien kehitykseen eri tavoin. Sekä raitiotie että runkobussijärjestelmä on suunniteltu ylläpidettäväksi arviointijakson aikana, eikä elinkaarivaiheen lopun päästöjä ole tästä syystä sisällytetty laskelmiin.

Taulukko 3. Runkobussi- ja raitiotieskenaarioiden elinkaarivaiheet.

Päästöluokka	Elinkaarivaihe	Sisältyy runkobussi-skenaarioon	Sisältyy raitiotie-skenaarioon
<b>Kaluston valmistaminen ja huolto (raitiotiekäytävää vastaavan alueen varrella)</b>	Bussien valmistus	Kyllä	Ei
	Bussien huolto	Kyllä	Ei
	Raitiovaunujen valmistus	Ei	Kyllä
	Raitiovaunujen huolto	Ei	Kyllä
<b>Rakennetun ympäristön päästöt (raitiotiekäytävää vastaavan alueen varrella)</b>	Raaka-aineiden hankinta ja jalostus	Kyllä	Kyllä
	Kuljetukset työmaalle	Kyllä	Kyllä
	Rakentaminen	Kyllä	Kyllä
<b>Liikenteen päästöt (Turun seudulla)</b>	Henkilöautoliikenne	Kyllä	Kyllä
	Raskas liikenne	Kyllä	Kyllä
	Bussien liikennöinti	Kyllä	Kyllä
	Raitiovaunujen liikennöinti	Ei	Kyllä
	Ajoneuvojen valmistus	Ei (paitsi raitiotielinjauksen varrella liikennöivät bussit)	Ei (paitsi raitiotielinjauksen varrella liikennöivät raitiovaunut)
<b>Purkuvaiheen päästöt</b>	Purkamisen ja jätteenkäsittelyn päästöt	Ei	Ei

### Maantieteelliset ja ajalliset rajaukset

Kädenjälkiselvityksen maantieteelliseksi rajaksi määriteltiin Turun seutu (Turun, Kaarinan, Liedon, Naantalin, Raision, Auran, Maskun, Mynämäen, Nousiainen, Paimion, Paraisten, Ruskon ja Sauvon kunnat), mikä vastaa liikenne-ennustemallissa ja Turun raitiotien liikenne-ennusteessa (Ramboll Finland, 2025) käytettyä rajausta. Maantieteellinen raja on esitetty kuvassa 3. Kaluston valmistuksesta ja huollosta sekä rakennetun ympäristön rakentamisesta aiheutuvat päästöt määritetään kuitenkin raitiotiekäytävää vastaavalle alueelle eikä koko Turun seudulle. Tämä johtuu siitä, että kaluston ja rakennetun ympäristön päästöjen oletetaan olevan samat tämän käytävän ulkopuolella raitiotie- ja runkobussiskenaarioissa. Koska kädenjälkiselvityksen tavoitteena on tarkastella skenaarioiden päästöjen erotusta ja raitiotiekäytävän ulkopuolisten päästöjen erotus tulee olemaan nolla, niitä oletettu mukaan laskelmiin.



*Kuva 3. Turun seudun kunnat, jotka muodostavat kädenjälkiselvityksen maantieteellisen rajauksen.*

Kädenjälkiselvityksen ajallinen raja on ulottunut vuodesta 2027 vuoteen 2062. Arviointijakso on siis 35 vuotta, joka perustuu tämän raportin kirjoitushetkellä oleviin Turun raitiotien suunnitelmiin. Raitiotien rakentamisen on tarkoitus sijoittua vuosien 2027 ja 2032 välille, ja liikennöinnin on tarkoitus alkaa vuonna 2032 tai 2033. Tässä työssä liikennöinnin oletetaan alkavan rakentamisen jälkeen eli vuonna

2032. Jotta skenaariot pysyisivät vertailukelpoisina, runkobussiskenaariossa käytettiin samaa arviointijaksoa eli vuodesta 2027 vuoteen 2062. Runkobussiskenaarion rakentamisjaksoa ei ole kuitenkaan erikseen määritelty, vaan rakentamisen oletetaan tapahtuvan koko arviointijakson aikana, koska runkobussiskenaarion rakennetun ympäristön rakentamisen ajankohdat riippuvat Turun kaupungin ylläpitoaikatauluista eivätkä muodosta yhtenäistä rakentamisprojektia, toisin kuin raitiotie. Verratakseen rakennetun ympäristön päästöjä skenaarioiden välillä rakentamisen päästöt lisätään yhteen koko arviointijaksolta.

Liikennöintijakso on kuitenkin sama molemmissa skenaarioissa, jotta päästöt säilyisivät vertailukelpoisina. Molemmille skenaarioille määriteltiin 30 vuoden liikennöintijakso vuosien 2032 ja 2062 välillä.<sup>1</sup> Tämä liikennöintijakso ulottuu pidemmälle kuin aiemmissa selvityksissä käytetyt väestö- ja liikenne-ennusteet, sillä nämä ennusteet ulottuvat vain vuoteen 2050 asti. Tässä työssä ennusteita jatkettiin vuoteen 2062 asti, jotta saadaan parempi kuva raitiotien sekä runkobussiverkoston pitkän aikavälin vaikutuksista. Väestö- ja liikenne-ennusteita jatkettiin vuoteen 2062 asti ekstrapoloimalla ennusteet lineaarisesti vuodesta 2050 eteenpäin Turun kaupungin asiantuntija-arvion perusteella. Vuoden 2062 jälkeen epävarmuudet kasvavat, minkä vuoksi ennusteita ei jatkettu tästä vuodesta eteenpäin. Kunkin skenaarion väestökehitys liikennöinnin ajanjakson aikana on esitetty liitteessä A.

Ilmastonmuutoksen näkökulmasta raitiotien rakentamisesta seuraa kertaluonteinen päästö, joka kompensoituu pitkällä aikavälillä, kun liikenteen päästöt laskevat raitiotien vähentäessä autoliikennettä. Liikenteen päästöt vähenevät raitiotien rakentamisen seurauksena useiden mekanismien kautta. Ensinnäkin raitiotie lyhentää joukkoliikenteen matka-aikoja, mikä johtaa joukkoliikenteen kulkutapaosuuden kasvuun ja henkilöauton kulkutapaosuuden laskuun (esimerkiksi Baum-Snow & Kahn, 2000; Spears ym., 2017; Yang, 2023). Toiseksi raitiotien tuottama parempi saavutettavuus lisää asuntojen ja toimitilojen kysyntää, mikä johtaa lisärakentamiseen raitiotien reitin varrella (esimerkiksi Pogonyi ym., 2021; Ratner & Goetz, 2013). Tämä johtaa siihen, että suurempi osa turkulaisista asuu lähellä hyviä joukkoliikennedyhteyksiä, mikä lisää entisestään joukkoliikenteen osuutta alueella. Kolmanneksi kaupunkirakenteen tiivistyminen raitiovaunun reitin varrella voi lyhentää matkojen pituuksia alueella (esimerkiksi Cao & Yang, 2017; Ewing & Cervero, 2010). Tämä vähentää mekaanisesti liikenteen päästöjä sekä kannustaa kävelyn, pyöräilyn ja joukkoliikenteen käyttöön, koska niiden osuus on suurempi lyhyemmällä matkoilla.

Raitiotien rakentamisesta odotetaan siis tiivistämisvaikutuksia, kun lisää väestöä sijoittuu raitiotiekäytävän läheisyyteen. Eri väestöennusteet skenaarioiden välillä varmistavat, että nämä mekanismit otetaan huomioon. Ennusteet vastaavat Turun raitiotien liikenne-ennusteita raitiotieskenaarion ja bussiskenaarion osalta (Ramboll Finland, 2025) ja ne on esitetty liitteessä A.

### **Toiminnallinen yksikkö ja skenaarioiden määritelmien yhteenveto**

Selvityksen toiminnallinen yksikkö määriteltiin rajausten avulla. Toiminnallisella yksiköllä tarkoitetaan standardoitua mittaria, jonka avulla voidaan verrata useiden vaihtoehtojen hiilijalanjälkiä keskenään. Turun raitiotiehankkeen toiminnallinen yksikkö tulee siis määritellä siten, että sekä runkobussi- että raitiotieskenaarioiden hiilijalanjälkien laskenta ja vertailu keskenään on mahdollista, mikä puolestaan

---

<sup>1</sup> Laskelmissa käytettiin laskentajaksona 2030–2060, joka vastaa liikennöinnin jaksoa 2032–2062. Ero vuosiluvuissa liittyy siihen, että selvityksessä on hyödynnetty muita raitiotien selvityksiä varten laadittuja liikenne-ennusteita, joissa ennustetarkastelu alkaa vuodesta 2030.

edellyttää yhteisten rajausten tunnistamista. Maantieteellisten ja ajallisten rajausten perusteella toiminnalliseksi yksiköksi määriteltiin kg CO<sub>2e</sub> per Turun seudun asukas arviointijaksolla 2027–2062.

Taulukossa 4 esitetään yhteenveto runkobussi- ja raitiotieskenaarioista ja niiden rajauksista. Skenaarioiden oletukset on avattu laajemmin liitteessä B.

Taulukko 4. Yhteenveto runkobussi- ja raitiotieskenaarioista.

	Runkobussiskenaario (perusskenaario)	Raitiotieskenaario (hankeskenaario)
Skenaariokuvaus	Turun joukkoliikenne koostuu runkobussi- ja bussiverkostosta. Raitiotiekäytävää vastaavalla alueella liikennöi 21 runkobussia (+ 3 vararunkobussia). Raitiotiekäytävän ulkopuolella joukkoliikenneverkoston oletetaan olevan sama kuin raitiotieskenaariossa.	Turun joukkoliikenne koostuu raitiotiestä ja busseista. Raitiotiekäytävää pitkin liikennöi 12 raitiovaunua (+ 2 vararaitiovaunua). Raitiotiekäytävän ulkopuolista aluetta palvelee bussit, ja tämän joukkoliikenneverkoston oletetaan olevan sama kuin runkobussiskenaariossa.
Väestöennusteet	Väestöennuste noudattaa liitteessä A kuvattua väestönkehitystä. Väestömäärä on pienempi kuin raitiotieskenaariossa.	Väestöennuste noudattaa liitteessä A kuvattua väestönkehitystä. Väestömäärä on suurempi kuin runkobussiskenaariossa.
Maantieteellinen rajaus*	Turun seutu (kunnat: Turku, Kaarina, Lieto, Naantali, Raisio, Aura, Masku, Mynämäki, Nousiainen, Paimio, Parainen, Rusko, and Sauvo)	Turun seutu (kunnat: Turku, Kaarina, Lieto, Naantali, Raisio, Aura, Masku, Mynämäki, Nousiainen, Paimio, Parainen, Rusko, and Sauvo)
Ajallinen rajaus (arviointijakso)	Arviointijakso 2027–2062. Rakentamisen päästöt arvioidaan koko arviointijakson ajalta. Liikennöinti alkaa vuonna 2032 ja sitä arvioidaan vuoteen 2062 asti.	Arviointijakso 2027–2062. Rakentaminen vuosien 2027 ja 2032 välillä. Liikennöinti alkaa vuonna 2032 ja sitä arvioidaan vuoteen 2062 asti.

\* Kaluston ja rakennetun ympäristön päästöt lasketaan raitiotiekäytävää vastaavalle maantieteelliselle alueelle, koska raitiotiekäytävän ulkopuolisten kaluston ja rakennetun ympäristön päästöjen oletetaan olevan samat molemmissa skenaarioissa.

### 3.3. Päästölaskelmat

Turun raitiotien hiilikädenjäljen määrittämiseksi laskettiin runkobussiskenaariota ja raitiotieskenaariota hiilijalanjäljet. Hiilijalanjäljen arviointia koskevien standardien mukaan (ks. taulukko 2) tämä tarkoittaa molempien skenaarioiden kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien määrittämistä elinkaarivaiheiden osalta (ks. taulukko 3) käyttäen edellisessä osiossa kuvattuja rajauksia.

Laskelmissa käytetyt aineistot koostuivat Turun raitiotien yleissuunnitelmasta (Turun kaupunki, 2023), yleissuunnitelman liitteistä (WSP Finland, 2022a-e) sekä Turun seudun liikenne-ennustemallista, joka oli perustana Turun seudun liikenne-ennusteelle (Ramboll Finland, 2025). Turun kaupungin yksiköt toimittivat

rakennetun ympäristön aineistot. Selvityksen aikana rakennetun ympäristön laskelmia päivitettiin tulevaa toteutussuunnitelmaa varten, ja näitä päivitettyjä laskelmia hyödynnettiin molempien skenaarioiden hiilijalanjälkilaskelmissa. Itse toteutussuunnitelma ei ollut vielä valmistunut tätä selvitystä tehdessä.

Turun Raitiotieallianssin toimittaman materiaalin lisäksi selvityksessä käytettiin muiden tahojen aineistoa, kuten kansainvälisen ympäristötuoteselostejärjestelmän (EPD), Liikenne- ja viestintävirasto Traficom, Valtioneuvoston kanslian ja ajoneuvovalmistajien materiaalia.

Elinkaarivaiheiden ja kerätyn aineiston perusteella päästölaskelmat jaettiin kolmeen päästöluokkaan:

- Kaluston valmistus ja huolto
- Rakennettu ympäristö
- Liikenteen päästöt

### **3.3.1. Kaluston valmistus ja huolto**

Kaluston päästöt aiheutuvat sekä sen valmistuksesta että jatkuvasta huollosta. Nämä päästöt määritettiin raitiotiekäytävällä liikennöivälle kalustolle, joka runkobussiskenaariossa koostuu busseista ja raitiotieskenaariossa koostuu raitiovaunuista. Raitiotiekäytävän ulkopuolella joukkoliikenneverkon oletetaan pysyvän muuttumattomana molemmissa skenaarioissa, minkä vuoksi sen kalustoa ei sisällytetä laskelmiin (ks. Liite B tarkemmista oletuksista). Turun kaupunki toimitti kaluston määrät ja elinkaaret, kun taas kaluston tekniset tiedot koottiin kunkin ajoneuvon ympäristötuoteselosteesta (EPD).

Runkobussiskenaariossa käytössä oleva bussityyppi on sähköbussi B15E01 eBus (ks. (IES, 2023)), joka vastaa tällä hetkellä Turussa käytössä olevaa kalustoa. Runkobussiskenaariossa raitiotiekäytävällä liikennöivien bussien lukumäärä perustuu Turun kaupungin ja Turun seudun joukkoliikenne FÖLL:n toimittamiin tietoihin. Runkobussiskenaariossa käytössä on 21 bussia ja 3 varabussia, eli yhteensä 24 ajoneuvoa. Bussien käytönaikaiseksi elinkaareksi oletettiin 20 vuotta perustuen Turun kaupungin asiantuntija-arvioihin.

Raitiotieskenaariossa raitiotiekäytävällä liikennöivä kalusto koostuu raitiovaunuista. Laskelmissa käytetty raitiovaunutyyppe on Flexity M33 -raitiovaunu, joka vastaa parhaiten Turun raitiotielle suunniteltua raitiovaunua Turun Raitiotieallianssin kalustoasiantuntijan mukaan. Raitiovaunuja on suunnitteilla 12 kpl sekä 2 varavaunua. Turun kaupunki on arvioinut raitiovaunujen käyttöikäksi 40 vuotta.

Kaluston valmistuspäästöjen laskemiseen käytettiin Turun kaupungin toimittamia kalustomääriä ja -käytönaikaisia elinkaaria sekä EPD-raporttien teknisiä ominaisuuksia. Sekä bussien että raitiovaunujen oletetaan valmistuvat ennen liikennöinnin alkamista vuonna 2032. Koska bussien arvioitu käyttöikä on 20 vuotta, bussikalusto uusitaan kerran liikennöintijakson aikana. Raitiovaunujen käyttöikä on 40 vuotta, eikä niitä siksi tarvitse uusia liikennöintijaksolla.

Sekä bussien että raitiovaunujen huoltopäästöt vastaavat ympäristötuoteselosteissa (IES, 2023; IES, 2022) raportoituja alavirran päästöjä. Nämä päästöt toistuvat vuosittain koko liikennöintijakson aikana.

Taulukossa 5 on esitetty yhteenveto runkobussi- ja raitiotieskenaarioiden kalustojen tiedoista.

Taulukko 5. Kalustotiedot ajoneuvoille, jotka liikennöivät raitiotiekäytävän alueella.

Kalustotyyppi	Skenaario	Kalustomäärä	Ajoneuvon kapasiteetti	Arvioitu käyttöikä	Vuosittaiset ajoneuvokohtaiset huoltopäästöt
Sähköbussi (B15E01 eBus)	Runkobussi-skenaario	24 bussia (21 + 3 varabussia)	90 matkustajaa	20 vuotta	122,4 kg CO <sub>2</sub> e /ajoneuvo
Raitiovaunu (Flexity Tram)	Raitiotie-skenaario	14 (12 + 2 vararaitiovaunua)	220 matkustajaa	40 vuotta	1870 kg CO <sub>2</sub> e / ajoneuvo

### 3.3.2. Rakennettu ympäristö

Rakennetun ympäristön rakentamiseen liittyvien päästöjen arviointi perustuu Turun Raitiotie Oy:n toimittamaan raitiotien päästölaskelmaan. Arviointiin sisältyivät kaikki raitiotien infrastruktuurihankkeisiin tyypillisesti liittyvät tärkeimmät tekniset kategoriat, kuten maa- ja pohjarakentaminen, kunnallistekniikka ja siirrot, katu- ja katu ympäristö, sillat ja taitorakenteet, raitiotien päällysrakenne, pilaantuneet maat sekä varikkorakennuksen paalulaatta. Rakennetun ympäristön rakentamiseen liittyvät päästöt laskettiin eurooppalaisten standardien EN 15978 ja EN 15804 mukaisesti elinkaaren vaiheille A1–A3 (raaka-aineiden hankinta ja käsittely), A4 (materiaalien kuljetus työmaalle) ja A5 (rakennetun ympäristön rakentaminen). Laskelmat sisälsivät vain raitiotien reitin varrella sijaitsevat rakennustoiminnot, ja niitä käytettiin kokonaisuudessaan raitiotieskenaarion päästöarvioinnissa.

Runkobussiskenaariossa rakennetun ympäristön rakentamisen päästöt oletettiin johtuvan johtosiirroista, päällysrakenteesta ja silloista. Nämä kolme komponenttia valittiin Turun kaupungin kunnossapitoyksikön asiantuntijalausuntojen perusteella. Turun Raitiotien päästöarvioinnista johdettuja päästöyksiköitä käytettiin laskelmissa skenaarioiden vertailukelpoisuuden varmistamiseksi. Koska lähtötilanteen laskenta perustuu Turun Raitiotien uudisrakentamisen päästöarvioon, otettiin huomioon vain rakentamiseen liittyvät päästöt katujen, siltojen ja johtosiirtojen osalta, jotka sisältyvät myös raitiotieskenaarioon. Tiedot raitiotien tai runkobussireitin varrella olevien katujen, siltojen ja putkistojen elinkaaren vaiheesta saatiin Turun kaupungin ja Turun Raitiotieallianssin asiantuntijoilta. Säännöllisiä päällysteiden uusimisia ei otettu mukaan laskelmiin, koska niitä ei otettu huomioon raitiotieskenaariossa raitiotien rakentamiseen liittyvien uusimisten lisäksi. Oletuksena oli, että katurakenteet uusittaisiin vain, jos johtoja ja putkia uusitaan arviointijakson (2032–2062) aikana.

Luettelo johtosiirtojen ja putkien elinkaarista ja elinkaarivaiheista raitiotien reitillä toimitettiin Turun kaupungin, Turun Vesihuolto Oy:n ja Oy Turun Energian toimesta. Perusskenaarion päästölaskelmissa otettiin huomioon vain arviointijaksolle (2032–2062) suunnitellut kunnallistekniset uusimiset. Tiettyjen putkien elinkaarivaiheita verrattiin niiden käyttöikäihin, jotta yhdenmukaisuus määrätyn arviointijakson kanssa varmistuisi. Kunnallistekniikan uusimisen päästöt johdettiin raitiotien päästölaskelmista. Puuttuvat putkitiedot arvioitiin vertailtaviiin johtosiirto- ja putkitietoihin, jotka Turun Raitiotieallianssi toimitti.

Päällysteet oletettiin uusittavan vain, jos johtosiirtoja tai kunnallisteknisiä uusimisia oli suunnitteilla arviointijakson aikana. Katupituudet ja leveydet haettiin Turun Raitiotieallianssin katusuunnitelmista (Turun Raitiotieallianssi, 2025). Uusimistarpeessa olevien katujen päällystemateriaalin oletettiin olevan

asfaltti. Turun kaupungin kunnossapidon asiantuntijat tunnistivat yhden kadun, Joukahaisenkadun, joka tarvitsee päällysteen uusimisen, vaikka sen ei odotettu vaativan kunnallistekniikan uusimista laskentajakson aikana. Kyseiselle kadulle oletettiin katupäällysteen uusiminen runkobussiskenaariossa. Tälle poikkeukselliselle kadulle käytettiin Turun Raitiotieallianssin toimittamaa kivipäällystespesifikaatiota katujen uusimisen tarkan arvioinnin varmistamiseksi. Kiveysten käytöstä aiheutuvat päästöt johdettiin raitiotien päästölaskelmista ja muu materiaali kiveysten lisäksi oletettiin olevan asfaltti.

Neljän sillan (Tuomionkirkkosilta ja kolme alikulkusiltaa, jotka raitiotien päästölaskelmissa tunnistettiin S3:ksi, S9:ksi, S10:ksi ja S11:ksi) arvioitiin olevan käyttöikänsä lopussa arviointijakson aikana. Siksi ne suunniteltiin täysin uudelleenrakennettavaksi huolimatta siitä, että runkobussiskenaariossa ei rakenneta raitiotietä. Tämä tehtiin Turun Raitiotieallianssin ohjeiden mukaisesti. Tuomionkirkkosillan (S3) peruskorjauspäästöt runkobussiskenaariossa johdettiin suoraan raitiotien päästölaskelmista, koska silta oli myös suunniteltu peruskorjattavaksi raitiotieskenaariossa. Alikulkusillat S9–S11 oli suunniteltu purettaviksi raitiotielaskelmissa, joten purkuun liittyvät päästöt saatiin raitiotien päästölaskelmista. Alikulkusillan S9–S11 uudelleenrakentamisen päästöt arvioitiin sillan S8 purku- ja jälleenrakennustietojen perusteella, joka antoi edustavan kuvan yhden sillan jälleenrakennuksen päästöistä. Näitä arvoja sovellettiin alikulkusillan S9–S11 jälleenrakennuslaskelmiin. Sillan S8 osalta suoritettiin ristiviittaustarkastus sen varmistamiseksi, että alikulkusillat S9–S11 olivat vertailukelpoista tyyppiä ja että raitiotielaskelmissa käytetyt päästöyksiköt olivat sovellettavissa. Runkobussi- ja raitiotielaskelmissa käytetyt sillat on lueteltu taulukossa 6. Laskennan valmistumisen jälkeen on tunnistettu, että Koulukadun ja Puistokadun kohdalle rakennetaan uudet jalankulku- ja pyöräily sillat raitiotiestä riippumatta, joten ne tulisi sisällyttää runkobussiskenaarion laskelmiin. Koska tämä tieto ei ollut laskentahetkellä tiedossa, ei kyseisten siltojen rakentamisesta aiheutuvia päästöjä siten ole huomioitu laskelmissa.

Taulukko 6. Huomioidut sillat runkobussi- ja raitiotieskenaarioissa.

Osa ja reittiosuus		Runkobussiskenaarioon sisältyvät sillat	Raitiotieskenaarioon sisältyvät sillat
1	Satama–Radanvarsi (Satama)	Ei uusittavia siltoja	Uusi Puistokadun silta (S1), Koulukadun silta (S2) ja Tukholmankadun maasilta (S14)
2	Humalistonkatu–Hämeenkatu (Keskusta)	Tuomionkirkkosilta (S3)	Tuomionkirkkosilta (S3)
3	Kiinanmyllynkatu–Kalervonkatu (Kupittaa)	Ei uusittavia siltoja	Ei uusittavia siltoja
4	Västäräkinkatu–Suurpäänkatu (Varissuo)	Alikulkusillat (S9-S11)	Littoistentien silta (S8), alikulkusillat (S9-S12) ja uusi Jaaninojan silta (S6)
5	Varikko	Ei uusittavia siltoja	Ei uusittavia siltoja

Rakennetun ympäristön rakentamisen laskelmissa käytetyt oletukset on lueteltu tarkemmin liitteessä B.

### 3.3.3. Liikenteen päästöt

Liikenteen vuosittaiset päästöt laskettiin kaikille skenaarioiden liikennemuodoille: runkobussiskenaariossa tähän kuuluvat henkilöautot, raskas liikenne ja bussit. Raitiotieskenaariossa tähän sisältyvät henkilöautot, raskas liikenne, bussit ja raitiovaunut. Vaikka kaluston päästöt (luku 3.3.1.) huomioivat vain raitiotiekäytävällä liikennöivän kaluston päästöt, liikenteen päästöissä on huomioitu koko Turun seudun ajoneuvojen päästöt. Raitiotieskenaariossa busseilla tarkoitetaan niitä busseja, jotka liikennöivät raitiotiekäytävän ulkopuolella muualla Turun seudulla. Näiden bussien lukumäärän ja tyyppin oletetaan vastaavan toisiaan molemmissa skenaarioissa, mutta ajatut kilometrit eroavat toisistaan skenaarioiden erilaisten kulkuneuvojakaumien vuoksi.

Tarkastellut liikenteen päästöt koostuvat sekä suorista että epäsuorista päästöistä, jotka aiheutuvat eri kulkumuotojen käytöstä Turun seudulla arviointijakson aikana. Suorat päästöt sisältävät käytönaikaiset päästöt, kuten moottoriajoneuvojen pakokaasupäästöt, kun taas epäsuoriin päästöihin sisältyy päästöjä, jotka ovat käytölle välttämättömiä, mutta jotka syntyvät varsinaisen käyttöpaikan ulkopuolella, kuten sähköntuotannon päästöt. Ajoneuvojen valmistuksen epäsuoria päästöjä ei otettu huomioon, koska tietoa Turun seudun arviointijaksolla esiintyneistä ajoneuvotyypeistä ei ollut saatavilla ja lisäksi ajoneuvotyyppien suhteellisten osuuksien oletettiin olevan samat kummassakin skenaariossa. Kunkin liikennemuodon vuosittaiset liikenteen päästöt laskettiin ajoneuvokohtaisten päästökertoimien sekä vuosittaisten ajoneuvokilometrien (ajon.km) perusteella.

#### Päästökertoimet

Päästökerroin (yksiköissä  $\text{gCO}_2\text{e} / \text{ajon.km}$ ) kuvaa ajoneuvon saastuttavuutta ja riippuu ainoastaan kulkuneuvon aiheuttamista päästöistä, jotka puolestaan riippuvat ensisijaisesti kulkuneuvon käyttämästä energialähteestä. Esimerkiksi moottoriajoneuvojen päästöt tulevat polttomoottorista ja pakokaasuista, kun taas sähköajoneuvojen päästöt ovat seurausta sähköntuotannosta. Sekä runkobussi- että raitiotieskenaariossa oletettiin, että kulkuneuvot käyttävät samoja energialähteitä ja sähköntuotantotapaa. Koska päästökerroin on siis kulkuneuvon ominaisuus, päästökertoimet ovat samat runkobussi- ja raitiotieskenaarioissa.

Päästökertoimet (yksikkönä  $\text{gCO}_2\text{e}/\text{ajon.km}$ ) eivät vaihtele skenaarioiden välillä, koska päästökerroin on kulkumuodon ominaisuus ja riippuu ensisijaisesti käyttövoimasta. Moottoriajoneuvoissa päästöpotentiaali syntyy esimerkiksi polttomoottorista ja pakokaasuista, kun taas sähköajoneuvoissa se on seurausta sähköntuotannosta. Tässä selvityksessä oletettiin, että molemmissa skenaarioissa käytetään samoja energialähteitä ja vastaavaa sähköntuotantoa. Tämän vuoksi kunkin kulkumuodon yksikköpäästöt vastaavat toisiaan skenaarioiden välillä.

Tässä työssä käytetyt päästökertoimet perustuvat Turun raitiotien liikenne-ennusteessa (Ramboll Finland, 2025) käytettyihin kertoimiin. Liikenne-ennusteen kertoimet eivät kuitenkaan huomioi sähköajoneuvojen sähköntuotannon päästöjä, mikä tarkoittaa, että sekä henkilöautojen että sähköllä kulkevien bussien ja raitiovaunujen päästökertoimet ovat liikenne-ennusteessa nolla (Ramboll Finland, 2025). Tässä kädenjälkiselvityksessä sähköntuotannon päästöt lisättiin ennusteessa käytettyihin päästökertoimiin.

Kertoimet vuosille 2032, 2050 ja 2062 on esitetty taulukossa 7. Kerrointen laskenta on selitetty tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

Henkilöajoneuvojen ja raskaiden ajoneuvojen päästökerroin sisältää sekä moottoriajoneuvojen (polttomoottoriautojen) liikenne-ennusteen päästökertoimen (Ramboll Finland, 2025) että sähköautojen kertoimen, joka perustuu sähköntuotannon päästöihin.

Polttomoottoriautojen päästökertoimet tulevat Turun raitiotien yleissuunnitelman liikenne-ennusteesta (Ramboll Finland, 2025) ja ne perustuvat raporttiin *Perusskenaariot energia- ja ilmastotoimien kokonaisuudelle kohti päästöttömyyttä (PEIKKO)* (Koljonen ym., 2024). Nämä kertoimet ovat saatavilla vuosille 2035 ja 2050. Sähköajoneuvojen päästökerroin ottaa huomioon sähköntuotannon päästöt. Nämä päästöt määritettiin sähköautojen keskimääräisellä energiatehokkuudella (0,15 kWh/ajoneuvo.km), joka puolestaan arvioitiin yleisimpien automerkkien, kuten Škodan ja Volvon, uusimpien mallien tuoteselosteiden perusteella (Škoda, 2025a; Škoda, 2025b; Tilastokeskus, 2024; Volvo, 2025a; Volvo, 2025b). Energiatehokkuus kerrottiin sähkönkulutuksen päästökertoimella (23,6 gCO<sub>2e</sub>/kWh), joka perustui Suomen kansallisen päästötietokannan ennusteeseen. Lopulta päästökerroin kerrottiin vielä 1,07:llä sähkön siirrosta johtuvien häviöiden huomioimiseksi (EIB, 2023).

Polttomoottori- ja sähköautojen päästökertoimet vuosille 2035 ja 2050 yhdistettiin sähkö- ja polttomoottoriajoneuvojen suhteellisten osuuksien perusteella Traficomin tuottamasta Suomen liikenne-ennusteesta (Traficom, 2024). Kerroin interpoloitiin vuosien 2032–2050 välillä ja pidettiin sitten vuoden 2050 tasolla arviointijakson loppuun asti eli vuoteen 2062. Päästökertoimien ekstrapolointia ei jatkettu vuoden 2050 jälkeen, koska epävarmuudet tulevista sähköntuotannon päästöistä ja ajoneuvojen energiatehokkuuksista kasvavat merkittävästi pitkällä aikavälillä. Vuoden 2050 arvon käyttämistä pidettiin siis varovaisempana arviona.

Bussien ja raitiovaunujen osalta päästökerroin laskettiin energiatehokkuudella (1,3 kWh/ajon.km sähköbussien osalta ja 4,89 kWh/ajon.km raitiovaunujen osalta (IES, 2023; IES, 2022)) sekä sähkönkäytön päästöillä (23,6 gCO<sub>2e</sub>/kWh) kerrottuna vielä 1,07:llä sähkön siirrosta johtuvien häviöiden huomioimiseksi. Näiden arvojen oletettiin pysyvän vakioina koko liikennöintijakson ajan. Tämä oletus tehtiin tulevien sähköntuotannon päästöjen ja ajoneuvojen energiatehokkuuden epävarmuuden vuoksi, samoin perusteluin kuin henkilöajoneuvojen ja raskaiden ajoneuvojen päästökertoimien kohdalla.

Taulukko 7. Päästökertoimet vuosille 2032, 2050 ja 2062 runkobussi- ja raitiotieskenaariolle.

Kulkuneuvo	Päästökerroin (gCO <sub>2e</sub> /km)		
	2032	2050	2062
Henkilöajoneuvot	76,8	12,0	12,0
Raskaat ajoneuvot	517,4	273,3	273,3
Bussit	32,8	32,8	32,8
Raitiovaunut	120,0	120,0	120,0

### Ajoneuvosuorite

Ajoneuvosuorite kullekin kulkumuodolle (yksikössä ajon.km/vuosi) arvioitiin Turun seudun liikenne-ennustemallilla. Malli kattaa Turun seudun (Turun kaupungin ja sen ympäryskunnat) ja se on arvioitu Turun seudun otoksella valtakunnallisen henkilöliikennetutkimuksen aineistoista. Liikenne-ennustemalli

kuvaa jokaisen Turun alueen asukkaan vuorokauden aikana tekemiä matkoja. Mallilla ennustetaan myös matkojen määränpäitä ja kulkutapavalintoja. Lopulta mallilla ennustettu kysyntä sijoitellaan liikenneverkolle OpenPaths EMME -ohjelmiston avulla, joka tuottaa matkojen reittivalinnat ja matkajat. Mallissa Turun seutu on jaettu 732 alueeseen, joiden asukasmäärää ja toimitilojen määrää hyödynnetään matkojen ja niiden määränpäiden ennustamisessa. Näin ollen mallilla ennustettujen matkojen määrään, määränpäihin, kulkutapoihin ja matkojen pituuksiin vaikuttavat skenaarioiden ihmisten lukumäärä sekä väestön jakautuminen alueella. Matkakohteiden valinta perustuu mallissa asuntojen, toimitilojen ja palveluiden määrään alueilla. Kulkutavanvalinta perustuu kävelyn, pyöräilyn, joukkoliikenteen ja henkilöauton suhteellisiin matka-aikoihin ja rahallisiin kustannuksiin. Tässä työssä käytetyt runkobussi- ja raitiovaunuskenaariot perustuvat Turun raitiotien liikenne-ennusteeseen (Ramboll, 2025). Mallilla arvioidut ajoneuvosuoritteet kullekin kulkutavalle on esitetty taulukossa 8.

Henkilöauton ja joukkoliikenteen kulkutapaosuudet Turun seudulla on esitetty taulukossa 9. Mallinnusten perusteella Turun seudun joukkoliikenteen matkaperusteinen kulkutapaosuus runkobussiskenaariossa on 7,5 prosenttia sekä vuonna 2035 että 2050. Raitiotien rakentaminen nostaa seudun joukkoliikenteen kulkutapaosuutta 8,4 prosenttiin vuonna 2035 ja 8,5 prosenttiin vuonna 2050. Kun tarkastellaan vain Turun kaupunkia, joukkoliikenteen kulkutapaosuus on 10,7 % vuonna 2035 ja 10,1 % vuonna 2050 runkobussiskenaariossa. Raitiotien rakentamisen myötä Turun kaupungin joukkoliikenteen osuus kasvaa 12,1 prosenttiin vuonna 2035 ja 12,0 prosenttiin vuonna 2050. Henkilöajoneuvojen ajoneuvosuoritteen kokonaismäärä kuitenkin kasvaa raitiotieskenaariossa Turun seudun väestönkasvun vuoksi.

Mitä kauemmas raitiotiekäytävästä siirytään, sitä pienempi on joukkoliikenteen kulkutapaosuuden muutos, ja lopulta raitiotiellä ei ole miltei lainkaan vaikutusta kulkutapavalintaan kaukana raitiotiestä. Joillakin kauempana sijaitsevilla alueilla joukkoliikenteen käyttö kuitenkin kasvaa, mikä johtuu raitiotien verkostovaikutuksista. Raitiotie yhdistyy muuhun joukkoliikenteen verkkoon ja tekee koko järjestelmästä houkuttelevamman käyttää. Tietyillä alueilla joukkoliikenteen käyttö taas vähenee, mikä voi johtua joukkoliikenteen palvelutasomuutoksista tai mahdollisesti siitä, että joukkoliikenteen käytön lisääntyessä vapautuu katutilaa, mikä lisää autoilun houkuttelevuutta joillakin alueilla ja täten lisää autoilua joukkoliikenteen kulkutapaosuuden kustannuksella.

Taulukko 8. Eri kulkutapojen ajoneuvosuorite runkobussi- ja raitiotieskenaariossa vuosina 2035 ja 2050.

Kulkutapa	Ajoneuvosuorite (ajon.km/vuosi)			
	Runkobussiskenaario		Raitiotieskenaario	
	2035	2050	2035	2050
Henkilöajoneuvot	1 872 267 000	2 058 619 200	1 905 541 800	2 117 955 000
Raskas liikenne	127 206 000	128 920 800	127 812 600	129 984 900
Bussit	19 937 700	19 937 700	18 121 485	18 121 485
Raitiovaunut	0	0	854 370	854 370

Taulukko 9. Turun seudun kulkutapaosuudet henkilöliikenteen ja joukkoliikenteen osalta.

Kulkutapa	Turun seudun kulkutapaosuus (%)			
	Runkobussiskenaario		Raitiotieskenaario	
	2035	2050	2035	2050
Henkilöliikenne	62,2	61,7	60,9	60,4
Joukkoliikenne	7,5	7,5	8,4	8,5

## 4. Tulokset

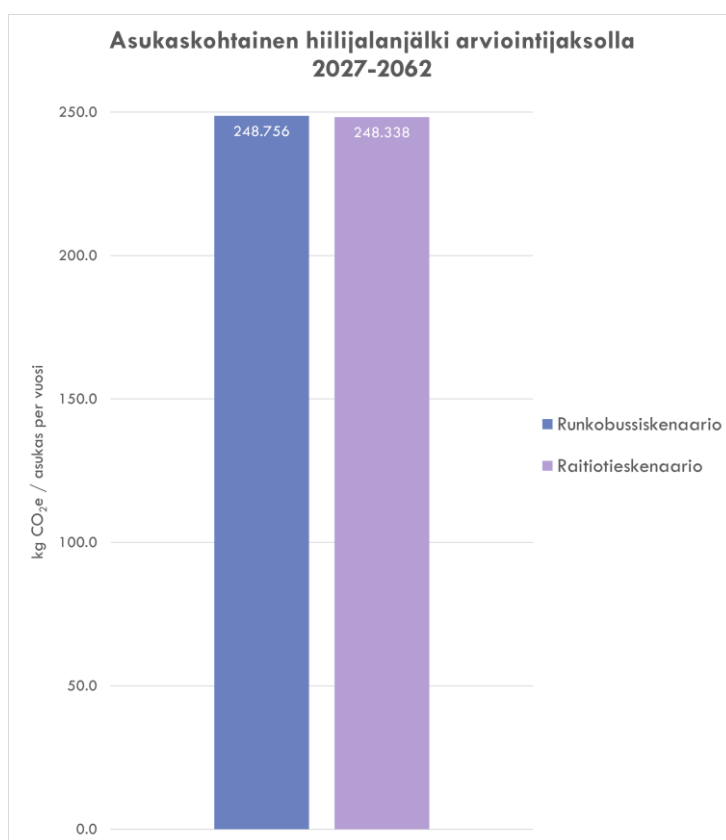
Runkobussi- ja raitiotieskenaarioiden hiilijalanjäljet laskettiin edellisessä osiossa kuvattujen menetelmien mukaisesti. Kuten menetelmässäkin, tulokset jaetaan kolmeen luokkaan: 1) kaluston valmistus ja kunnossapito, 2) rakennetun ympäristön rakentaminen ja 3) liikenteen päästöt. Arviointijaksolla 2027–2062 rakentamisesta ja liikenteestä aiheutuvien päästöjen perusteella laskettu asukaskohtainen hiilijalanjälki Turun asukasta kohden on 248,76 kg CO<sub>2</sub>e runkobussiskenaariossa ja 248,34 kg CO<sub>2</sub>e raitiotieskenaariossa. Turun raitiotien hiilikädenjälki lasketaan vähentämällä raitiotieskenaario runkobussiskenaariosta, jolloin hiilikädenjäljen tulokseksi muodostuu +0,42 kg CO<sub>2</sub>e asukasta kohden vuodessa. Raitiotien rakentaminen vähentää siten Turun alueen asukaskohtaisia päästöjä.

### 4.1. Hiilikädenjälki

Turun raitiotien hiilikädenjälki laskettiin runkobussi- ja raitiotieskenaarioiden hiilijalanjälkien perusteella. Kuva 4 havainnollistaa Turun raitiotien hiilikädenjälkeä suhteessa Turun alueen väestöön: hiilikädenjälki on runkobussi- ja raitiotieskenaarioiden hiilijalanjälkien erotus, joka on laskettu vähentämällä raitiotieskenaarion hiilijalanjälki runkobussiskenaarion hiilijalanjäljestä:

$$\text{Turun raitiotien hiilikädenjälki} \\ = \text{runkobussiskenaarion hiilijalanjälki} - \text{raitiotieskenaarion hiilijalanjälki}$$

Arviointijaksolla 2027–2062 Turun raitiotien hiilikädenjälki on +0,42 kg CO<sub>2</sub>e Turun asukasta kohden vuodessa. Koska raitiotieskenaarion kokonaispäästöt ovat pienemmät kuin runkobussiskenaarion päästöt, hiilikädenjälki on positiivinen.



Kuva 4. Turun raitiotien hiilikädenjäljen visualisointi.

Hiilikädenjäljen laajuus on määritelty Turun seutuun vuosina 2027–2062. Vaikka kaluston ja rakennetun ympäristön päästölaskelmat tehtiin vain raitiotiekäytävälle, oletetaan niissä, että päästöt muualla Turun seudulla ovat samat molemmissa skenaarioissa. Nämä päästöt kumoavat toisensa kädenjäljen laskennassa, koska kädenjälki määritellään runkobussi- ja raitiotieskenaarioiden erotuksena. Kädenjäljessä on otettu huomioon kaikki kolme päästöluokkaa (kalusto, rakennettu ympäristö ja liikenne) koko Turun seudulla.

Alla oleva taulukko 10 esittää yhteenvedon hiilijalanjäljistä kullekin luokalle runkobussi- ja raitiotieskenaarioissa. Maantieteellisten laajuuserojen vuoksi päästöluokkien vertailu samassa skenaariossa ei ole mahdollista. Skenaarioiden keskenään vertailu on mahdollista, koska luokilla on samat laajuudet ja rajoitteet molemmissa skenaarioissa. Kuten taulukosta nähdään, asukaskohtaiset päästöt Turun seudulla ovat raitiotieskenaariossa pienemmät kuin runkobussiskenaariossa. Kokonaispäästöt arviointijaksolla ovat raitiotieskenaariossa hieman korkeammat kuin runkobussiskenaariossa. Tämä johtuu Turun alueen väestönkasvusta raitiotien rakentamisen myötä. Turun alueen väestöennusteen oletetaan olevan vuonna 2062 runkobussiskenaariossa 468 000 ja raitiotieskenaariossa 498 000. Suurimmat asukaskohtaiset päästöerot runkobussi- ja raitiotieskenaarioiden välillä johtuvat rakennetun ympäristön rakentamisen päästöistä ja liikenteen päästöistä: raitiotieskenaariossa rakennetun ympäristön päästöt ovat korkeammat, kun taas operatiiviset päästöt ovat alhaisemmat verrattuna runkobussiskenaarioon.

*Taulukko 10. Yhteenvedo luokakohtaisista päästöistä runkobussi- ja raitiotieskenaarioille arviointijakson aikana 2027–2062.*

Päästö- luokka	Kokonaispäästöt 2027–2062 (kg CO <sub>2</sub> e)			Asukaskohtaiset päästöt 2027–2062 (kg CO <sub>2</sub> e / asukas per vuosi)		
	Runkobussi	Raitiotie	Erotus	Runkobussi	Raitiotie	Erotus
Kalustopäästöt	5 779 123	3 434 508	-2 344 615	0,44	0,25	+ 0,19
Rakennetun ympäristön päästöt	14 042 769	110 971 670	96 928 901	1,06	8,04	- 6,98
Liikenteen päästöt	3 270 168 554	3 313 463 141	43 294 587	247,26	240,05	+ 7,21
Yhteensä	3 289 990 446	3 427 869 319	137 878 873	248,76	248,34	+ 0,42

Kunkin kolmen päästöluokan tulokset on kuvattu tarkemmin seuraavissa alaluvuissa.

## 4.2. Kaluston valmistus ja huolto

Kaluston päästöt syntyvät ajoneuvojen alkuperäisestä valmistuksesta, mahdollisesta kaluston uusimisesta ja vuosittaisesta huollosta. Kaluston päästöt on huomioitu raitiotiekäytävällä liikennöiville ajoneuvoille. Runkobussiskenaariossa nämä ajoneuvot koostuvat 24 linja-autosta (21 käytössä ja 3 varakalustona) ja raitiotieskenaariossa 14 raitiovaunusta (12 käytössä ja 2 varakalustona). Taulukko 11 esittää bussien ja raitiovaunujen valmistus- ja kunnossapitopäästöt ajoneuvoa kohden, ja taulukko 12 esittää 24 linja-auton ja 14 raitiovaunun kokonaispäästöt.

Kuten taulukosta 11 nähdään ovat raitiovaunujen päästöt ajoneuvoa kohden hieman korkeammat. Koska käytössä on kuitenkin enemmän linja-autoja kuin raitiovaunuja, kokonaispäästöt arviointijaksolla ovat raitiotieskenaariossa pienemmät.

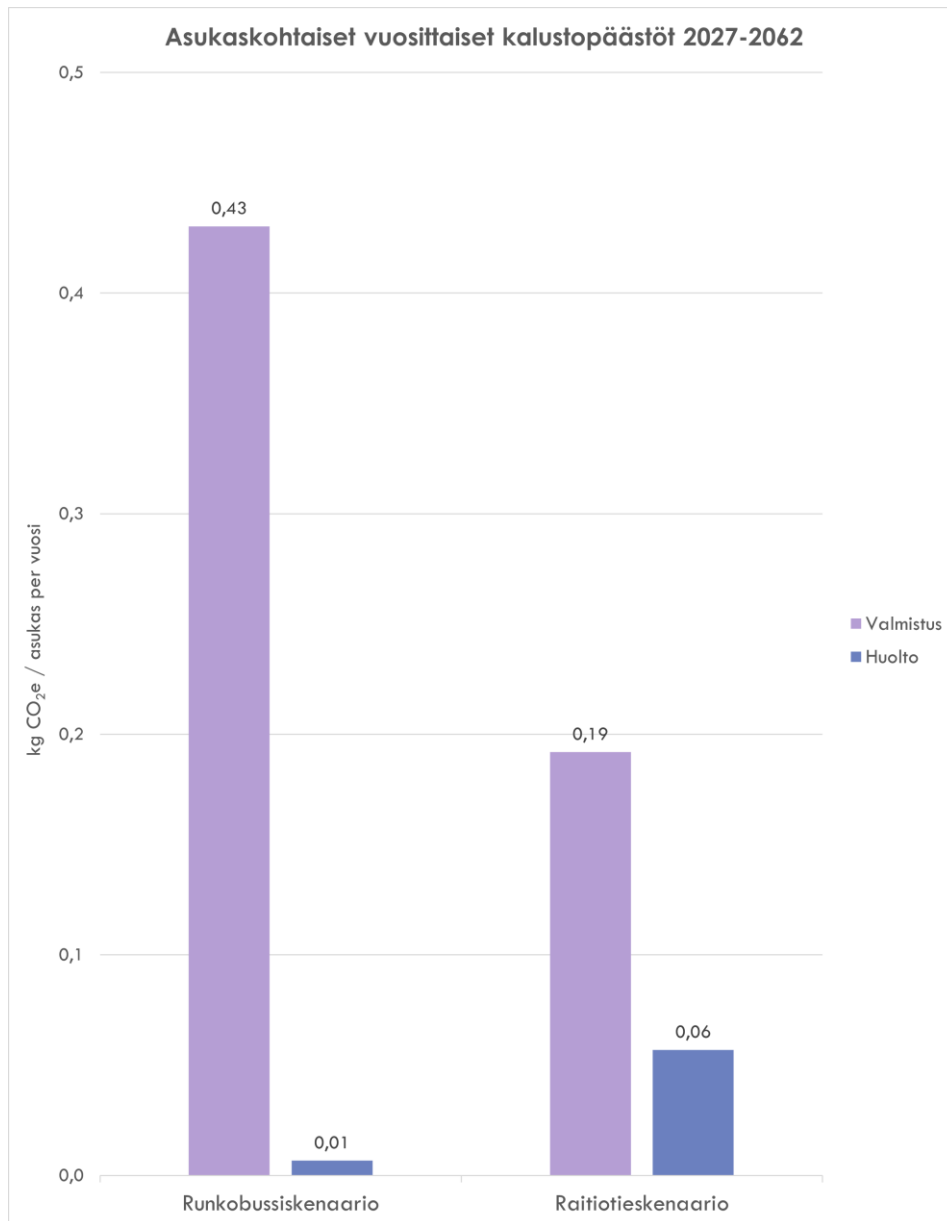
Taulukko 11. Ajoneuvokohtaiset valmistus- ja huoltopäästöt runkobussi- ja raitiotieskenaarioille.

Kalustotyyppi	Skenaario	Kalustomäärä	Ajoneuvokohtaiset valmistuspäästöt	Ajoneuvokohtaiset vuosittaiset huoltopäästöt
Sähköbussi (B15E01 eBus)	Runkobussi	24 kpl	118 562 kg CO <sub>2e</sub>	122,4 kg CO <sub>2e</sub> / vuosi
Raitiovaunu (Flexity Tram)	Raitiotie	14 kpl	189 222 kg CO <sub>2e</sub>	1870 kg CO <sub>2e</sub> / vuosi

Taulukko 12. Kalustopäästöt raitiotiekäytävän varrella olevalle kalustolle runkobussi- ja raitiotieskenaarioissa.

	Kokonaispäästöt 2027–2062 (kg CO <sub>2e</sub> )			Asukaskohtaiset päästöt 2027–2062 (kg CO <sub>2e</sub> / asukas per vuosi)		
	Runkobussi	Raitiotie	Erotus	Runkobussi	Raitiotie	Erotus
Valmistuksen päästöt	5 690 995	2 649 108	- 3 041 887	0,43	0,19	+ 0,24
Huoltopäästöt	88 128	785 400	697 272	0,01	0,06	- 0,05
Yhteensä	5 779 123	3 434 508	- 2 344 615	0,44	0,25	+ 0,19

Kuva 5 esittää runkobussi- ja raitiovaunuskenaarioiden ajoneuvokannan päästöt arviointijaksolla suhteessa Turun väestöön. Vaikka vuosittaiset kunnossapitopäästöt ovat raitiovaunuskenaariossa korkeammat runkobussiskenaarioon verrattuna, ovat raitiovaunuskenaarion valmistuksesta aiheutuvat päästöt huomattavasti pienemmät.



Kuva 5. Asukaskohtaiset kalustopäästöt runkobussi- ja raitiotieskenaarioille.

### 4.3. Rakennettu ympäristö

Rakennetun ympäristön rakentamisen päästöt vaihtelevat merkittävästi runkobussi- ja raitiotieskenaarioiden välillä. Taulukossa 13 on esitetty runkobussiskenaarion rakentamisen päästöt arviointijaksolla. Taulukosta 13 käy ilmi, että rakennetun ympäristön rakentamisen kokonaispäästöt arviointijaksolla olivat 14 042 769 kg CO<sub>2</sub>e. Siltojen ja alikulujen uusimiset aiheuttivat suurimmat päästöt (5 294 003 kg CO<sub>2</sub>e) ja niiden osuus rakennetun ympäristön rakentamisen kokonaispäästöistä oli noin 37,6 %. Päällystetyt muodostivat toiseksi suurimman päästölähteen, yhteensä 4 945 582 kg CO<sub>2</sub>e, mikä vastaa noin 35,2 %:a luokan päästöistä. Yhdyskuntatekniikan siirrot aiheuttivat 3 803 184 kg CO<sub>2</sub>e, mikä vastaa noin 27,0 %:a rakennetun ympäristön rakentamisen kokonaispäästöistä.

Rakennetun ympäristön kokonaispäästöt asukasta kohden sekä päästöjen jakautuminen johtosiirtojen, päällysteiden ja siltojen kesken on esitetty kuvassa 7.

Taulukko 14 esittää raitiotieskenaarion rakentamisen päästöt arviointijaksolla. Suurimmat päästölähteet ovat maa- ja pohjarakentaminen, katu ja katu ympäristö ja raitiotien edellyttämät rakentamiset, joilla samanaikaisesti pyritään parantamaan kaupunkiympäristöä, sekä raitiotien toiminnan edellyttämät ajojohtimet. Päästömäärät ovat maa- ja pohjarakentamiselle 36 861 163 kg CO<sub>2</sub>e eli 33 %, katu ja katu ympäristölle 22 963 955 kg CO<sub>2</sub>e eli 21 % ja raitiotien edellyttämälle rakentamiselle 38 165 114 kg CO<sub>2</sub>e eli 34 % raitiotieskenaarion rakennetun ympäristön kokonaispäästöistä.

Kuva 6 esittää rakennetun ympäristön päästöt molemmissa skenaarioissa. Kuten kuvasta näkyy, ovat raitiotieskenaarion kokonaispäästöt huomattavasti korkeammat (110 971 670 kg CO<sub>2</sub>e) koska uudistustyöt ovat laajoja ja sisältävät merkittäviä kaupunkiympäristöön liittyviä parannuksia raitiovaunun välttämättömän rakentamisen lisäksi. Lisäksi raitiotieskenaarion varikon päästöt ovat 20 001 110 kg CO<sub>2</sub>e, kun taas runkobussiskenaariossa ei ole varikon päästöjä. Tämä johtuu siitä, että runkobussiskenaarion varikkoa ei ole suunniteltu eikä sitä siten ole sisällytetty laskelmiin, vaikka varikko on välttämätön linja-autoverkostolle. Runkobussiskenaarion vertailtavat kokonaispäästöt ovat 14 042 768 kg CO<sub>2</sub>e. Raitiotieskenaarion vaatii laajamittaista rakentamista ja uusia materiaaleja, joka puolestaan lisää päästöjä, koska kyseinen skenaario sisältää kaupunkiympäristön laajempaa kehittämistä mittakaavassa, joka ulottuu pelkän tarvittavan infrastruktuurin uusimisen ulkopuolelle. Raitiotieskenaariossa suunnitellaan laajemmassa mittakaavassa strategista kaupunkiympäristön parantamista, kun taas runkobussi keskittyy vain välttämättömiin akuutteihin rakenteellisiin parannuksiin. Tämä katusuunnittelun ero näkyy erityisesti päällysteen uusimisen erossa. Kuten taulukosta 13 nähdään, ovat runkobussiskenaarion katupäällysteen päästöt 4 945 582 kg CO<sub>2</sub>e, kun taas taulukossa 14 raitiotieskenaariossa ne ovat 22 962 955 kg CO<sub>2</sub>e.

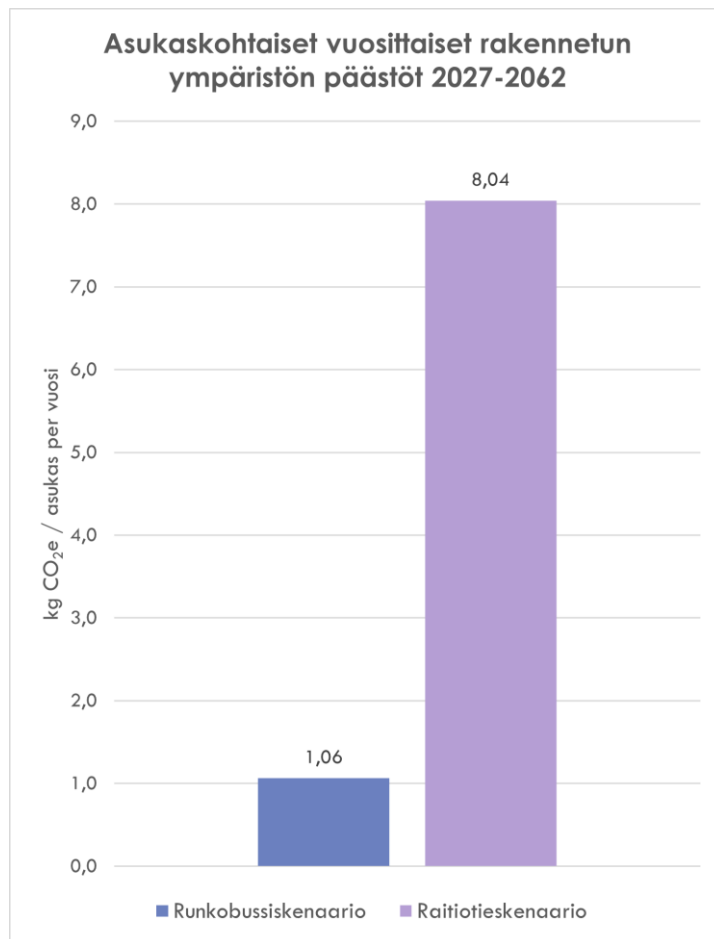
Lisäksi raitiotiekohtaiset rakenteet, kuten kiskot ja pohjarakentaminen, ovat raitiotieskenaarion suurimpia päästöjä, kun taas runkobussiskenaariossa niitä ei ole. Laajojen kaupunkiympäristön jälleenrakennusten vuoksi pilaantunut maaperä on myös läsnä raitiotieskenaarion päästölaskelmissa, mutta sitä ei ole runkobussiskenaariossa. Taulukossa 14 maa- ja pohjarakentamisen päästöt ovat 36 861 163 kg CO<sub>2</sub>e.

Taulukko 13. Runkobussiskenaarion päästöt rakennetussa ympäristössä.

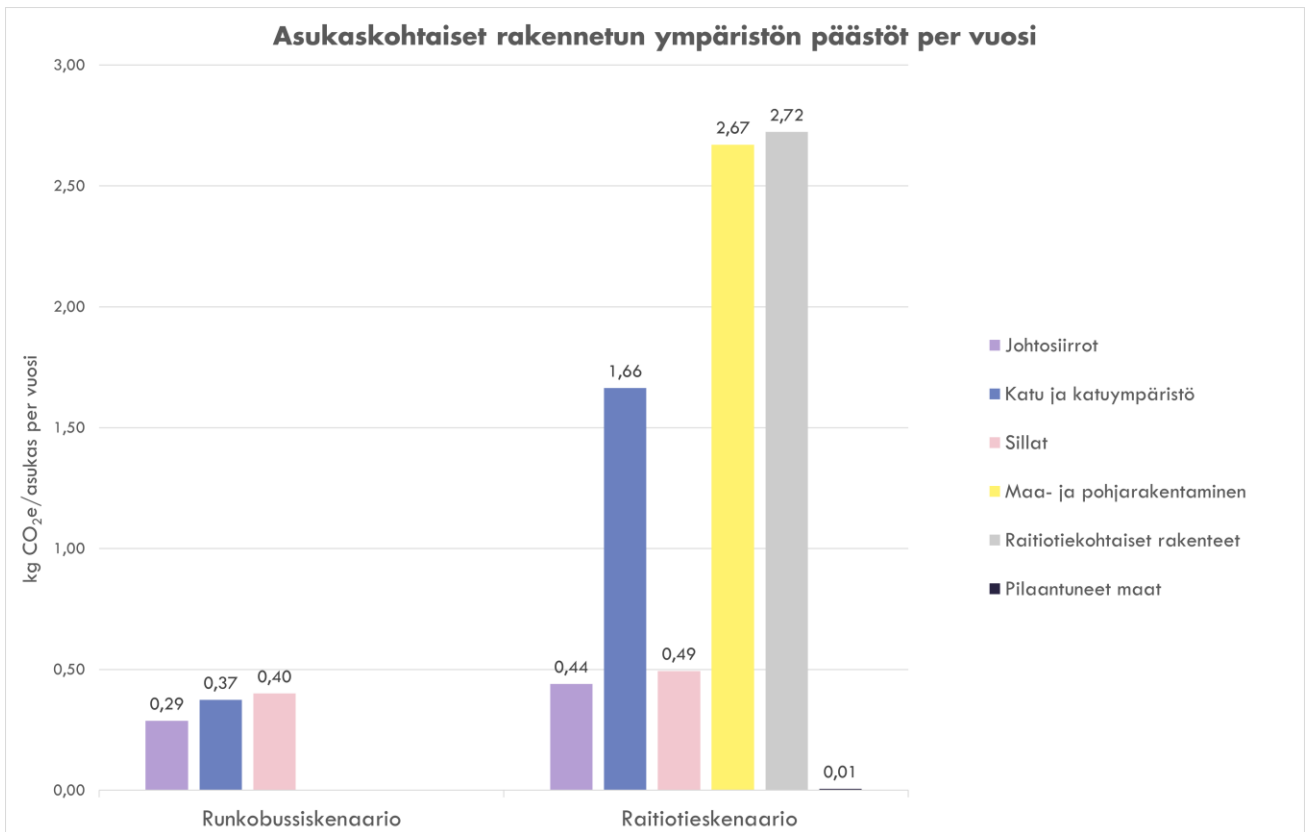
Osa ja reittiosuus		Johtosiirrot (kg CO <sub>2</sub> e)	Katu ja katu ympäristö (kg CO <sub>2</sub> e)	Sillat (kg CO <sub>2</sub> e)	Kokonaispäästöt (kg CO <sub>2</sub> e)
1	Satama – Radanvarsi (satama)	3 023 106	1 486 466	0	4 509 572
2	Humalistonkatu– Hämeenkatu (keskusta)	349 289	1 408 025	4 832 599	6 589 913
3	Kiinanmyllynkatu– Kalervonkatu (Kupittaa)	150 145	446 962	0	597 107
4	Västäräkinkatu– Suurpääkatu (Varissuo)	280 644	1 604 129	461 404	2 346 176
<b>Kokonaispäästöt</b>		<b>3 803 184</b>	<b>4 945 582</b>	<b>5 294 003</b>	<b>14 042 768</b>
<b>Päästöjen prosenttiosuudet</b>		<b>27,1 %</b>	<b>35,2 %</b>	<b>37,7 %</b>	<b>100 %</b>

Taulukko 14. Raitiotieskenaarion päästöt rakennetussa ympäristössä.

Osa ja reittiosuus		Maa- ja pohjarakentaminen (kg CO <sub>2e</sub> )	Johtosiirrot (kg CO <sub>2e</sub> )	Katu ja katu-ympäristö (kg CO <sub>2e</sub> )	Sillat (kg CO <sub>2e</sub> )	Pilaantuneet maat (kg CO <sub>2e</sub> )	Raitiotiekohtaiset rakenteet (kg CO <sub>2e</sub> )	Kokonaispäästöt (kg CO <sub>2e</sub> )
1	Satama – Radanvarsi (satama)	5 584 760	610 897	4 548 821	1 240 978	38 655	6 984 019	19 008 129
2	Humalistonkatu–Hämeenkatu (keskusta)	12 850 938	2 994 812	4 910 681	4 832 599	32 135	6 140 726	31 761 891
3	Kiinanmyllynkatu – Kalervonkatu (Kupittaa)	2 015 409	556 645	2 520 684	0	5 378	7 570 367	12 668 483
4	Västäräkinkatu–Suurpäänkatu (Varissuo)	7 744 211	1 477 262	8 106 929	725 558	5 845	9 472 252	27 532 056
5	Varikko	8 665 845	439 063	2 876 839	18 014	3 599	7 997 750	20 001 110
<b>Kokonaispäästöt</b>		<b>36 861 163</b>	<b>6 078 678</b>	<b>22 963 955</b>	<b>6 817 149</b>	<b>85 611</b>	<b>38 165 114</b>	<b>110 971 670</b>
<b>Päästöjen prosenttiosuudet</b>		<b>33 %</b>	<b>5 %</b>	<b>21 %</b>	<b>6 %</b>	<b>0,1 %</b>	<b>34 %</b>	<b>100 %</b>



*Kuva 6. Asukaskohtaiset rakennetun ympäristön päästöt Turun seudulla arviointijakson aikana 2027–2062.*



Kuva 7. Asukaskohtaiset rakennetun ympäristön päästöt runkobussi- ja raitiotieskenaarioille Turun seudulla arviointijakson aikana 2027–2062.

#### 4.4. Liikenteen päästöt

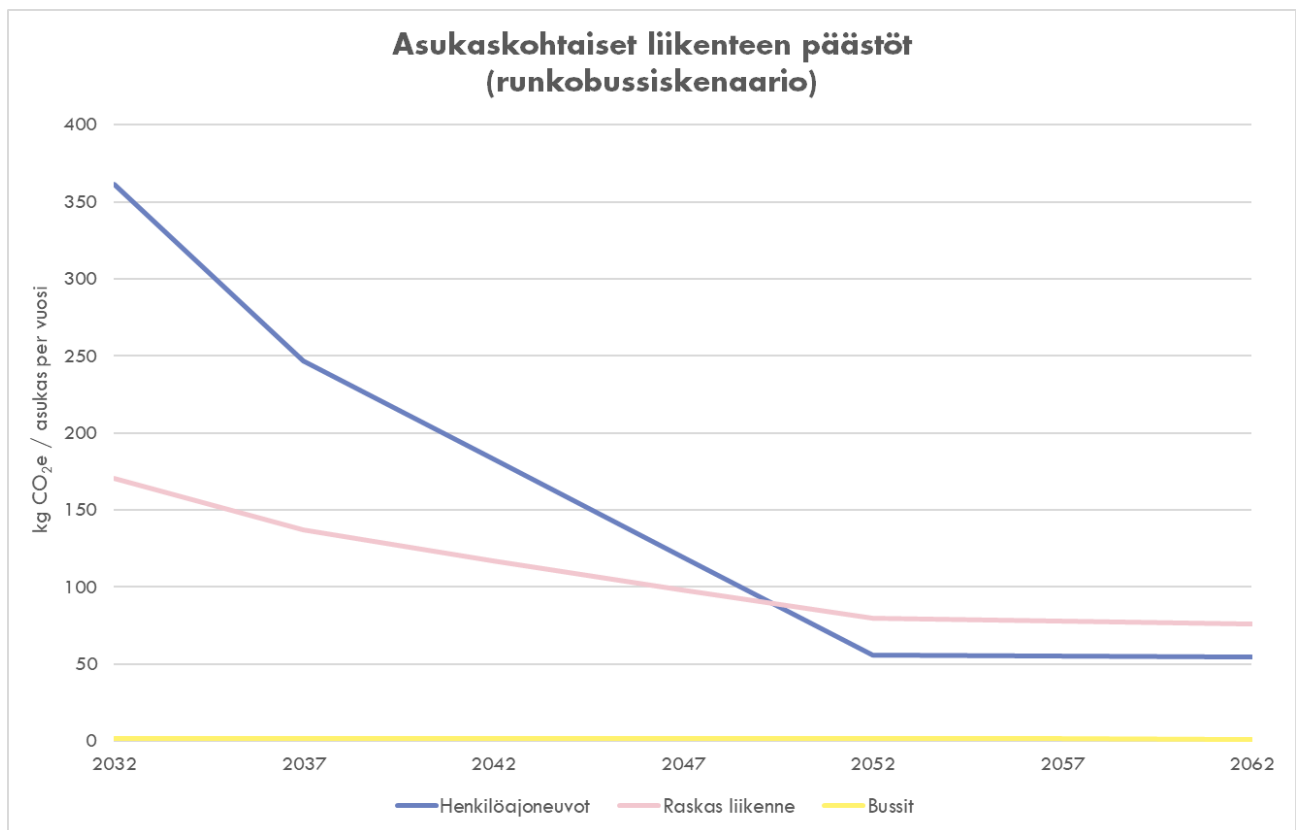
Liikenteen aiheuttamat päästöt koostuvat pakokaasupäästöistä sekä sähköajoneuvojen sähköntuotannon päästöistä. Päästöt määritetään kullekin liikennemuodolle kussakin skenaariossa: runkobussiskenaariossa liikennemuodot ovat henkilöautot, kuorma-autot ja linja-autot, kun taas raitiotieskenaariossa liikennemuodot ovat henkilöautot, kuorma-autot, linja-autot ja raitiovaunut. Vaikka ajoneuvokannan ja rakennetun ympäristön päästöt lasketaan raitiotiekäytävän varrella, liikenteen päästöt lasketaan koko Turun alueelta.

Taulukko 15, kuva 8 ja kuva 9 esittävät liikenteen aiheuttamat päästöt kullekin liikennemuodolle arviointijakson aikana. Molemmassa skenaariossa henkilöautot ja kuorma-autot muodostavat suurimman osan toiminnan aiheuttamista päästöistä, kun taas linja-autojen tai raitiovaunujen päästöt ovat lähes merkityksettömät. Suurin osa henkilöajoneuvopäästöjen vähenemisestä arviointijakson aikana johtuu sähköautokannan lisääntymisestä ja sähköntuotannon päästökertoimen laskusta.

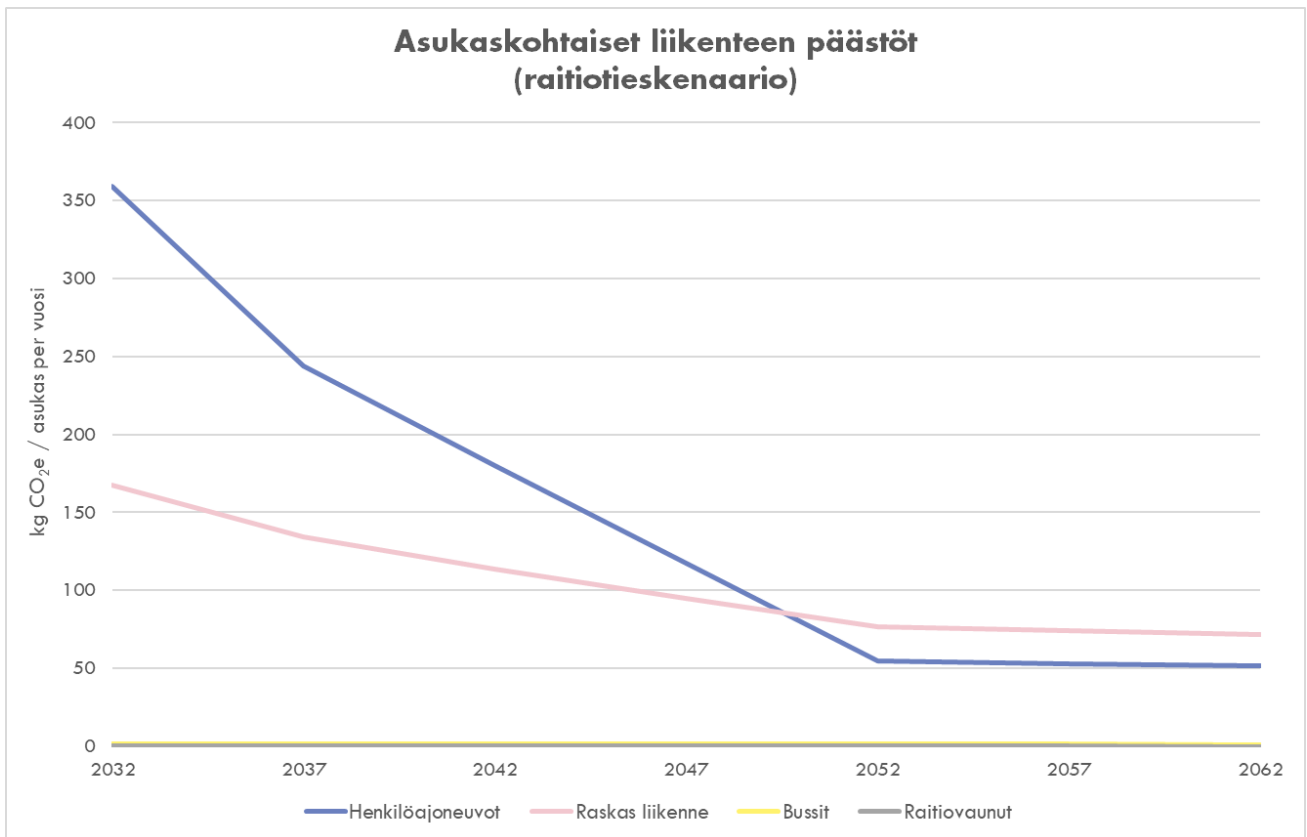
Kuten taulukosta 15 nähdään, vaikka liikenteen kokonaispäästöt ovat raitiotieskenaariossa suuremmat, ovat asukaskohtaiset liikenteen päästöt pienemmät. Tämä osoittaa, että vaikka Turun seudun väestö on raitiotieskenaariossa suurempi, ovat asukaskohtaiset päästöt pienemmät kuin runkobussiskenaariossa.

Taulukko 15. Liikenteen päästöt eri kulkumuodoilla arviointijakson aikana.

	Liikenteen kokonaispäästöt 2027–2062 (kg CO <sub>2</sub> e)			Asukaskohtaiset liikenteen päästöt 2027–2032 (kg CO <sub>2</sub> e / asukas per vuosi)		
	Runkobussi	Raitiotie	Erotus	Runko- bussi	Raitiotie	Erotus
Henkilöajoneuvot	1 868 804 794	1 903 626 384	- 34 821 590	141,30	137,91	+ 3,39
Raskas liikenne	1 381 074 048	1 388 216 536	- 7 142 488	104,42	100,57	+ 3,85
Bussit	20 289 712	18 441 431	+ 1 848 281	1,53	1,34	+ 0,20
Raitiovaunut	0	3 178 790	- 3 178 790	0	0,23	- 0,23
<b>Yhteensä</b>	<b>3 270 168 554</b>	<b>3 313 463 141</b>	<b>- 43 294 587</b>	<b>247,26</b>	<b>240,05</b>	<b>+ 7,21</b>



Kuva 8. Asukaskohtaiset liikenteen päästöt Turun seudulla arviointijakson aikana runkobussiskenaariossa.



Kuva 9. Asukaskohtaiset liikenteen päästöt Turun seudulla arviointijakson aikana raitiotieskenaariossa.

#### 4.5. Tulosten vertailu EIP:n hiilijalanjälkimenetelmään

EIP:n raportti hankkeiden hiilijalanjäljen laskentamenetelmistä (EIB, 2023) esittää menetelmän hankkeiden hiilijalanjäljen laskemiseksi.<sup>2</sup> Menetelmä perustuu osittain WRI:n ja WBCSD:n kehittämään GHG Protocol -protokollaan (WBCSD & WRI, 2004) ja on osittain verrattavissa tässä tutkimuksessa käytettyyn menetelmään. Toisin kuin tässä tutkimuksessa käytetyssä elinkaarianalyysissä, EIP:n menetelmässä päästöt lasketaan yhdeltä tyypilliseltä liikennöintivuodelta. Tässä herkkyytarkastelussa lasketaan liikenteen päästöt tyypillisinä liikennöintivuotena skenaarioissa, jossa Turun raitiotie on rakennettu ja jossa sitä ei ole. Tarkastelu tehdään, jotta Turun raitiotien vertailu muihin hankkeisiin, joiden hiilikädenjäljen laskennassa on käytetty EIP:n raportissa esitettyä menetelmää, olisi mahdollista. Hankkeen vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin kutsutaan EIP:n menetelmässä suhteellisiksi päästöiksi (relative emissions), ja ne lasketaan seuraavasti:

$$\text{Suhteelliset päästöt} = \text{Absoluuttiset päästöt} - \text{Perusskenaarion päästöt}$$

Tässä tarkastelussa absoluuttiset päästöt (absolute emissions) ovat raitiotieskenaarion liikenteen päästöt ja perusskenaarion päästöt (baseline emissions) ovat runkobussiskenaarion liikenteen päästöt tyypillisinä liikennöintivuotena. Tyypillinen liikennöintivuosi määritellään keskimääräiseksi

<sup>2</sup> Tämän alaluvun terminologia noudattaa EIP:n hiilijalanjälkimenetelmän terminologiaa, joka poikkeaa muualla raportissa käytetystä terminologiasta.

liikennöintivuodeksi, joka lasketaan summaamalla kaikkien tässä tutkimuksessa arvioitujen vuosien päästöt ja jakamalla tulos vuosien lukumäärällä.

Laskelmat tehtiin käyttäen samaa väestömäärää absoluuttisen ja perusskenaarion liikenteen päästöjen laskennassa. Keskimääräisen liikennöintivuoden päästöarvioon laskettiin henkilöautojen, linja-autojen ja raitiovaunujen kulkemat ajoneuvokilometrit. Henkilöautojen ajoneuvokilometreistä laskettiin keskiarvo vuosille 2032–2062, mikä vastaa tämän tutkimuksen ajanjaksoa, jolloin raitiovaunu on käytössä. Linja-autojen ja raitiovaunujen ajetuista ajoneuvokilometreistä laskettiin samalla tavalla keskiarvo molemmissa skenaarioissa. Absoluuttiset päästöt ja perusskenaarion päästöt laskettiin kunkin liikennemuodon päästökertoimen keskiarvolla vuosille 2032–2062, joka kerrottiin ajetuilla ajoneuvokilometreillä.

Laskennassa käytetyt lukuarvot ovat esitettyinä taulukossa 16.

Taulukko 16. Perus- ja hankeskenaarion päästölaskennassa käytetyt muuttujat.

Skenaario	Perusskenaarion päästöt (runkobussiskenaario)	Absoluuttiset päästöt (raitiotiekkenaario)
Henkilöautojen ajosuoritteiden keskiarvo (km/vuosi)	1 987 025 158	1 957 758 726
Bussien ajosuoritteiden keskiarvo (km/vuosi)	19 937 700	18 121 485
Raitiotien ajosuoritteiden keskiarvo (km/vuosi)	0	854 370
Henkilöautojen päästökertoimien keskiarvo (g CO <sub>2e</sub> /km)	31,02	31,02
Bussien päästökertoimien keskiarvo (g CO <sub>2e</sub> /km)	32,80	32,80
Raitiovaunun päästökertoimien keskiarvo (g CO <sub>2e</sub> /km)	Ei käytetä	119,92

Taulukossa 17 on esitetty absoluuttiset, perusskenaarion, ja suhteelliset päästöt. Raitiotieskenaarion absoluuttiset päästöt ovat 61 420 tonnia CO<sub>2e</sub> per vuosi, ja perusskenaarion päästöt ovat 62 290 tonnia CO<sub>2e</sub> per vuosi. Turun raitiotien suhteelliset päästöt, eli absoluuttisten päästöjen ja perusskenaarion päästöjen erotus, on -860 tonnia CO<sub>2e</sub> per vuosi, mikä osoittaa, että Turun raitiotie vähentää liikenteen päästöjä Turun seudulla.

Taulukko 17. Turun raitiotien absoluuttiset päästöt, perusskenaarion päästöt ja suhteelliset päästöt.

Absoluuttiset päästöt (1000 kg CO <sub>2e</sub> /vuosi)	Perusskenaarion päästöt (1000 kg CO <sub>2e</sub> /vuosi)	Suhteelliset päästöt (1000 kg CO <sub>2e</sub> /vuosi)
61 420	62 290	-860

## 5. Herkkyys- ja lisätarkastelut

Tulosten luotettavuuden arvioimiseksi oletusten osalta tehtiin kaksi laajempaa herkkyystarkastelua ja yksi suppeampi lisätarkastelu. Ensimmäisessä herkkyystarkastelussa raitiotieskenaarion väestön ja sen jakautumisen oletettiin vastaavan runkobussiskenariota. Tämän herkkyystarkastelun avulla korostetaan, kuinka tärkeää on huomioida kaupunkiväestön keskittyminen raitiotien varrelle hiilikädenjälkeä laskiessa. Liikennehankkeiden kustannus-hyötyanalyysit tehdään tyypillisesti vakioväestöillä, joten tämä herkkyystarkastelu helpottaa eri hankkeiden vertailua.

Toisessa herkkyystarkastelussa raitiotien sähkö on oletettu tuotettavan ilman kasvihuonekaasupäästöjä. Käytännössä tämä tarkoittaisi esimerkiksi sähkön hankintaa voimalaitoksista, jotka tuottavat sitä ilman kasvihuonekaasupäästöjä. Tässä herkkyystarkastelussa tarkasteltiin myös tilanteita, joissa kaiken joukkoliikenteen sekä kaiken sähköistetyn liikenteen sähköntuotannon oletetaan olevan päästötöntä.

Alla oleva taulukko 18 esittää herkkyystarkastelujen tulokset hiilikädenjäljen osalta. Kuten taulukko 18 esittää, saman väestöjakauman oletuksen myötä hiilikädenjälki muuttuu negatiiviseksi. Tämä tarkoittaa, että raitiotieskenario tuottaa enemmän päästöjä kuin runkobussiskenario.

Toisaalta hiilikädenjälki pysyy positiivisena, kun arvioidaan sähköntuotannon eri tilanteita. Suurin ero nähdään, kun kaiken sähkön oletetaan olevan päästötöntä; tässä tilanteessa hiilikädenjälki on lähimpänä nollaa. Suurin hiilikädenjälki ja täten suurin mahdollinen positiivinen vaikutus runkobussiskenarioon verrattuna nähdään, kun vain raitiotien sähköntuotannon oletetaan olevan päästötöntä.

Taulukko 18. Yhteenvedo herkkyystarkasteluista.

Herkkyystarkastelu	Hiilikädenjälki Turun seudulle arviointijakson aikana (kg CO <sub>2</sub> e / asukas per vuosi)
Alkuperäinen tilanne	+ 0,42
Sama väestö runkobussi- ja raitiotieskenarioissa	- 5,01
Kaikki liikennöinnin sähköntuotanto päästötöntä	+ 0,09
Vain raitiotien liikennöinnin sähköntuotanto päästötöntä	+ 0,65
Joukkoliikenteen liikennöinnin sähköntuotanto päästötöntä	+ 0,45

### 5.1. Sama väestömäärä runkobussi- ja raitiotieskenarioissa

Ensimmäisessä herkkyystarkastelussa Turun seudun väestömäärän ja sen alueellisen jakauman oletetaan raitiotieskenariossa vastaavan runkobussiskenariota. Tässä herkkyystarkastelussa ei oteta huomioon väestön tiivistymistä raitiotien reitin varrella, mikä on tärkeä mekanismi raitiotien päästövähennysten kannalta. Verrattuna alkuperäiseen analyysiin, keskimääräinen turkulainen asukas asuu kauempana

raitiotiestä, joten raitiotie on keskimäärin vähemmän saavutettavissa turkulaisille. Lisäksi väestön tiivistyminen ei vaikuta määränpäihin eikä siten alueen keskimääräisiin matkojen pituuksiin.

Taulukossa 19 on yhteenveto kaluston, rakennetun ympäristön ja liikenteen päästöistä, kun väestömäärä on sama molemmissa skenaarioissa. Taulukosta näkee, että sekä absoluuttiset että asukaskohtaiset päästöt ovat nyt suurempia raitiotieskenaariossa. Kun väestömäärä pysyy runkobussiskenaarion suuruisena, vähentyneet liikenteen päästöt eivät kompensoi raitiotien rakentamisesta aiheutuvia päästöjä arviointijaksollamme 2027–2062. Koska raitiotieskenaarion liikenteen päästöt ovat tässä herkkyytarkastelussa kuitenkin edelleen pienemmät kuin runkobussiskenaarion, pitkällä aikavälillä alentuneet liikenteen päästöt lopulta kompensoisivat rakentamisen päästöt. Laskelmien perusteella tässä skenaariossa liikenteen päästöt ovat kompensoineet rakentamisen päästöt noin 160 vuodessa.

Tämä herkkyytarkastelu korostaa, että on tärkeää ottaa huomioon väestöjakauman muutokset suurten liikennehankkeiden vuoksi, sillä kaupunkiväestön tiivistyminen uusien liikennekäytävien varrelle lisää selvästi uuden infrastruktuurin käyttöä ja saavutettavuutta. Tarkastelu on tehty runkobussiskenaarion väkimäärällä. Jos tarkastelussa käytettäisiin raitiovaunuskenaarion väkimäärää, vertailu olisi todennäköisesti raitiotielle suosiollisempi, sillä joukkoliikennejärjestelmän pienempi kapasiteetti johtaisi autoliikenteen suurempaan määrään. Lisäksi kasvannutta väkimäärää varten tarvittaisiin lisää busseja, mikä entisestään kasvattaisi joukkoliikennejärjestelmän tuottamia päästöjä.

Taulukko 19. Yhteenveto päästöistä, kun runkobussi- ja raitiotieskenaarioilla on sama väestö.

Päästö-luokka	Kokonaispäästöt arviointijakson aikana (kg CO <sub>2</sub> e)			Asukaskohtaiset päästöt arviointijakson aikana (kg CO <sub>2</sub> e / asukas per vuosi)		
	Runkobussi	Raitiotie	Erotus	Runkobussi	Raitiotie	Erotus
Kaluston päästöt	5 779 123	3 434 508	+ 2 344 615	0,44	0,26	+ 0,18
Rakennetun ympäristön päästöt	14 073 048	110 971 670	- 96 898 622	1,06	8,39	- 7,33
Liikenteen päästöt	3 270 168 554	3 241 859 980	+ 28 308 574	247,26	245,12	+ 2,14
Yhteensä	3 290 020 724	3 356 265 158	- 66 244 433	248,76	253,77	- 5,01

## 5.2. Sähköntuotanto päästötöntä

Toisessa herkkyytarkastelussa tarkastellaan sähköntuotannon päästöjä. Tämän työn alkuperäisissä laskelmissa oletettiin, että sähköntuotanto aiheuttaa kasvihuonekaasupäästöjä. Turun kaupunki voisi kuitenkin hankkia raitiovaunujen tai bussien tarvitseman sähkön lähteestä, joka tarjoaa sertifioitua päästötöntä sähköä. Herkkyytarkastelussa oletettiin, että kaikki sähköntuotanto, myös sähköllä kulkevien henkilöautojen sähköntuotanto, on päästötöntä. Käytännössä tällainen oletus ei ole realistinen, sillä henkilöautojen käyttämän sähkön alkuperää ei voida varmistaa. Tarkastelu toimii kuitenkin vertailukohtana, joka havainnollistaa sähköntuotannon päästöihin liittyvien oletusten vaikutusten suuruutta.

Tässä herkkyystarkastuksessa huomioidaan ainoastaan liikennöinnin aikainen sähkö, eikä rakentamisen tai valmistuksen aikana käytettyä sähköä. Näin ollen kaluston ja rakennetun ympäristön päästöt pysyvät samoina kaikissa tarkastelluissa tilanteissa ja vain liikenteestä aiheutuvat päästöt eroavat toisistaan. Taulukko 20 esittää liikennöinnin aikana syntyneet päästöt sekä alkuperäisessä tilanteessa että eri sähköntuotantoa koskevissa herkkyystarkastuksissa.

Taulukko 20 osoittaa, että raitiotieskenaarion asukaskohtaiset liikenteen aikaiset päästöt ovat kaikissa päästöttömän sähkön tilanteissa pienemmät kuin runkobussiskenaariossa. Suurin ero skenaarioiden välillä havaitaan tilanteessa, jossa ainoastaan raitiovaunun käyttämä sähkö oletetaan päästöttömäksi. Tämä johtuu siitä, että raitiotieskenaariossa joukkoliikenteen käytön lisääntyminen vähentää henkilöautojen ja raskaan liikenteen ajoneuvosuoritetta asukasta kohden, mikä puolestaan pienentää päästöjä. Samanaikaisesti raitiovaunun ajosuorite asukasta kohden kasvaa, koska raitiovaunuja ei ole mukana runkobussiskenaariossa. Tässä herkkyystarkastelussa raitiovaunun lisääntynyt suorite ei kuitenkaan aiheuta päästöjä, koska sen sähkön oletetaan olevan päästötöntä. Tämän seurauksena runkobussiskenaarion liikennöinnin aikaiset päästöt pysyvät korkeina, kun taas raitiotieskenaarion päästöt ovat selvästi pienemmät.

Pienimmät asukaskohtaiset liikenteen aikaiset päästöt saavutetaan tilanteessa, jossa kaikki sähkö oletetaan olevan päästötöntä. Tämä on käytännössä epätodennäköinen skenaario, sillä niin yksityis- kuin joukkoliikenteen sähkön tulisi tässä tapauksessa tulla päästöttömästä lähteestä koko arvioitijakson ajan. Skenaario kuitenkin antaa vertailukohteen muille sähköntuotannon herkkyystarkasteluille. Koska myös sähköisten henkilöautojen päästöt poistuvat kokonaan, tämä johtaa suurimpaan kokonaispäästöjen vähenemiseen verrattuna alkuperäiseen tilanteeseen, jossa kaiken sähkön oletetaan aiheuttavan päästöjä. On kuitenkin huomioitavaa, että tässä tilanteessa runkobussi- ja raitiotieskenaarioiden välinen ero on pienimmillään.

Tämä herkkyystarkastelu osoittaa, että sähköntuotannon päästöihin liittyvät oletukset vaikuttavat hiilikädenjäljen suuruuteen, mutta ei sen suuntaan. Riippumatta siitä, oletetaanko sähköntuotanto päästöttömäksi vai ei, raitiotieskenaarion asukaskohtaiset päästöt ovat kaikissa tarkastelluissa tilanteissa pienemmät kuin runkobussiskenaariossa.

Taulukko 20. Liikennöinnin aikaisten päästöjen vertailu eri tilanteissa, joissa sähkö oletetaan päästöttömäksi.

Herkkyyss- tarkastelu	Kokonaispäästöt arviointijakson aikana (kg CO <sub>2</sub> e)			Asukaskohtaiset päästöt arviointijakson aikana (kg CO <sub>2</sub> e / asukas per vuosi)		
	Runkobussi	Raitiotie	Erotus	Runkobussi	Raitiotie	Erotus
Alkuperäinen tilanne	3 270 168 554	3 313 463 141	- 43 294 587	247,26	240,05	+ 7,21
Kaikki liikenteen sähköntuotanto päästöttömä	3 048 478 041	3 086 687 229	- 38 209 188	230,50	223,62	+ 6,88
Vain raitiotien liikennöinnin sähköntuotanto päästöttömä	3 270 168 554	3 310 284 351	- 40 115 797	247,26	239,82	+ 7,44
Joukkoliikenteen liikennöinnin sähköntuotanto päästöttömä	3 249 878 842	3 291 842 920	- 41 964 078	245,72	238,48	+ 7,24

## 6. Pohdinta

Tarkastelujen perusteella tulokset osoittavat, että raitiotieskenaarion hiilikädenjälki on positiivinen verrattuna runkobussiskenaarioon (+0,42 kg CO<sub>2</sub>e asukasta kohden vuodessa). Tämä tarkoittaa, että Turun raitiotien hiilijalanjälki asukasta kohden on arviointijakson aikana pienempi kuin runkobussin hiilijalanjälki. Tulos johtuu ajoneuvokaluston pienemmistä päästöistä raitiotiekäytävän varrella sekä raitiotieskenaarion liikenteen päästöistä, jotka ovat runkobussiskenaariota pienemmät. Turun seudun asukaskohtaiset päästöt pienenevät keskimäärin 0,42 kg CO<sub>2</sub>e arviointijaksolla 2027–2062, myös silloin kun raitiotien rakennetun ympäristön rakentamisesta aiheutuvat päästöt huomioidaan. Päästöjen vähenemä selittyy sillä, että raitiotieskenaariossa joukkoliikenteen (bussit ja raitiovaunut) kulkutapaosuus on suurempi suhteessa henkilöautoliikenteeseen. Ainoat päästöt, jotka ovat raitiotieskenaariossa asukasta kohden suuremmat kuin runkobussiskenaariossa, liittyvät rakennettuun ympäristöön. Nämä päästöt ovat kuitenkin kertaluonteisia, ja ajan myötä raitiotieskenaarion pienemmät kaluston ja liikenteen päästöt kompensoivat ne. Pitkällä aikavälillä, myös tämän työn arviointijakson jälkeen, raitiotien hiilikädenjälki säilyy siten positiivisena.

Vaikka raitiotieskenaariossa asukaskohtaiset päästöt ovat pienemmät, Turun seudun kokonaispäästöt kasvavat raitiotieskenaariossa. Tämä johtuu alueen väestönkasvusta, jonka oletetaan kasvavan raitiotien rakentamisen myötä. Suurempi väestömäärä johtaa väistämättä suurempaan matkasuoritteeseen ja siten suurempiin kokonaispäästöihin. Kokonaispäästöjen täysimääräinen vertailu edellyttäisi kuitenkin tietoa siitä, mistä uudet asukkaat muuttavat Turkuun ja millaiset heidän päästönsä olisivat olleet ilman muuttoa. Tämä tarkastelu jää tämän työn rajauksen ulkopuolelle. On kuitenkin huomioitava, että vaikka väestö on arviointijakson lopussa raitiotieskenaariossa yli 6 % suurempi kuin runkobussiskenaariossa, ovat vuotuiset kokonaispäästöt vuonna 2062 raitiotieskenaariossa vain noin 0,1 % suuremmat. Suhteellisesti tarkasteltuna raitiotie siis lisää väestöä enemmän kuin se lisää liikenteen toiminnallisia päästöjä.

Tuloksia tulkittaessa on tärkeää huomioida, etteivät kaikki päästöloukat ole suoraan vertailukelpoisia keskenään, sillä niiden alueelliset rajaukset eroavat toisistaan. Liikenteen päästöt on mallinnettu koko Turun seudulle, jotta raitiotien aiheuttamat alueelliset käyttäytymismuutokset, kuten kulkutapamuutokset myös raitiotiekäytävän ulkopuolella, tulevat huomioiduiksi. Sen sijaan rakennetun ympäristön ja bussikaluston päästöt rajoittuvat raitiotiekäytävän varrelle. Tämä lähestymistapa mahdollistaa silti luotettavan vertailun runkobussi- ja raitiotieskenaarioiden välillä, sillä raitiotiekäytävän ulkopuolella rakennetun ympäristön ja ajoneuvokaluston muutokset ovat molemmissa skenaarioissa pitkälti samankaltaisia.

Arvioinnin aikana nousi esiin tarve tarkastella raitiotien vaikutuksia tarkasti rajatulla käytäväalueella linjauksen varrella. Nykyisellä Liikenne-ennustemallilla tämä ei kuitenkaan ole mahdollista. Mallissa raitiotien vaikutukset leviävät koko verkolle kulkutapavalintojen, reitityksen ja määränpäiden muutosten kautta. Koska malli hakeutuu järjestelmätason tasapainoon, jopa paikalliset parannukset aiheuttavat laaja-alaisia heijastevaikutuksia, minkä vuoksi ”vaikutusalueita” tai kapeaa käytävää ei voida määritellä ilman mielivaltaisia rajoja. Käytäväpohjainen analyysi edellyttäisi liikenne-ennustemallin jatkokehitystä: aliverkon rakentamista ja tarkempaa aluejakoa, joka olisi suunniteltu raitiotien kaltaisten paikallisten vaikutusten tunnistamiseksi. Tällaiset parannukset mahdollistaisivat selkeämmän suoraan vaikutusalueella sijaitsevien alueiden tunnistamisen ja tukisivat täsmällisempää saavutettavuuden muutosten ja liikkumiskäyttämisen arviointia. Tämän tyyppisen aliverkon ja aluejaon kehittämistä suositellaan siten jatkotutkimusaiheeksi, mikäli liikenteen päästöjä halutaan tarkastella samassa maantieteellisessä laajuudessa kuin muita päästöloukkia.

Raitiotiekäytävällä liikennöivän kaluston osalta sekä absoluuttiset että asukaskohtaiset hiilijalanjäljet ovat raitiotieskenaariossa pienemmät kuin runkobussiskenaariossa koko arviointijakson ajan. Raitiovaunujen ajoneuvo kohtaiset valmistus- ja kunnossapitopäästöt ovat busseja suuremmat, mikä johtuu raitiovaunujen suuremmasta koosta ja materiaalmäärästä. Tästä huolimatta raitiotiekaluston kokonaispäästöt ovat pitkällä aikavälillä pienemmät, sillä raitiovaunujen käyttöikä on busseja pidempi ja kaluston uusimistarve siten vähäisempi. Lisäksi raitiovaunujen suurempi matkustajakapasiteetti vähentää tarvittavan kaluston määrää. Kokonaisuutena tarkasteltuna raitiotien kaluston päästöt ovat siten pienemmät kuin runkobussijärjestelmän.

Rakennetun ympäristön päästöt ovat sekä absoluuttisesti että asukasta kohden suuremmat raitiotieskenaariossa koko arviointijakson ajan. Tämä johtuu pääasiassa raitiotielle ominaisista rakenteista, kuten kiskoista ja ajojohtimista. Lisäksi raitiotiehankkeeseen sisältyy laajoja kaupunkitilan uudistuksia, joiden tavoitteena on parantaa kaupunkiympäristön viihtyisyyttä ja toimivuutta. Runkobussiskenaariossa on puolestaan oletettu, että vaikutukset rakennettuun ympäristöön jäävät vähäisiksi. Raitiotieskenaarioon sisältyy siten kokonaisvaltaisempi kaupunkiympäristön uudistaminen, mikä kasvattaa rakennusvaiheen päästöjä. Laajamittainen uudistaminen tarkoittaa kuitenkin myös sitä, että tulevaisuudessa katujen uusimistarve on vähäisempää ja harvempaa. Lisäksi rakennetun ympäristön päästöjen laskennassa on käytetty nykyisiä päästökertoimia koko arviointijakson ajalle, koska tietoa tulevasta oletetuista päästöjen alenemisista ei ole käytettävissä. Tämä vaikuttaa erityisesti runkobussiskenaarioon, jossa rakennetun ympäristön rakentaminen oletetaan toteutuvan asteittain koko 30 vuoden arviointijakson aikana, kun taas raitiotie oletetaan rakennettavaksi arviointijakson alussa.

On mahdollista, että runkobussiskenaariion päästölaskennassa osa päästöistä on jäänyt pois 30 vuoden arviointijakson seurauksena. Johtojen uusimisista ja johtosiirroista aiheutuvat kokonaispäästöt ovat runkobussiskenaariossa 3 803 184 kg CO<sub>2</sub>e ja raitiotieskenaariossa 6 078 678 kg CO<sub>2</sub>e, eli runkobussiskenaariossa nämä päästöt ovat noin puolet raitiotieskenaariion vastaavista. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että osa tulevista johtosiirroista ja uusimisista ajoittuu runkobussiskenaariossa arviointijakson ulkopuolelle, mutta toteutetaan raitiotieskenaariossa raitiotien rakentamisen yhteydessä. Mikäli arviointijakso olisi pidempi, esimerkiksi 40 vuotta nykyisen 30 sijaan, johtosiirroista ja kunnallistekniikan uusimisesta aiheutuvat päästöt voisivat olla lähempänä toisiaan, sillä kunnallistekniikan uusiminen on luonteeltaan toistuvaa. Lisäksi runkobussiskenaariossa bussien reittejä ei ole suunniteltu ja tarkasteltu yhtä yksityiskohtaisesti kuin raitiotielinjausta, mikä lisää epävarmuutta rakennetun ympäristön rakentamisen suhteen ja voi johtaa joidenkin päästöjen poisjäämiseen laskelmista.

Liikenteestä aiheutuvia päästöjä vertailtaessa raitiotieskenaariion kokonaispäästöt ovat suuremmat kuin runkobussiskenaariossa, mutta asukaskohtaiset päästöt pienemmät. Tämä johtuu skenaarioiden erilaisista väestö- ja kulkutapaennusteista. Raitiotieskenaariossa Turun seudun väestön oletetaan kasvavan enemmän, koska raitiotien ja siihen liittyvän maankäytön kehittämisen oletetaan houkuttelevan uusia asukkaita. Väestön kasvu lisää väistämättä matkasuoritetta ja päästöjä. Tämän työn keskeinen tarkasteluyksikkö on kuitenkin asukaskohtaiset päästöt, jolloin asukkaiden alueellinen sijoittuminen on absoluuttista määrää olennaisempaa. Raitiotie ohjaa rakentamista ja väestönkasvua käytävänsä varrelle, missä joukkoliikenteen käyttö on todennäköisempää. Raitiotie vaikuttaa lisäksi paitsi uusien myös nykyisten asukkaiden liikkumiskäyttäytymiseen. Asumisen ja palveluiden tiivistyminen vähentää liikkumistarvetta ja ajosuoritetta, ja raitiotien koettu palvelutaso houkuttelee osan autoilijoista siirtymään joukkoliikenteeseen. Tästä syystä raitiotieskenaariossa asukaskohtaiset päästöt pienenevät, ja pitkällä aikavälillä myös kokonaispäästöt ovat pienemmät.

Oletus väestön alueellisesta sijoittumisesta vaikuttaa työn tuloksiin keskeisesti. Herkkyystarkastelut osoittavat, että raitiotiekäytävän läheisyydessä tapahtuva maankäytön kehitys ja siihen liittyvä väestön sijoittuminen ovat keskeisiä tekijöitä asukaskohtaisten kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Mikäli

väestön tiivistymistä raitiotien varrella ei huomioida, liikennöinnin aikaiset päästövähennykset eivät arviointijaksolla riitä kompensoimaan raitiotien rakentamisen aiheuttamia päästöjä. Sen sijaan tilanteessa, jossa väestömäärä on molemmissa skenaarioissa sama, ovat sekä kokonais- että asukaskohtaiset liikennöinnin aikaiset päästöt raitiotieskenaariossa pienemmät kuin runkobussiskenaariossa. Herkkyystarkastelu osoittaa, että pitkällä aikavälillä raitiotien hiilikädenjälki on positiivinen myös tässä tilanteessa, sillä pienemmät liikenteen päästöt kompensoivat ajan kanssa rakennetun ympäristön päästöjä.

On huomattava, että väestöennusteilla on merkittävä vaikutus tuloksiin. Tässä työssä Turun kaupungin alkuperäisiä raitiotien suunnitteluvaiheessa käytettyjä väestöennusteita jatkettiin vuoteen 2050 saakka, ja tämän jälkeen ennusteita ekstrapoloitiin linearisesti vuoteen 2062 kaupungin asiantuntija-arvion perusteella. Menetelmä on yksinkertaistava, sillä on epätodennäköistä, että samat alueet kasvavat samalla tahdilla pitkällä aikavälillä väestötiheyteen liittyvien rajoitteiden vuoksi. Tästä huolimatta ekstrapolointi edustaa parasta saatavilla olevaa arviota väestöennusteista, sillä virallisia ennusteita vuoden 2050 jälkeiselle ajalle ei ole. Koska tutkimuksen toiminnallinen yksikkö on asukaskohtaiset päästöt, tulokset ovat ensisijaisesti riippuvaisia oletuksista väestön alueellisesta jakautumisesta, eivät niinkään väestön kokonaismäärästä.

Herkkyystarkastelut osoittavat, että hiilikädenjälki pysyy positiivisena myös sähkön alkuperää koskevien oletusten muuttuessa. Raitiotieskenaarion liikennöinnin aikaiset päästöt ovat runkobussiskenaariota pienemmät riippumatta siitä, oletetaanko sähköntuotanto päästöttömäksi vai ei. Raitiotien hiilikädenjälki pysyy positiivisena riippumatta siitä, koskeeko päästöttömyys raitiovaunua, koko joukkoliikennettä vai kaikkia sähköajoneuvoja. Käytännössä raitiovaunun sähkön päästöttömyydellä on kokonaisuuden kannalta vain vähäinen merkitys, sillä raitiovaunun ajosuorite on pieni verrattuna henkilöautoliikenteeseen ja raskaaseen liikenteeseen.

## 7. Johtopäätökset

Tässä selvityksessä Turun raitiotien hiilikädenjälki määritettiin vertaamalla raitiotieskenaariota, vertailuskenaarioon, joka perustuu nykyisen runkobussiverkon jatkamiseen. Vertailu skenaarioiden kesken tehtiin kolmen päästöluokan osalta: kalustosta aiheutuvat päästöt, rakennetun ympäristön rakentamisesta aiheutuvat päästöt sekä liikenteen päästöt. Selvityksen tulokset osoittavat, että raitiotieskenaarion asukaskohtainen hiilikädenjälki on positiivinen verrattuna runkobussiskenaarioon, mikä tarkoittaa, että raitiotien aiheuttamat asukaskohtaiset kasvihuonekaasupäästöt ovat tarkastelujaksolla 2027–2062 pienemmät kuin runkobussiskenaarion päästöt. Runkobussiskenaarion jatkamiseen verrattuna raitiotieskenaario vähentää päästöjä keskimäärin 0,42 kg CO<sub>2</sub>e asukasta kohden vuodessa. Kasvihuonekaasupäästöjen näkökulmasta raitiotiellä on siten myönteisempi ilmastovaikutus kuin runkobusseilla. Tämä hiilikädenjälkiselvitys on ensimmäinen laatuaan, joten tuloksia ei pysty vertaamaan samankaltaisten selvitysten tuloksiin.

Kun kolmea päästöluokkaa tarkasteltiin koko arviointijakson ajalta, havaittiin, että sekä käytön aikaiset päästöt että kalustosta aiheutuvat päästöt ovat raitiotieskenaariossa asukasta kohden pienemmät kuin runkobussiskenaariossa, kun taas rakennetun ympäristön rakentamisesta aiheutuvat päästöt ovat raitiotiellä suuremmat. Kasvihuonekaasupäästöjen näkökulmasta Turun raitiotien keskeinen hyöty on siinä, että se kannustaa maankäytön tiivistymiseen raitiotien vaikutusalueella, joka lisää raitiotietä ensisijaisena kulkutapamuotona käyttävien asukkaiden määrää henkilöautoilun sijaan. Kaupunkirakenteen tiivistyminen lyhentää lisäksi arkisten matkojen pituutta, mikä vähentää Turun seudun asukaskohtaisia ajokilometrejä.

On tärkeää huomioida selvityksen rajoitteet. Laskelmat on toteutettu liitteessä B esitettyjen oletusten mukaisesti. Laskelma nojautuu oletuksiin, koska kaikista tarkastelluista tekijöistä ei ollut saatavilla täsmällistä tietoa, erityisesti runkobussiskenaarion osalta, joka ei ollut yhtä selkeästi määritelty kuin raitiotieskenaario. Runkobussiverkko ei ole yksittäinen hanke, minkä vuoksi sen tiedot jouduttiin kokoamaan useista eri lähteistä. Lisäksi rakennetun ympäristön rakentamiseen liittyvää tietoa oli runkobussiskenaariossa heikommin saatavilla, koska muutokset rakennetussa ympäristössä ovat enemmän sidoksissa katujen pitkän aikavälin korjaussuunnitelmiin kuin runkobussiverkon jatkamiseen. Vertailukelpoisuuden säilyttämiseksi molemmille skenaarioille oli varmistettava samantasoinen tiedon saatavuus, minkä vuoksi osa hankkeen piirteistä, kuten rakennetun ympäristön kunnossapito, jätettiin laskelmien ulkopuolelle puutteellisen aineiston vuoksi. Siitä huolimatta selvitys osoittaa, että runkobussiskenaariokaan ei ole päästötön, vaan edellyttää infrastruktuurin peruskorjauksia ja kunnostuksia, joista aiheutuu päästöjä.

Koska selvitys koskee tulevia päästöjä, on laskelmat perustettu erilaisiin arvioihin ja ennusteisiin. Esimerkiksi sähköajoneuvojen osuuden kehitys ja rakennusmenetelmät vaikuttavat päästöihin, mutta näiden tulevasta kehityksestä ei ole varmaa tietoa ja trendien ekstrapolointi tuo mukanaan epävarmuuksia. Lisäksi väestöennuste ekstrapoloitiin lineaarisesti Turun kaupungin vuodelle 2050 laatimista ennusteista. Tämä lähestymistapa on yksinkertaistettu väestöennuste, sillä on epätodennäköistä, että samat alueet kasvaisivat samalla tahdilla pitkällä aikavälillä esimerkiksi tonttitehokkuuden ja väestötiheyden rajoitteiden vuoksi. Tästä huolimatta menetelmää pidetään parhaana käytettävissä olevana arviona, koska vuoden 2050 jälkeistä pitkän aikavälin ennustetta ei ole saatavilla. Skenaarioiden vertailukelpoisuus varmistettiin käyttämällä molemmissa skenaarioissa samaa menetelmää arvioiden ja ennusteiden muodostamiseen.

Näistä rajoitteista huolimatta oletusten ja menetelmien johdonmukainen soveltaminen molemmissa skenaarioissa mahdollisti raitiotie- ja runkobussiskenaarioiden päästöjen onnistuneen vertailun. Raitiotien positiivinen hiilikädenjälki asukaskohtaisissa päästöissä osoittaa, että rakentamisvaiheen merkittävät lyhyen aikavälin päästöt kompensoituvat käytön aikaisilla pienemmillä päästöillä raitiotien

elinkaaren aikana. Tämä johtaa kokonaisuutena pienempiin asukaskohtaisiin kasvihuonekaasupäästöihin Turun seudulla. Käytön aikaiset pienemmät päästöt johtuvat siitä, että raitiotie edistää joukkoliikenteen käyttöä henkilöautoilun sijaan sekä kaupunkirakenteen tiivistymistä radan varrella, mikä lyhentää matkojen pituuksia. Lisäksi herkkyystarkastelut osoittavat, että vaikka raitiotieskenaariossa ei oletettaisi tiivistymistä tai suurempaa väestömäärää, kalusto- ja käyttöpäästöt ovat silti alhaisemmat kuin runkobussiskenaariossa, mikä osoittaa raitiotien pitkän aikavälin päästöjen olevan pienemmät riippumatta väestökehityksestä.

Arviointijakson pidentäminen olisi tuonut vahvemmin esiin hankkeen pitkän aikavälin vaikutuksia päästöihin. Väestö- ja liikenne-ennusteiden rajallisen saatavuuden vuoksi pidempi ekstrapolointi ei kuitenkaan ollut mahdollista. Selvityksen tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että huolimatta raitiotien rakentamisen korkeammista alkuvaiheen päästöistä, sen odotetaan aiheuttavan pitkällä aikavälillä runkobussiskenaariota pienemmät kokonaispäästöt.

## Lähteet

- Baum-Snow, N., & Kahn, M. E. (2000). The effects of new public projects to expand urban rail transit. *Journal of Public Economics*, 241-263.
- Behm, K., Husgafvel, R., Hohenthal, C., Pihkola, H., & Vatanen, S. (2016). *Carbon handprint - Communicating the good we do*. Retrieved from <https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2016/VTT-R-00452-16.pdf>
- Biemer, J., Dixon, W., & Blackburn, N. (2013). Our environmental handprint: The good we do. *1st IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)*, (pp. 146-153). Portland. doi:10.1109/SusTech.2013.6617312
- Cao, X., & Yang, W. (2017). Examining the effects of the built environment and residential self-selection on commuting trips and the related CO2 emissions: An empirical study in Guangzhou, China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 480-494.
- City of Turku. (2023). *Turun raitiotien yleissuunnitelma Satama-Varissuo*. Retrieved from [https://turunraitiotie.fi/wp-content/uploads/2024/10/Turun-raitiotien-yleissuunnitelma\\_raportti-11.5.2023-1.pdf](https://turunraitiotie.fi/wp-content/uploads/2024/10/Turun-raitiotien-yleissuunnitelma_raportti-11.5.2023-1.pdf)
- EIB. (2023). *EIB Project Carbon Footprint Methodologies*. Retrieved from [https://www.eib.org/attachments/lucalli/eib\\_project\\_carbon\\_footprint\\_methodologies\\_2023\\_en.pdf](https://www.eib.org/attachments/lucalli/eib_project_carbon_footprint_methodologies_2023_en.pdf)
- Ewing, R., & Cervero, R. (2010). Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis. *Journal of the American Planning Association*, 265-294.
- Guillaume, J. H., Sojamo, S., Porkka, M., Gerten, D., Jalava, M., Lankoski, L., . . . Kumm, M. (2020). Giving Legs to Handprint Thinking: Foundations for Evaluating the Good We Do. *Earth's Future*, 8. doi:10.1029/2019EF001422
- IES. (2022). *Flexity Tram EPD*. Retrieved from <https://www.environdec.com/library/epd521>
- IES. (2023). *B15E01 eBus EPD*. Retrieved from <https://www.environdec.com/library/epd10440>
- IES. (2024). *B18E01 Pure Electric Bus EPD*. Retrieved from <https://www.environdec.com/library/epd16028>
- IES. (2025). *Tram Forcity Smart Artic X34*. Retrieved from <https://www.environdec.com/library/epd23924>
- ISO. (2017). *Environmental labels and declarations. Principles, requirements and guidelines for communication of footprint information (ISO Standard No. 14026:2017)*. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/67401.html>
- ISO. (2022a). *Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework (ISO Standard No. 14040:2006)*. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/37456.html>
- ISO. (2022b). *Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines (ISO Standard No. 14044:2006)*. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/38498.html>
- ISO. (2024). *Greenhouse gases. Carbon footprint of products. Requirements and guidelines for quantification (ISO Standard No. 14067:2018)*. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/71206.html>

- Kasurinen, H., Vatanen, S., Grönman, K., Pajula, T., Lakanen, L., Salmela, O., & Soukka, R. (2019). Carbon Handprint: Potential Climate Benefits of a Novel Liquid-Cooled Base Station with Waste Heat Reuse. *Energies*, 12(23), 4452. doi:<https://doi.org/10.3390/en12234452>
- Koljonen, T., Silfver, T., Soimakallio, S., Koreneff, G., Lehtilä, A., Markkanen, J., . . . Koskivaara, O. (2024). *Perusskenaariot energia- ja ilmastotoimien kokonaisuudelle kohti päästöttömyyttä (PEIKKO)*. Helsinki: Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja No. 2024:26.
- Lakanen, L., Grönman, K., S., V., Kasurinen, H., Soininen, A., & Soukka, R. (2021). Applying the handprint approach to assess the air pollutant reduction potential of paraffinic renewable diesel fuel in the car fleet of the city of Helsinki. *Journal of Cleaner Production*, 290. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125786>
- Lakanen, L., Kumpulainen, H., Helppi, O., Grönman, K., & Soukka, R. (2022). Carbon Handprint Approach for Cities and Regions: A Framework to Reveal and Assess the Potential of Cities in Climate Change Mitigation. *Sustainability*, 14(11), 6534. doi:<https://doi.org/10.3390/su14116534>
- Lakanen, L., Kumpulainen, H., Helppi, O., Grönman, K., & Soukka, R. (2022). Carbon Handprint Approach for Cities and Regions: A Framework to Reveal and Assess the Potential of Cities in Climate Change Mitigation. *Sustainability*, 14(11), 6534. doi:<https://doi.org/10.3390/su14116534>
- Pogonyi, C. G., Graham, D. J., & Carbo, J. M. (2021). Metros, agglomeration and displacement. Evidence from London. *Regional Science and Urban Economics*.
- Ramboll. (2025). *Turun raitiotien Satama-Varissuo liikenne-ennuste*. Retrieved from <https://turunraitiotie.fi/wp-content/uploads/2025/02/Turun-raitiotien-liikenne-ennuste-%E2%80%93-raportti-04022025.pdf>
- Ratner, K. A., & Goetz, A. R. (2013). The reshaping of land use and urban form in Denver through transit-oriented development. *Cities*, 31-46.
- Škoda. (2025a). Retrieved October 6, 2025, from Tekniset tiedot Elroq vm. 2026: <https://www.skoda.fi/autot/elroq/elroq>
- Škoda. (2025b). Retrieved October 6, 2025, from Tekniset tiedot Enyaq & Enyaq Coupé vm 2026: <https://www.skoda.fi/autot/uusi-enyaq/uusi-enyaq>
- Spears, S., Boarnet, M. G., & Houston, D. (2017). Driving reduction after the introduction of light rail transit: Evidence from an experimental-control group evaluation of the Los Angeles Expo Line. *Urban Studies*, 2780-2799.
- Statistics Finland. (2024). Retrieved September 29, 2025, from Sähköntuotannon päästökertoimet ja uusiutuvan sähkön tuotannon osuus muuttujina 2024 ja Sähköntuotannon CO<sub>2</sub>-päästökerroin (g CO<sub>2</sub>/kWh): [https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_\\_ehk/statfin\\_ehk\\_pxt\\_14qt.px/](https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehk/statfin_ehk_pxt_14qt.px/)
- Traficom. (2024). *Valtakunnalliset liikenne-ennusteet; Tausta ja makroennusteet 2024*. <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/liikennejarjestelma/valtakunnalliset-liikenne-ennusteet>.
- Volvo. (2025a). Retrieved October 6, 2025, from Tutustu EX30:n teknisiin tietoihin: <https://www.volvocars.com/fi/cars/ex30-electric/specifications/>

- Volvo. (2025b). Retrieved October 6, 2025, from Tutustu EX90:n teknisiin tietoihin: <https://www.volvocars.com/fi/cars/ex90-electric/specifications/>
- VTT & LUT. (2025). *Carbon Handprint (2016-2018)*. Retrieved from Handprint: <https://handprint.fi/carbon-handprint/>
- VTT. (2018). *Carbon Handprint Guide*. VTT. Retrieved from [https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/22508565/Carbon\\_Handprint\\_Guide.pdf](https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/22508565/Carbon_Handprint_Guide.pdf)
- VTT. (2021). *Carbon Handprint Guide 2.0*. Retrieved from [https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2021/Carbon\\_handprint\\_guide\\_2021.pdf](https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2021/Carbon_handprint_guide_2021.pdf)
- WBCSD & WRI. (2004). *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard*. World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development. Retrieved from <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>
- WSP Finland. (2022a). *Kustannuslaskenta ja päästöarvio*. City of Turku. Retrieved from [https://turunraiotie.fi/wp-content/uploads/2024/10/liite\\_7.1\\_kustannuslaskenta\\_ja\\_paastoarvio.pdf](https://turunraiotie.fi/wp-content/uploads/2024/10/liite_7.1_kustannuslaskenta_ja_paastoarvio.pdf)
- WSP Finland. (2022b). *Rakentamiskustannukset ja päästöarviot osioittain*. City of Turku. Retrieved from [https://turunraiotie.fi/wp-content/uploads/2024/10/liite\\_7.3\\_kustannuslaskennan-tulokset-ja-paastoarviot-osioittain.pdf](https://turunraiotie.fi/wp-content/uploads/2024/10/liite_7.3_kustannuslaskennan-tulokset-ja-paastoarviot-osioittain.pdf)
- WSP Finland. (2022c). *Kustannusarvio ryhmittäin*. City of Turku. Retrieved from [https://turunraiotie.fi/wp-content/uploads/2024/10/liite\\_7.4\\_fore-hankeosalaskentaraportit.pdf](https://turunraiotie.fi/wp-content/uploads/2024/10/liite_7.4_fore-hankeosalaskentaraportit.pdf)
- WSP Finland. (2022d). *Pitoajat ja jäännösarvot*. City of Turku. Retrieved from [https://turunraiotie.fi/wp-content/uploads/2024/10/liite\\_7.5\\_pitoajat-ja-jaannosarvot.pdf](https://turunraiotie.fi/wp-content/uploads/2024/10/liite_7.5_pitoajat-ja-jaannosarvot.pdf)
- WSP Finland. (2022e). *Turun raitiotien pintamateriaalien hiilijalanjätkivertailuja*. City of Turku. Retrieved from [https://turunraiotie.fi/wp-content/uploads/2024/10/liite\\_7.6\\_pintamateriaalien\\_ja\\_kalusteiden\\_hiilijalanjalkivertailun\\_raportti.pdf](https://turunraiotie.fi/wp-content/uploads/2024/10/liite_7.6_pintamateriaalien_ja_kalusteiden_hiilijalanjalkivertailun_raportti.pdf)
- Yang, H. (2023). Assessing the Effects of New Light Rail Transit on Regional Traffic Congestion and Transit Ridership: A Synthetic Control Approach. *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS*, 7613-7620.

## Liitteet

### Liite A: Turun seudun väestökehitys liikennöintijakson aikana

Runkobussi- ja raitiotieskenaariolle oletetaan erilainen väestönkehitys. Väestö perustuu Turun raitiotien liikenne-ennusteeseen (Ramboll Finland, 2025).

	Runkobussiskenaario	Raitiotieskenaario
2032	384 863	392 479
2033	387 648	395 998
2034	390 433	399 518
2035	393 219	403 037
2036	396 004	406 557
2037	398 789	410 076
2038	401 574	413 595
2039	404 359	417 115
2040	407 145	420 634
2041	409 930	424 154
2042	412 715	427 673
2043	415 500	431 192
2044	418 285	434 712
2045	421 071	438 231
2046	423 856	441 751
2047	426 641	445 270
2048	429 426	448 789
2049	432 211	452 309
2050	434 997	455 828
2051	437 782	459 348
2052	440 567	462 867
2053	443 350	466 384
2054	446 133	469 902
2055	448 916	473 419
2056	451 699	476 936
2057	454 482	480 454
2058	457 265	483 971
2059	460 048	487 488
2060	462 831	491 005
2061	465 614	494 523
2062	468 397	498 040

## Liite B: Runkobussi- ja raitiotieskenaarioiden oletukset

Päästö-luokka	Aihe	Perus- skenaario (P) / Hanke- skenaario (H)	Lisätiedot	Oletus
Yleiset oletukset	Arviointijakso	P / H	Arviointijakso on määriteltävä, jotta voidaan ottaa huomioon rakentamisen ja ajoneuvojen osaluokkien elinkaaret.	Arviointijakso on 35 vuotta, vuodesta 2027 vuoteen 2062.
	Rakentamiskausi	P / H	Turun raitiotien yleissuunnitelman mukaan rakentaminen ajoittuu vuosille 2027–2032.	Raitiotieskenaariossa jokaisen uuden rakennusosan oletetaan aiheuttavan päästöjä vuosina 2027–2032, kun taas runkobussien rakentaminen tehdään laskentajaksoilla 2030–2060 tehtyjen yleishyödyllisten uusimisten elinkaariarvioiden mukaisesti. Myös kaluston valmistuksen oletetaan aiheuttavan päästöjä molemmissa skenaarioissa vuosina 2027–2032.
	Liikennöintijakso	P / H	Turun raitiotien yleissuunnitelman mukaan raitiotien liikennöinti alkaa noin vuonna 2032. Liikenteen ennustemalli tuottaa tietoja vuodesta 2030 alkaen.	Sekä runkobussi- että raitiotieskenaarioiden liikennöinti on 30 vuotta vuosien 2032–2062 välillä skenaarioiden vertailukelpoisuuden varmistamiseksi. Tämän oletetaan vastaavan laskentajaksoa 2030–2060.
	Väestönkehitys 2032–2050	P / H	Skenaarioissa käytetään erilaisia väestöennusteita. Molemmissa skenaarioissa väestöennuste perustuu Turun seudun liikenteen ennustemalliin vuoteen 2050 asti.	Vuonna 2050 Turun seudun väestön odotetaan olevan runkobussiskenaariossa 434 997 asukasta ja raitiotieskenaariossa 455 828 asukasta. (ks. Liite A)
	Väestönkehitys 2050–2062	P / H	Väestöennuste ulottuu vuoteen 2050 asti, mikä tarkoittaa, että väestöennustetta ei ole saatavilla arviointijakson viimeiselle 12 vuodelle.	Väestön oletetaan jatkavan lineaarisesta kasvusta vuosien 2050 ja 2062 välillä.

	<b>Kaluston ja rakennetun ympäristön päästöt raitiotiekäytävän ulkopuolella</b>	P / H	Hiilikädenjäljen laskennan toiminnallinen yksikkö käsittää koko Turun seudun. Tämä työ keskittyy raitiotiekäytävän varrella tapahtuviin muutoksiin, eikä selvityksen piiriin kuulu tarkastella koko Turun seudun rakennetun ympäristön ja joukkoliikenneverkon muutoksia.	Raitiotiekäytävän ulkopuolisen rakennetun ympäristön ja kaluston päästöjen oletetaan olevan samat runkobussi- ja raitiotieskenaarioissa. Näitä ei ole sisällytetty kummankaan skenaarion laskelmiin.
<b>Kaluston valmistus ja huolto</b>	<b>Sähköbussityyppi</b>	P	Kaluston käyttöikä ja rakentamisen ja huollon päästöt löytyvät tuoteselosteesta.	Bussikaluston oletetaan koostuvan FÖLLn (Turun seudun joukkoliikenne) Turussa tällä hetkellä liikennöimistä busseista, eli B15E01 eBus -sähköbussit. Laskelmissa on käytetty tietoja ympäristöselosteista (EPD-raporteista).
	<b>Bussikaluston määrä eri skenaarioissa</b>	P / H	Raitiotien vaikutusten arvioimiseksi kaupungin päästövähennyksiin tarvitaan tietoja eri skenaarioiden bussikaluston koosta.	Runkobussiskenaariossa raitiokäytävällä liikennöivien bussien lukumäärä on 21 sähköbussia + 3 varasähköbussia. Raitiotieskenaariossa ei oletettu vaativan uusia busseja raitiokäytävälle. Raitiokäytävän ulkopuolella liikennöivien bussien oletetaan olevan samoja molemmissa skenaarioissa, joten niitä ei oteta huomioon kalustolaskelmissa.
	<b>Sähköbussin käyttöikä</b>	P	Kaluston käyttöikä on oltava tiedossa, jotta tiedetään, onko kalustoa tarpeen uusia arviointijakson aikana.	Oletettu käyttöikä sähköbusseille on 20 vuotta. Bussit hankitaan ennen liikennöinnin alkamista, mikä tarkoittaa, että ne uusitaan kerran arviointijakson aikana.
	<b>Raitiovaunutyyppi</b>	H	Raitiovaunukaluston käyttöikä ja rakentamisen ja huollon päästöt löytyvät tuoteselosteesta.	Raitiovaunutyyppi on Alstom Flexity M33 -raitiovaunu, sama kuin Göteborgin raitiovaunukalustossa.
	<b>Raitiovaunukaluston määrä</b>	H	Raitiovaunukaluston päästölaskelmaan tarvitaan kaupungissa liikennöivien ajoneuvojen määrä.	Raitiovaunukaluston oletetaan koostuvan 12 raitiovaunusta ja 2 varavaunusta.

	<b>Raitiovaunun käyttöikä</b>	H	Kaluston käyttöikä on oltava tiedossa, jotta tiedetään, onko kalustoa tarpeen uusia arviointijakson aikana.	Raitiovaunujen oletettu käyttöikä on 40 vuotta. Näin ollen raitiovaunuja ei ole tarpeen uusia arviointijakson aikana.
	<b>Kaluston valmistuksen ja huollon yksikköpäästöt arviointijakson aikana</b>	P / H	Jotta voidaan määrittää kaluston elinkaaren aikaiset päästöt, huollosta ja valmistuksesta aiheutuvat päästöt on tiedettävä koko arviointijaksolta.	Oletetaan, että ajoneuvon valmistuksen ja huollon yksikkökohtaiset päästöt pysyvät samoina arviointijakson aikana.
	<b>Kaluston uusiminen</b>	P	Bussit uusitaan kerran arviointijakson aikana, mutta tällä hetkellä ei ole saatavilla tietoa FÖL:n tulevista kalustohankinnoista.	Oletetaan, että bussikaluston uusimisen yhteydessä hankitaan sama määrä ja samantyyppisiä busseja (eli 24 kpl B15E01-sähköbusseja).
<b>Rakennetun ympäristön rakentaminen</b>	<b>Rakentamisen päästöt uusien rakenteiden osalta</b>	P / H	Runkobussiskenaarion päästöt perustuvat Turun raitiotien päästölaskelmiin. Tarkimpien päästölaskelmien saamiseksi on määriteltävä, mitä laskelmiin sisällytetään.	Runkobussiskenaarion rakennetun ympäristön päästöt laskettiin samoilla päästöyksiköillä kuin raitiotien päästölaskelmissa skenaarioiden vertailukelpoisuuden varmistamiseksi. Katujen uusimisen määrittämisessä oletetaan, että katua ei uusita, ellei johtosiirtoja tarvita.
	<b>Elinkaarivaiheen arviointi jo uusittujen rakenteiden osalta</b>	P / H	Katuja ei oleteta uusittavan, ellei johtosiirtoja uusita arviointijakson aikana.	Turun Raitiotieallianssi toimitti tiedot tarvittavien uusimisten elinkaareista johtosiirtoja varten. Jos johdon odotettiin tulevan käyttöikänsä päähän liikennöintijakson (2032–2062) aikana, laskelmaan sisällytettiin vastaava kunnallistekniikan uusiminen ja saneeraus sekä niihin liittyvät putkipäästöt. Päällysrakenteet uusittiin johtosiirtojen uusimisten perusteella lukuun ottamatta yhtä katua (Joukahaisenkatu), jonka Turun kaupungin kunnossapitoyksikkö arvioi tarvitsevan uusimista arviointijakson aikana. Uusimisen päästöarvot eroavat raitiotien laskelmista, koska johtosiirtojen uusiminen ja saneeraus tapahtuvat rinnakkain raitiotien rakentamisen kanssa. Useimpien kunnallistekniikan

				uusimisten ja saneerausten elinkaari on 50 vuotta, mikä tarkoittaa, että tekniikkaa ei tarvitse uusia raitiotieskenaariota varten arviointijakson aikana.
	<b>Rakentamisen yksikköpäästöt arviointijakson aikana</b>	P / H	Rakennetun ympäristön elinkaaren aikaisten päästöjen määrittämiseksi on tiedettävä rakentamisen päästöjä koko arviointijaksolta.	Rakennetun ympäristön rakentamisen ja uudistamisen yksikkökohtaisten päästöjen oletetaan olevat samat arviointijakson aikana.
<b>Liikenteen aikaiset päästöt</b>	<b>Sähköajoneuvojen kulutapaosuus</b>	P / H	Sähköajoneuvojen kulutapaosuuksia verrattiin diesel- ja bensiinikäyttöisiin henkilöautoihin, jotta voitiin laskea, kuinka paljon sähköntuotannon päästöjä tulisi ajoneuvojen päästöihin.	Turun seudun osalta käytettiin Traficomien lukuja Varsinais-Suomen moottoriliikenteen kulutapaosuuden ennusteiden laskemiseksi. Kulutapaosuutta käytettiin sähkö- ja polttomoottoriautojen suhteellisen prosenttiosuuden arvioimiseen ja siten sähköautojen kulutapaosuuden arvioimiseen Turun seudulla.
	<b>Sähköistetyin raskaan liikenteen kulutapaosuus</b>	P / H	Liikenne-ennusteen sähköajoneuvojen päästöjen oletettiin olevan nolla. Sähkön päästöjen lisäämiseksi kuorma-autojen kulutapaosuutta tarkasteltiin lisäämällä päästökerroin liikenne-ennusteessa tehtyjen laskelmien päälle.	Sähköistettyä raskasta liikennettä ei otettu mukaan laskelmiin. Sähkökuorma-autojen osuus kulkumuotojen välillä laskettiin samalla menetelmällä kuin sähköajoneuvojen. Tulokset osoittivat lähes 0 prosentin kulutapaosuutta, minkä vuoksi sähkökuorma-autoja ei ole sisällytetty laskelmiin.
	<b>Hybridiajoneuvot liikenteessä</b>	P / H	Hybridiautoista ja niiden mahdollisesta sisältämisestä liikenne-ennusteen laskelmiin ei ole riittävästi tietoa.	Hybridiautoja ei sisällytetty laskelmiin.
	<b>Sähköajoneuvojen energiatehokkuus</b>	P / H	Sähköautoille oletettiin samanlainen hyötysuhde automerkistä riippumatta, jotta autojen liikenteessä käyttämän sähkö voitaisiin laskea ja siten määrittää sähkökäytöstä syntyneet päästöt.	Sähköautojen osalta oletettiin vakioenergiatehokkuus, joka perustuu yleisiin sähkökäyttöisten henkilöajoneuvojen (vuoden 2025 mallien) keskiarvoon.

	<b>Liikennemuoto-siirtymä</b>	P / H	Liikennemuotosiirtymä määritetään skenaarioiden kulkutapaosuuksien välisen eron perusteella.	Oletetaan olevan sama kuin liikenteen ennustemallissa.
	<b>Bussien ajoneuvosuorite</b>	P / H	Bussien ajoneuvosuorite tarvitaan liikenteen aikaisten päästöjen määrittämiseksi.	Bussien ajoneuvosuorite perustuu liikenteen ennustemallin suoritteisiin.
	<b>Raitiovaunujen ajoneuvosuorite</b>	H	Raitiovaunujen ajoneuvosuorite tarvitaan liikenteen aikaisten päästöjen määrittämiseksi.	Raitiovaunujen ajoneuvosuorite perustuu liikenteen ennustemallin suoritteisiin. Runkobussiskenaariossa kyseinen suorite on nolla, ja raitiotieskenaariossa suorite on mallin perusteella vakio.
	<b>Henkilö-ajoneuvojen ja raskaan liikenteen ajoneuvosuoritteet</b>	P / H	Henkilöajoneuvojen ja raskaan liikenteen ajoneuvosuoritteet tarvitaan liikenteen aikaisten päästöjen määrittämiseksi.	Henkilöajoneuvojen ja raskaan liikenteen ajoneuvosuorite perustuu liikenteen ennustemallin suoritteisiin.
	<b>Sähköajoneuvojen päästökertoimet</b>	P / H	Liikenne-ennusteessa sähköntuotannon päästöjen oletettiin olevan nolla. Sähköntuotannon päästöt otettiin nyt mukaan molempiin skenaarioihin, jotta liikenteen aikaiset päästöt voitaisiin laskea tarkemmin.	Sähköntuotannon ei oleteta olevan päästötöntä. Sähköntuotannon päästöt perustuvat Tilastokeskuksen tietoihin ja nämä lisätään henkilö- ja kuorma-autojen liikenne-ennusteessa laskettujen päästökertoimiin.