



**SUOMIRADAN HANKEVAIHTO-
EHTOJEN RAKENTAMISEN AI-
KAISTEN ILMASTOPÄÄSTÖJEN
ARVIOINTI**

Päivitys 31.3.2023

Suomiradan hankevaihtoehtojen rakentamisen aikaisten ilmastopäästöjen arviointi

Päivitys 31.3.2023

9/2022

Peter Kolis, Heini Koutonen, Martti Hallipelto ja Taavi Dettenborn Ramboll Finland Oy

Peter Kolis, Heini Koutonen, Martti Hallipelto ja Taavi Dettenborn Ramboll Finland Oy: Suomiradan hankevaihtoehtojen rakentamisen aikaisten ilmastopäästöjen arviointi - Päivitys 31.3.2023 Suomi-rata Oy Vantaa 2022. 9/2022. 43 sivua.

Avainsanat: ilmastopäästöt, suurnopeusrata, lentorata, pääradan kehittäminen

Tiivistelmä

Tämän selvityksen tavoitteena on arvioida Helsinki–Tampere välin raideliikenteen kehittämisvaihtoehtojen rakentamisen aikaisia ilmastopäästöjä. Ilmastopäästöt laskettiin hiilidioksidiekvivalentteina kilogrammoina (kg CO_{2e}). Vertailut vaihtoehdot ovat uusi suurnopeusrata Pasilasta Tampereelle ja pääradan kehittäminen sisältäen uusien raiteiden ja radanoikaisujen rakentamisen. Molempiin vaihtoehtoihin sisältyy myös Lentoradan rakentamisen aikaiset ilmastopäästöt. Arviot kokonaisilmastopäästöistä sisältävät sekä rakentamisesta aiheutuvat että maankäytön muutoksesta aiheutuvat ilmastopäästöt.

Hankevaihtoehtojen ilmastopäästöt arvioitiin vuoden 2022 tasolla. Lisäksi selvityksessä muodostettiin arvio ilmastopäästöjen tasosta vuonna 2035.

Suurnopeusradan, sisältäen Lentoradan rakentamisen, ilmastopäästöjen kokonaismääräksi arvioitiin vuoden 2022 tasolla **1927** Mkg CO_{2e}. Vuonna 2035 suurnopeusradan ilmastopäästöjen kokonaismäärän arvioitiin sijoittuvan **810** Mkg CO_{2e} ja **1510** Mkg CO_{2e} välille.

Pääradan kehittämisen, sisältäen Lentoradan rakentamisen, ilmastopäästöjen kokonaismääräksi arvioitiin vuoden 2022 tasolla 1081 Mkg CO_{2e}. Vuonna 2035 suurnopeusradan ilmastopäästöjen kokonaismäärän arvioitiin sijoittuvan 450 Mkg CO_{2e} ja 850 Mkg CO_{2e} välille.

Selvitys on laadittu syksyllä 2022 ja siihen on tehty päivitys maaliskuussa 2023. Päivitetyt osuudet on esitetty punaisella fontilla.

Sisältö

TIIVISTELMÄ	3
1 JOHDANTO	5
1.1 Selvityksen tavoitteet	5
1.2 Tarkastellut linjausvaihtoehdot.....	5
2 ILMASTOPÄÄSTÖJEN ARVIOINTIMENETELMÄ.....	7
2.1 Aineisto.....	7
2.2 Rakentamisesta aiheutuvat päästöt	8
2.3 Maankäytön muutoksista aiheutuvat päästöt	11
3 RAKENTAMISEN PÄÄSTÖT VUODEN 2022 PÄÄSTÖTASOLLA	14
3.1 Päästölaskennan tulokset	14
3.2 Rakentamistöistä aiheutuvat päästöt	15
3.3 Maankäytön muutoksesta aiheutuvat päästöt	15
3.4 Päästöjen jakautuminen.....	21
4 RAKENTAMISEN PÄÄSTÖT VUONNA 2035.....	24
4.1 Skenaarion esittely	24
4.1.1 Metodien esittely	24
4.1.2 Päästölähderyhmien päästöjen jakautuminen	25
4.1.3 Sementin valmistuksen päästökehitys	29
4.1.4 Teräksen valmistuksen päästökehitys	31
4.1.5 Työkoneiden ja kuljetuskaluston päästökehitys	33
4.2 Rakentamisen aikaiset päästöt 2035 skenaariossa.....	34
4.2.1 Skenaarion vaikutus päästöjakaumaan	35
5 PÄÄSTÖVÄHENNYSKEINOT.....	37
6 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	39

LIITTEET

Liite Nro Kirjoita liitteen otsikko

Liite Nro Kirjoita liitteen otsikko

1 Johdanto

1.1 Selvityksen tavoitteet

Selvityksen tavoitteena on vertailla pääkaupunkiseudun ja Tampereen yhdistävän raideyhteyden kehittämisvaihtoehtojen ilmastopäästöjä. Ilmastopäästöjä arvioidaan hiilidioksidiekvivalenteina kilogrammoina (kg CO_{2e}), joka kuvaa päästöjen vaikutusta verrattuna kilogrammaan hiilidioksidia. Ilmastopäästöjä selvitetään kehittämisvaihtoehtojen hankeosista laadittujen kustannusarvioiden perusteella. Selvityksessä ilmastopäästöt arvioidaan kokonaisuutena, joka sisältää sekä rakentamisesta aiheutuvat päästöt että maankäytön muutoksista aiheutuvat päästöt.

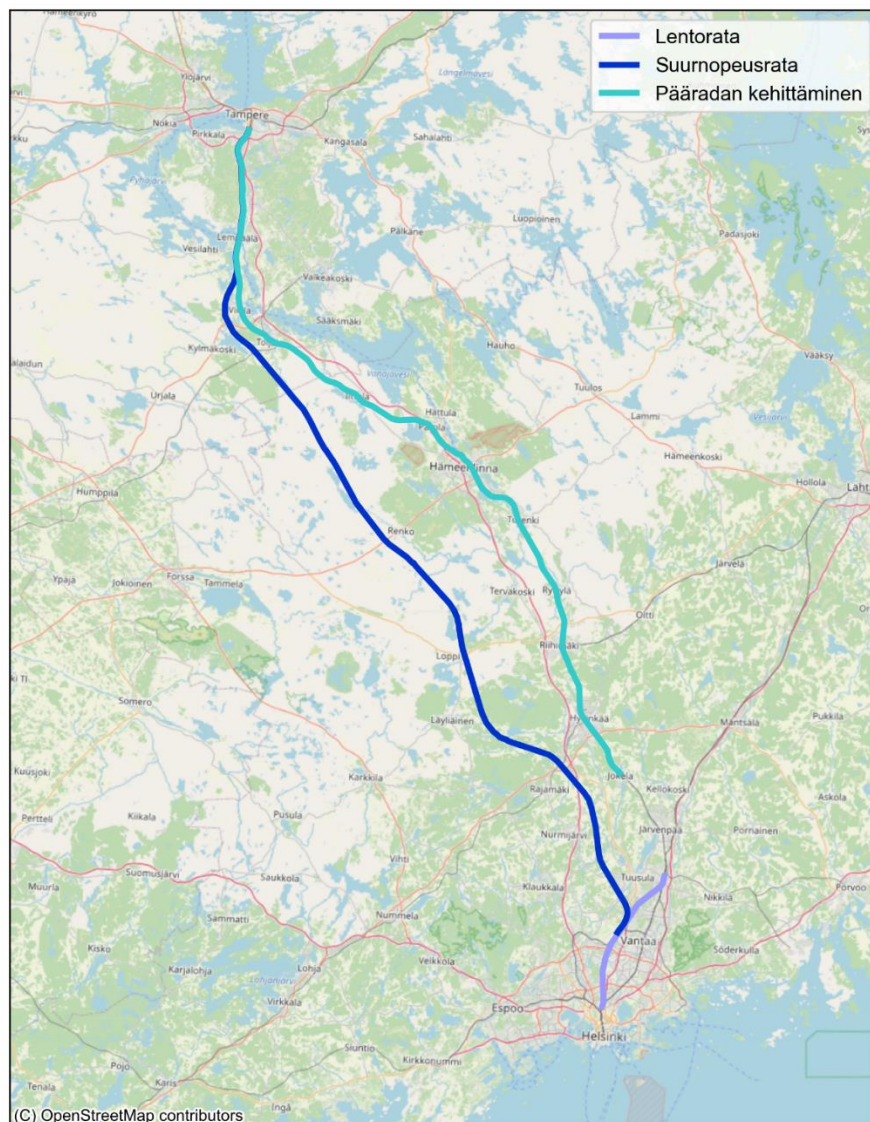
Suurnopeusyhteyden rakentaminen olisi arvioiden mukaan mahdollista toteuttaa 2030-luvun puolivälissä. Selvityksessä on tämän takia muodostettu arvio kehittämisvaihtoehtojen päästötasosta vuonna 2035.

Selvityksessä koottiin myös listaus selvityksen aikana tunnistetuista päästövähennykeinoista.

*Maaliskuussa 2023 selvitykseen lisättiin maankäytön muutoksista aiheutuvien päästöjen tarkentuneet tulokset suurnopeusratavaihtoehdon osalta. Suurnopeusradan vaikutuksia hiilivarastoihin ja hiilinieluihin tarkennettiin osana *Ekologisen ja uudistavan suunnittelun periaatteet -selvitystä* (Rauhala ym. 2023).*

1.2 Tarkastellut linjausvaihtoehdot

Selvityksessä tarkasteltiin kahta vaihtoehtoista raidelinjausta. Linjausvaihtoehdot ovat uusi suurnopeusrata Helsinki–Vantaan lentoasemalta Tampereelle ja nykyisen pääradan kehittäminen välillä Vantaa/Riihimäki – Tampere. Pääradan kehittämisvaihtoehto sisältää sekä lisäraiteiden rakentamisen että radan oikaisuja. Molempien linjausvaihtoehtojen ilmastopäästöarvioon sisällytettiin Lentoradan rakentaminen välillä Pasila – Kerava. Muodostetuista linjauksista (kuva 1) käytetään tässä asiakirjassa nimityksiä ”suurnopeusrata” sekä ”pääradan kehittäminen”.



Kuva 1 Hankevaihtoehtojen linjaukset.

Suurnopeusrata sisältää uuden kaksiraiteisen henkilöliikenteen radan rakentamisen Helsinki–Vantaan lentoasemalta Lempäälään. Radan pituus on 135 km. Lisäksi Lempäälän ja Tampereen välillä parannetaan olemassa olevaa rataa 23 km matkalta. Suurnopeusradan yhteispituus on välillä Helsinki–Vantaa – Tampere **158 km**. Radasta 18,2 km kulkee tunnelissa. Uuteen kaksiraiteiseen rataan välillä Helsinki–Vantaa – Lempäälään kuuluu 20 siltaa. Siltojen yhteispituus on arviolta 17,8 km. Lempäälä – Tampere välisellä osuudella suurnopeusvaihtoehdon rakentaminen sisältää lisäksi 26 sillan rakentamisen.

Pääradan kehittäminen Vantaa/Riihimäki – Tampere välillä sisältää lisäraiteiden ja radanoikaisujen rakentamisen välillä Jokela – Tampere. Rataa kehitettäisiin yhteensä **136,5 km** matkalla. Lisäraiteiden rakentamisen jälkeen rata olisi kokonaisuudessaan neliraiteinen. Hanke sisältää 97 sillan rakentamisen.

Molempien hankevaihtoehtojen rakentamisen ilmastopäästöjen arvioinnit sisältävät lisäksi pääosin tunnelissa kulkevan Lentoradan rakentamisen. **Lentoradan** pituus on arviolta **30 km**.

2 Ilmastopäästöjen arviointimenetelmä

2.1 Aineisto

Ilmastopäästöjen arvioinnin perustana käytettiin hankkeen kustannusarvioita varten laadittuja selvityksiä, ja näissä käytettyjä linjauksia ja suunnitteluratkaisuja. Selvitykset on laadittu Rapal Oy:n Fore ohjelmistokokonaisuuden Hola ja Rola työkalujen avulla. Ilmastopäästöjen tarkempaa selvitystä varten tehdyt lisälaskelmat laadittiin myös näiden työkalujen avulla tulosten vertailukelpoisuuden varmistamiseksi.

Fore Hola on hankeosalaskennan työkalu. Hankeosalaskennan avulla voidaan hankkeen alkuvaiheessa laatia kustannus- ja päästöarvioita valmiiden hankeosamallien avulla. Esimerkki hankeosamallista on yksinkertaistettuna ”kaksi raidetta penkerellä”. Hankeosamallien perusteella laadittiin yksikköpäästöt radan rakentamiselle.

Fore Rola on rakennusosalaskennan työkalu, joka sisältää tietokannan eri rakennusosien kustannuksista ja päästöistä. Rakennusosalaskennan avulla voidaan hankkeen alkuvaiheen jälkeen tehtyjen suunnitteluratkaisujen perusteella laatia yksityiskohtaisempi kustannus- ja päästöarvio toteuttamisvaihtoehdolle. Arvio sisältää luettelon rakentamisessa käytettävistä rakennuselementeistä, materiaaleista ja työsuorituksista.

Arvio suurnopeusradan rakentamisesta aiheutuvista ilmastopäästöistä perustuu välillä:

- Helsinki-Vantaa – Lempäälä
Suurnopeusradan pääsuuntaselvitys 1/2022 (Suomi-rata Oy)
laadittu pääosin Fore Hola työkalun avulla
- Lempäälä – Tampere
Riihimäki–Tampere-yhteysvälin kehittämiselvitys 2/2022 (Suomi-rata Oy)
laadittu Fore Hola työkalun avulla

Arvio pääradan kehittämistä vaihtoehdon rakentamisesta aiheutuvista ilmastopäästöistä perustuu välillä:

- Jokela – Riihimäki
Helsinki - Riihimäki kapasiteetin lisääminen 3 vaihe selvitys (Väylävirasto)
laadittu Fore Rola työkalulla
- Riihimäki – Tampere
Riihimäki–Tampere-yhteysvälin kehittämiselvitys 2/2022 (Suomi-rata Oy)
laadittu Fore Hola työkalun avulla

Arvio Lenton radan rakentamisesta aiheutuvista ilmastopäästöistä perustuu:

- Lenton radan vaikutusten arviointiin (Uudenmaan liitto 2018)

Päästöt arvioitiin olettamalla lenton radan koostuvan 28 kilometristä yksiraiteista kaksoistunnelia sekä kahdesta kilometristä kaukatorakennetta. Tunnelirakentamisen päästöt arvioitiin Suurnopeusradan pääsuuntaselvityksen perusteella

laadittujen tunnelirakentamisen päästöarvioihin perustuen. Kaukalarakenteen, sekä radan muiden osien päästöt, arvioitiin Fore Hola työkalun hankeosamalleilla.

Arviot maankäytön muutoksista perustuvat edellä luetelluissa selvityksissä käytettyihin linjauksiin.

2.2 Rakentamisesta aiheutuvat päästöt

Radan rakentamisesta aiheutuvien päästöjen laskennassa päästöt eriteltiin seuraaviin ryhmiin:

- radan rakenteet
- perustusrakenteet
- siltarakenteet
- tunnelirakenteet
- sähköratarakenteet
- meluntorjunnan ratkaisut
- huolto- ja pelastusteiden rakentaminen

Turvalaite- ja kulunvalvontaratkaisujen päästöjen arviointi rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. Suomessa ollaan ottamassa käyttöön näiden osalta langattomat ratkaisut, joiden päästöistä ei ole vielä varmuutta. Ratkaisujen arvioidaan olevan verrattain vähäpäästöiset. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2021).

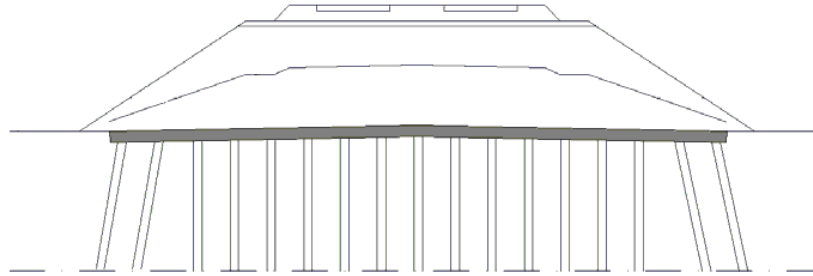
Rakentamisesta aiheutuvien päästöjen arviointi rajattiin rakentamisen aikana syntyviin päästöihin. Sustainability of construction works -sarjan standardin EN 15978 mukaisesti laskenta rajattiin elinkaaren vaiheeseen A (rakentaminen), joka sisältää osavaiheet tuotteille (A1-A3 Product stage) ja rakentamiselle (A4-A5 Construction Process Stage). Laskentaparametrina on käytetty hiilidioksidiekvivalenttia (CO_{2e.}), joka on kasvihuonekaasujen yhteismitta kuvaten merkittävimpien kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävää vaikutusta.

Radan rakentamisesta aiheutuvat päästöt muodostuvat pääosin käytettyjen materiaalien valmistuksesta, kuljetuksista sekä työkalu- ja koneiden käytöstä kaivuussa, kuorauksessa sekä tiivistyksessä.

Radan rakenteet sisältävät kantavalla maalla, tai pehmeiköillä käytettyjen perustusrakenteiden varaan, tehtävän rakentamisen. Päästöluokka kattaa kiskot, pölkyt, päällysrakenteen sekä ratapenkereen. Päästöluokka sisältää myös ratapenkereen lisäksi paikoin vaadittavat maaleikkaukset. Materiaalien kuljetus- ja siirto-työskentelyä käsitellään kustannusarvioissa kutakin hanketta, tai hankeosaa, varten arvioituja etäisyyksiä.

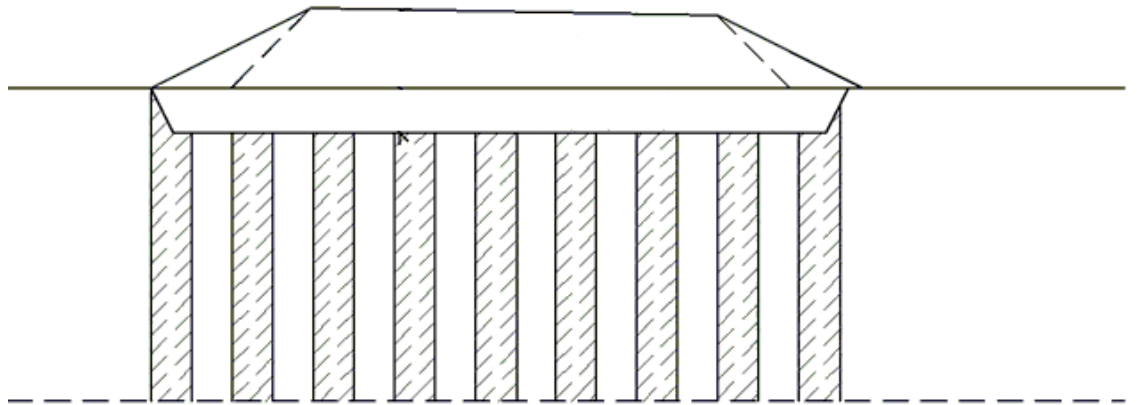
Perustusrakenteet päästölähdeluokka sisältää pehmeikölle rakennettaessa tarvittavien pohjanvahvistus- ja pohjarakentamismenetelmien käytön. Selvityksessä vertailtujen hankevaihtoehtojen kohdalla päästölähteinä merkittävimmät menetelmät olivat:

- paalulaattarakenteet (kuva 2)



Kuva 2 Paalulaattarakenne. (Liikennevirasto 2014) (muokattu).

- stabilointi (kuva 3)



Kuva 3 Pilaristabilointi. (Liikennevirasto 2018) (muokattu).

Käytettävät perusrakenteet tarkentuvat hankkeen edetessä tehtyjen linjaustarkennusten, pohjatutkimusten ja rakenneratkaisujen myötä. Selvityksen alussa on tämän vuoksi tehty seuraavia lähtöoletuksia:

- Riihimäki – Tampere välillä sekä Suurnopeusradan Lempäälä – Tampere välillä paalulaattarakenteen päästöt perustuvat Fore HOLA työkalun yksikköpäästöihin. Paalulaattarakenteissa paalujen pituudeksi arvioitiin 15 m ja paaluina arvioitiin käytettävän 300x300 mm teräsbetonipaaluja.

Suurnopeusradalla välillä Helsinki–Vantaa – Lempäälä, sekä lisäraidevaihtoehdon Jokela – Riihimäki välillä, paalulaattarakenteen päästöt laskettiin Fore ROLA työkalun avulla hankevälien suunnitelmien ratkaisujen mukaisesti.

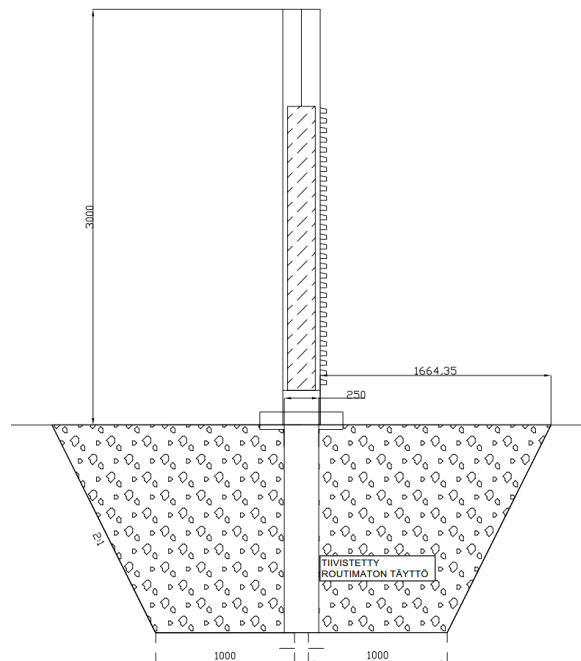
- Stabilointi arvioitiin toteutettavaksi pilaristabiloinnilla. Pilaripituudeksi arvioitiin 12 m, pilarileveydeksi 700 mm, pilariväliksi 1300 mm, ja perusskenaarissa 30/70 kalkkisementti-sideaineen määräksi 120 kg/m^3 . Sideaineen käytön päästöiksi oletettiin $809 \text{ kg CO}_{2e}/\text{t}$. Sideainevalinta ja sen päästökerron on valittu yhteensopivuuden takaamiseksi Jokela – Riihimäki välisen Fore ROLA työkalulla laaditun rakennusosalaskennan kanssa. (Rapol Oy 2019). Sideainevalinta on konservatiivinen ja varsin päästöintensiivinen. Mahdolliset vähähiilisemmät stabilointiratkaisut esitellään luvussa 5.

Jokela – Riihimäki välillä pilaristabilointiratkaisu, ja arviot sen päästöistä, perustuvat hankkeen rakennusosalaskentaan ja sen pohjana oleviin suunnitelmiin, eikä edellä mainittuja oletuksia siksi sovellettu tällä osuudella.

Siltojen rakentamisesta aiheutuvia päästöjä arvioitiin analysoimalla lähdemateriaalina toimineiden selvitysten Fore Hola ja Fore Rola laskennoista johdettuja päästöarvioita, ja yhdistämällä näitä selvitysten rakenneratkaisuihin.

Tunnelien rakentamisesta aiheutuvia päästöjä arvioitiin Fore-ohjelmiston Hola hankeosalaskentaa ja Ruotsin Trafikverketin Klimatkalkyl-ohjelmistoa käyttäen. Arvioiden tueksi suoritettiin kirjallisuustutkimus.

Meluntorjuntaratkaisun päästöarvio perustuu meluseinän tyyppipoikkileikkauksen (kuva 4) perusteella tehtyyn määrälaskentaan. Määrälaskennan perusteella päästöt arvioitiin Fore Rola työkalulla.



Kuva 4 Meluseinän tyyppipoikkileikkaus.

Myös sähköratarakenteiden ja huolto- ja pelastusteiden päästöjä arvioitiin yhdistämällä ja analysoimalla hankkeiden lähtötietoina toimineiden Fore-laskentojen yksikköpäästöjä sekä päästökertoimia. Näin muodostettiin vertailukelpoiset päästöarviot kyseisille hankeosille.

2.3 Maankäytön muutoksista aiheutuvat päästöt

Radan rakentamisen seurauksena hankealueen maankäyttö muuttuu ja kasvillisuuden ja maaperän hiilivarasto pienenee. Vaikutukset hiilivarastoihin arvioitiin hyödyntäen alueellisen hiilitaseen laskentatyökalua sekä Suomen ympäristökeskuksen CORINE Land Cover -aineistoa.

Laskenta perustui Ilmastokestävä kaupunki Työkaluja suunnitteluun (ILKKA) hankkeessa kehitettyyn alueelliseen hiilitaselaskentaan (Rasinmäki & Känkänen 2014). Alueellisen hiilitaseen laskentatyökalu arvioi hankealueen kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastojen muutosta ja hiilipäästöjä, joka aiheutuvat maankäytön muutoksesta.

Maankäytön muutos rakentamisen myötä kuvattiin määrittelemällä metsien, peltojen sekä rakennetun alueen kokonaispinta-alat lähtötilanteessa ja hankesuunnitelman määrittelemien maankäyttömuutosten jälkeen. Lähtötiedot maankäytöstä saatiin Suomen ympäristökeskuksen CORINE Land Cover -aineistosta, joka kuvaa Suomen maankäyttöä ja maanpeitettä paikkatietomuodossa vuonna 2018. Tarkasteltavia maankäyttöluokkia olivat metsämaa, peltomaa ja rakennettu ympäristö, joista metsämaa on vielä jaettu metsään kivennäismailla ja turvemaidella johtuen näiden erisuuruudesta hiilivarannosta.

Maankäytön muutoksessa tarkasteltavat pinta-alat määritettiin ratakäytävän leveyden ja pituuden tulona, jolloin saatiin tarkasteltavat pinta-alat hehtaareina. Ratakäytävän pituudesta poissuljettiin vesistöjen ja tunnelien osuudet, joiden osalta muutoksia maanpeitteeseen ei tapahdu.

Suurnopeusradan tapauksessa maankäytön muutosta arvioitiin hehtaarikohtaisesti 75 m leveällä maastokäytävällä, sisältäen raiteet sekä suoja-alueen. Lisäraiteiden rakentamisen tapauksessa maankäytön muutosta arvioitiin samoin, mutta 55 m leveällä maastokäytävällä. Nykyisen pääradan ollessa jatkuvasti vilkkaasti liikennöity, lisäraidetta ei pystytä rakentamaan minimietäisyydellä (5 m) nykyisestä radasta, vaan rakennettavalle puolelle rataa tarvitaan n. 20 m työvara. Maastokäytävän leveydessä on otettu huomioon myös 5 m leveä uusi rakennettava raide ja 30 m uutta suojavyöhykettä.

Saadut tulokset kuvaavat hiilivarastojen muutosta lähtötilanteesta pysyviin uuden maankäyttömuodon hiilivarastoihin. Menetelmällä voidaan arvioida alueellista puuston ja maaperän hiilivaraston muutosta maankäyttötavan muuttuessa, mutta sama menetelmä ei anna suoraa arviota hiilinielun muutoksesta.

Päivitykset 3/2023

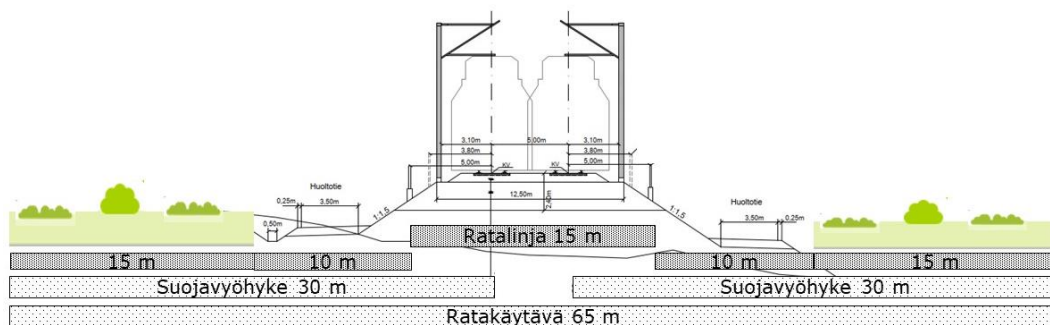
Suurnopeusradan ekologisen ja uudistavan suunnittelun periaatteet -selvityksessä 03/2023 päivitettiin aiempaa arviota suurnopeusradan rakentamisen vaikutuksesta hiilivarastoihin ja hiilinieluihin. Erityisesti radan suojavyöhykkeen maankäytön muutoksiin liittyviä oletuksia tarkasteltiin uudelleen.

Ratalain mukaan rautatien suoja-alue ulottuu 30 metrin etäisyydelle raiteen tai uloimman raiteen keskilinjasta, jos raiteita on useampia. Näin ollen kaksiraiteisella suurnopeusradalla suojavyöhyke ulottuisi 30 metrin etäisyydelle kummankin raiteiden keskikohdasta eli 25 m rata-alueen reunasta. Tällöin suurnopeusradan ratakäytävän leveys on yhteensä 65 metriä (25 m + 15 m + 25 m). Rautatien suoja-alueella voi olla puustoa ja muuta kasvillisuutta tai rakennuksia ja rakennelmia (Väylä, 2022). Tyypillisin suoja-alueella tehtävä toimenpide on liikenneturvallisuutta vaarantavan niin sanotun riskipuuston poisto. Riskipuustolla tarkoitetaan

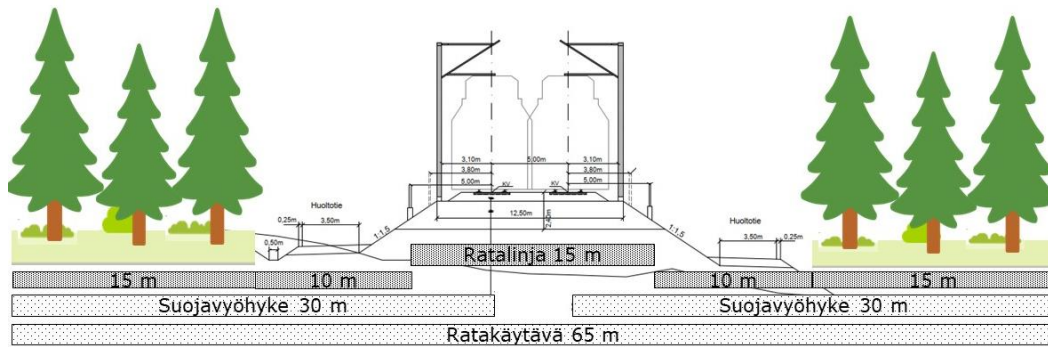
korkeaa kasvillisuutta, joka voisi kaatuessaan aiheuttaa vaaraa liikenteelle tai haittaa radanpidolle ja rautatielle.

Suurnopeusradan 15 metrin levyiseltä rata-alueelta kasvillisuuden ja maaperän hiilivarasto poistuu pysyvästi, kun kasvillisuus ja pintamaa poistetaan ja tilalle rakennetaan ratarakenteet. Myös huoltoteiden kohdalla kasvillisuuden ja maaperän hiilivarasto poistuu pysyvästi. Rakentamisen aikana ainakin osa myös suoja-alueen kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastosta poistuu, mutta suoja-alueella hiilivarastot palautuvat ainakin osittain ajan kuluessa ja kasvillisuuden palautuessa. Huoltoteitä ei todellisuudessa tarvita joka paikassa molemmille puolille rataa. Kuitenkin radan rakentamisen aikana raiteiden molemmin puolin tarvitaan työalue, jolta kasvillisuus poistetaan ja maaperää muokataan. Hiilivarastojen säilymistä ja palautumista voidaan edesauttaa pitämällä työalue mahdollisimman kapeana ja istuttamalla rakentamisen jälkeen uutta kasvillisuutta niille alueille, joilta kasvillisuus on rakennustöiden takia poistettu.

Hiilivarastojen muutoksen laskennassa oletettiin, että kasvillisuuden ja maaperän hiilivarasto poistuu kokonaan 15 m levyiseltä rata-alueelta sekä huoltoteiden ja luiskien kohdalta 10 m leveydeltä radan molemmin puolin, eli yhteensä 35 m levyiseltä alueelta. Tämän alueen, jolta kasvillisuus poistetaan kokonaan radan rakentamisen tieltä, molemmille puolille jää 15 metrin levyinen kaistale, joka kuuluu radan suoja-alueeseen. Suoja-alueen hiilivarastojen muutoksesta tehtiin kaksi skenaariota. Worst case -skenaariossa (kuva 9) suojavyöhykkeen maaperän hiilivarasto säilyy, mutta korkea kasvillisuus poistetaan kokonaan ja vyöhyke pidetään avoimena. Best case -skenaariossa (kuva 10) suojavyöhykkeellä säilytetään olemassa oleva kasvillisuus ja puusto, mutta tältä alueelta voidaan karsia riskipuita, jolloin kasvillisuuden hiilivarastosta poistuisi arviolta noin 15 %. Suojavyöhykkeellä maaperän hiilivarasto säilyy.



Kuva 9 Worst case -skenaariossa korkea kasvillisuus poistetaan kokonaan suojavyöhykkeeltä ja vyöhyke pidetään avoimena. Ratalinjan ja huoltoteiden alueella 35 m levyisellä kaistaleella kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastot poistuvat kokonaan maankäytön muuttuessa.



Kuva 10 Best case -skenaariossa suojavyöhykkeellä säilytetään olemassa oleva kasvillisuus ja puusto, mutta tältä alueelta voidaan karsia riskipuita, jolloin kasvillisuuden hiilivarastosta poistuisi arviolta noin 15 %. Ratalinjan ja huoltoteiden alueella 35 m levyisellä kaistaleella kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastot poistuvat kokonaan maankäytön muuttuessa.

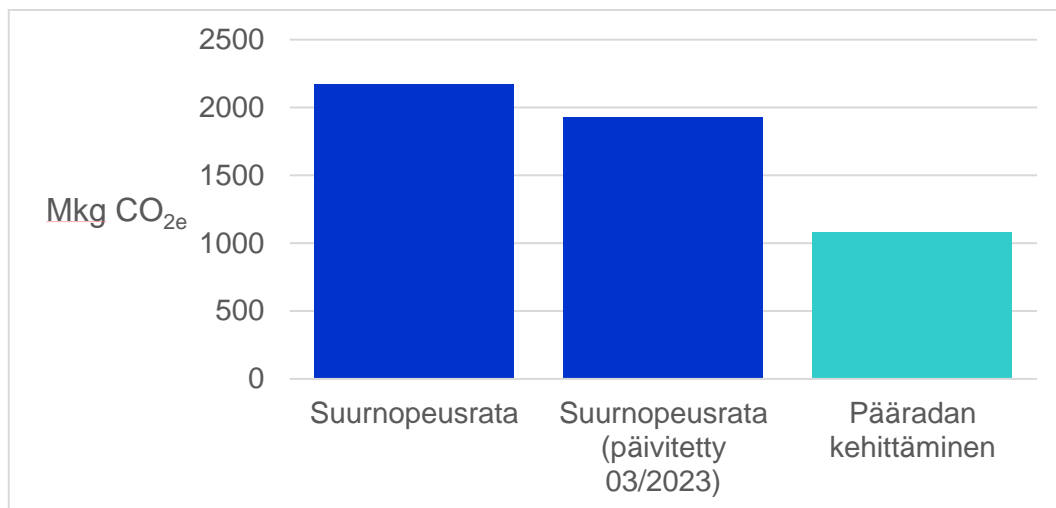
Lempäälä-Tampere välillä parannetaan olemassa olevaa päärataa rakentamalla lisäraiteita radan itäpuolelle. Lisäraiteiden tapauksessa oletettiin, että rakennettaessa kaksi lisäraidetta, nykyisen radan itäpuolella 25 metrin levyiseltä kaistaleelta poistuu kasvillisuus ja maaperän hiilivarasto kokonaan, ja tämän alueen itäpuolella 15 m suojavyöhykkeellä tarkastellaan hiilivarastojen muutosta worst case ja best case -skenaarioilla samoin kuin osuudella, jossa rakennetaan uutta rataa. Rakennettaessa yksi lisäraide, kasvillisuus ja maaperän hiilivarasto poistuvat 20 metrin leveydeltä.

Vaikutukset hiilivarastoihin arvioitiin hyödyntäen alueellisen hiilitaseen laskentatyökalua (Rasinmäki & Känkänen, 2014), joka arvioi hankealueen kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastojen suuruutta ja muutosta. Lähtötiedot maankäytöstä saatiin Suomen ympäristökeskuksen CORINE Land Cover -aineistosta, joka kuvaa Suomen maankäyttöä ja maanpeitettä paikkatietomuodossa vuonna 2018. Ratakäytävän pituudesta poissuljettiin siltojen ja tunnelien osuudet, joissa ei tapahdu muutosta maanpeitteeseen.

3 Rakentamisen päästöt vuoden 2022 päästötasolla

3.1 Päästölaskennan tulokset

Suurnopeusradan rakentamisen aikaiset päästöt ovat yhteensä noin **1927 Mkg CO_{2e}** (miljoonaa kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia). Pääradan parantamisvaihtoehdon rakentamisen aikaiset päästöt ovat yhteensä noin **1081 Mkg CO_{2e}**. (kuva 7). Ennen 03/2023 laadittuja päivitettyjä hiilivarastolaskuja (Rauhala ym. 2023) Suurnopeusradan rakentamisen aikaisiksi päästöiksi arvioitiin **2167 Mkg CO_{2e}**. Pääradan parantamisvaihtoehdolle ei laadittu vastaavia tarkennettuja laskuja hiilivaraston muutoksista mikä on huomioitava tulosten vertailussa.



Kuva 5 Linjausvaihtoehtojen ilmastopäästöt (Mkg CO_{2-e}).

Linjausvaihtoehtojen ilmastopäästöjen erittely hankeosien kesken on esitelty taulukossa 1.

Taulukko 1 Linjausvaihtoehtojen hankeosien kokonaisilmastopäästöt (Mkg CO_{2e}).

Mkg CO _{2e}	Suurnopeusrata	Suurnopeusrata (päivitetty 03/2023)	Pääradan kehittäminen
Lentorata	438	438	438
Suurnopeusrata	1729	1489	–
Jokela – Riihimäki	–	–	128
Riihimäki – Tampere	–	–	515
Yhteensä	2167	1927	1081

3.2 Rakentamistöistä aiheutuvat päästöt

Pääradan kehittämissivaihtoehdossa perustusrakenteet muodostavat huomattavan osan rakentamisesta aiheutuvista päästöistä, 42 %. Suurten päästöjen voidaan olettaa johtuvan radan linjauksesta. Pääradan linjaus noudattaa myös radan oikaisujen jälkeen alkuperäistä linjausta, joka on muodostettu aikana, jolloin rata rakennettiin sen aikaan helpolle rakennusmaalle, pelloille ja asustuskeskusten väliin. Rata kulkee tämän takia huomattavilta osin savisella maaperällä.

Pääradan kehittämissivaihtoehdon pohjarakenteissa käytettiin huomattavaa määrää stabilointia pohjanvahvistuskeinona. Stabiloinnin osuus perustusrakenteiden päästöistä oli välillä Jokela–Tampere noin 205 Mkg CO_{2e}.

Suurnopeusradan pehmeiköillä käytettiin perustusrakenteena paalulaattaa. Paalulaatta oli selvityksen kohteissa selkeästi päästöintensivisempi perustusrakenne kuin stabilointi. Vaikka pohjarakentamisen määrä oli suurnopeusradalla vähäisempi, myös suurnopeusradan pohjarakenteiden päästöt olivat huomattavat.

Suurnopeusradalla sillat ja tunnelit muodostivat maankäytön muutoksen jälkeen suurimmat ilmastopäästöerät. Suurnopeusradan linjaus on mahdollisimman suora, ja sillä pyritään pieniin korkeuseroihin. Siltojen ja tunneleiden määrä on silloin suurempi kuin luonnollisesti matalaa maastoa seuraavalla pääradalla.

Siltojen ja tunneleiden ilmastopäästöjen arviointiin sisältyvät myös selkeästi suurimmat epävarmuudet. Siltarakenteiden ratkaisut vaikuttavat huomattavasti päästöihin, ja mahdolliset tarkemmat ratkaisut varmistuvat hankkeen edetessä. Tunnelirakentamisen päästöarvio perustuu myös huomattavissa määrin oletuksiin esimerkiksi kallion laadusta, jotka tarkentuvat mahdollisen rakennussuunnitteluvaiheen aikana. Myös rakennussuunnittelun aikana valikoituva tunnelin verhoukratkaus ja materiaalivalinnat vaikuttavat merkittävästi tunnelien päästöihin. Silloissa ja etenkin tunneleissa tarkentuvat rakenneratkaisut saattavat nostaa tai laskea ilmastopäästöjä huomattavasti.

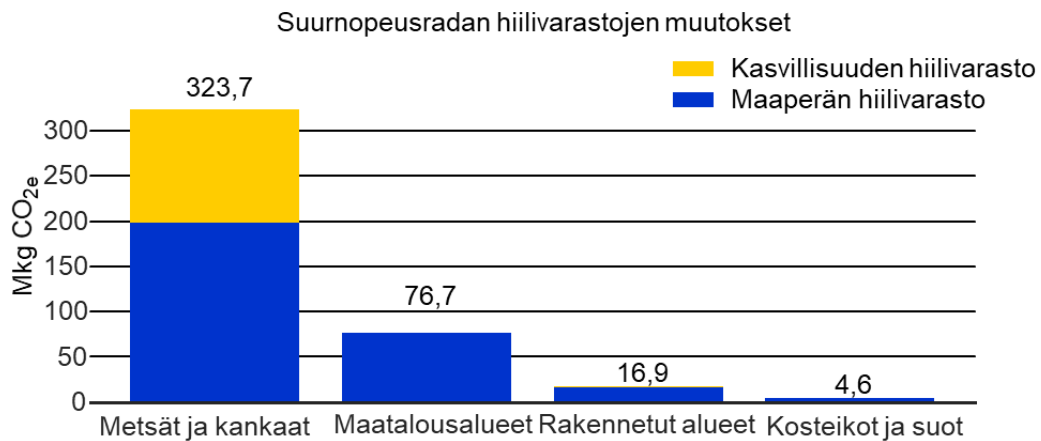
Selvityksen luvussa 5 on koottu listaus materiaalivalinnoilla ja suunnitteluratkaisulla saavutettavista päästövähennyskeinoista.

3.3 Maankäytön muutoksesta aiheutuvat päästöt

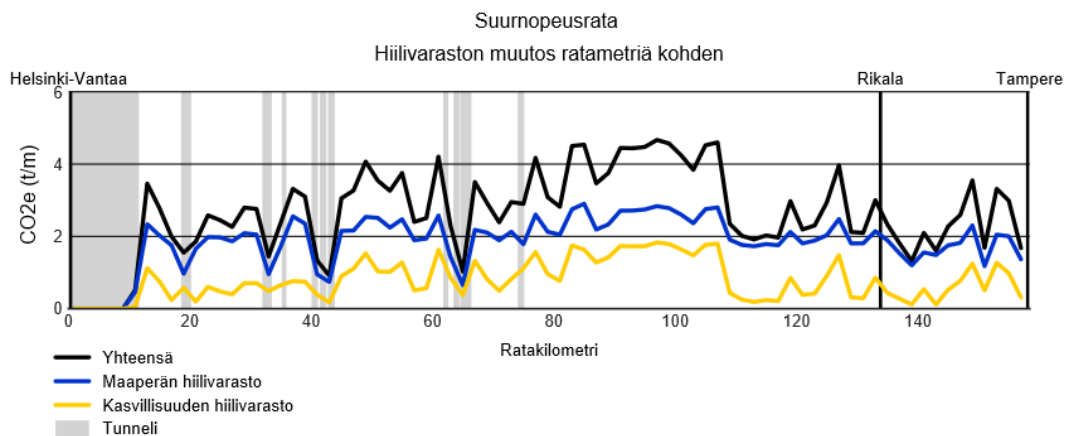
Radan linjausvaihtoehtojen vaikutuksia hiilivarastoihin arvioitiin määrittämällä hankealueelle sijoittuvat hiilivarastot nykytilassa ja arvioimalla eri ratavaihtoehtojen aiheuttamia muutoksia niihin. Laskenta huomioi sekä maaperään että kasvillisuuteen sitoutuneet hiilivarastot eri maankäyttöluokissa ja niiden muutoksen.

Suurnopeusradan rakentamisen tapauksessa maankäytön muutos koskee kokonaisuudessaan 1038 ha pinta-alaa. Maankäytön muutoksen arvioinnissa ratakäytävän leveydeksi oletettiin 75 m ja käytävän pituudesta poissuljettiin vesistöjen ja tunnelien osuudet, joissa ei tapahdu muutosta maanpeitteeseen.

Suurnopeusradan rakentamisen myötä hankealueelta poistuu yhteensä 422 Mkg CO_{2e} suuruinen hiilivarasto, josta 30 % kasvillisuudesta ja 70 % maaperästä. Hiilivaraston poistumasta 77 % (324 Mkg CO_{2e}) on peräisin metsämaalta, 18 % maatalousalueilta, 4 % rakennetulta alueelta ja 1 % kosteikolta/suolta. Kuva 8 osoittaa hiilivaraston muutokset maankäyttöluokan mukaan ja kuva 9 ratakilometriä kohden.



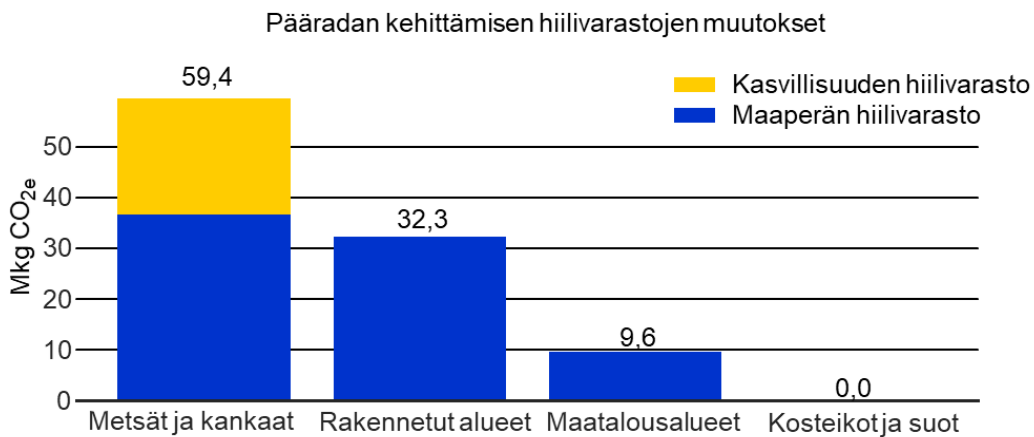
Kuva 8 Hiilivaraston muutos eri maankäyttöluokissa suurnopeusradan rakentamisen seurauksena.



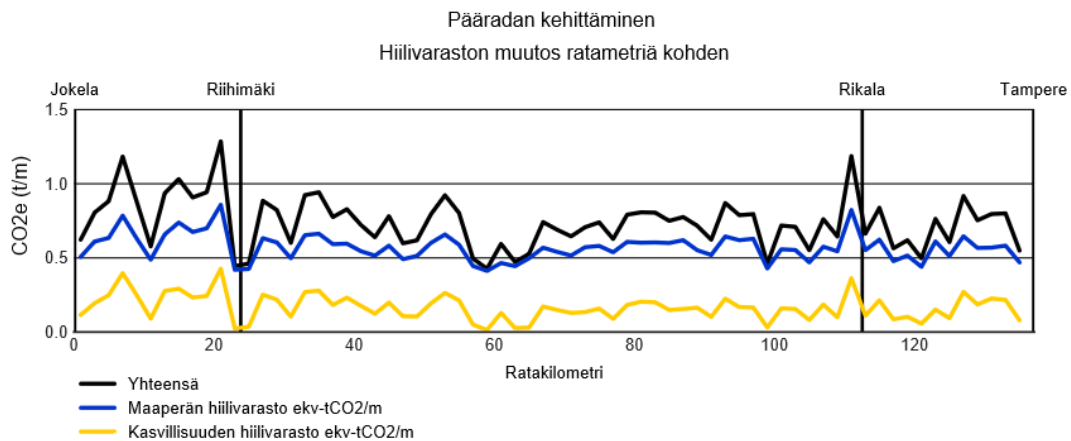
Kuva 9 Hiilivaraston muutos ratakilometriä kohden suurnopeusradan rakentamisen seurauksena.

Pääradan kehittämisen tapauksessa maankäytön muutos koskee 377 ha pinta-alaa. Ratakäytävän leveydeksi oletettiin 55 m ja radan pituudesta on poissuljettu vesistöjen osuudet, joissa ei tapahdu muutosta maanpeitteeseen.

Pääradan kehittämisen myötä hankealueelta poistuu yhteensä 101 Mkg CO_{2e} suuruisen hiilivarasto, josta 23 % kasvillisuudesta ja 77 % maaperästä. Hiilivaraston poistumasta 59 % (59 Mkg CO_{2e}) on peräisin metsämaalta, 32 % rakennetulta alueelta ja 10 % maatalousalueilta. Kuva 10 osoittaa hiilivaraston muutokset maankäyttöluokan mukaan ja kuva 11 ratakilometriä kohden.



Kuva 10 Hiilivaraston muutos eri maankäyttöluokissa pääradan kehittämisen seurauksena.



Kuva 11 Hiilivaraston muutos ratakilometriä kohden pääradan kehittämisen seurauksena.

Tulosten perusteella suurnopeusradan rakentamisen seurauksena menetettävä hiilivarasto on yli nelinkertainen (320 Mkg CO_{2e} suurempi) pääradan kehittämiseen verrattuna (taulukko 2). Tähän eroavaisuuteen vaikuttaa etenkin suurempi pinta-ala, jota maankäytön muutos koskee, kun rakennetaan täysin uusi ratalinja.

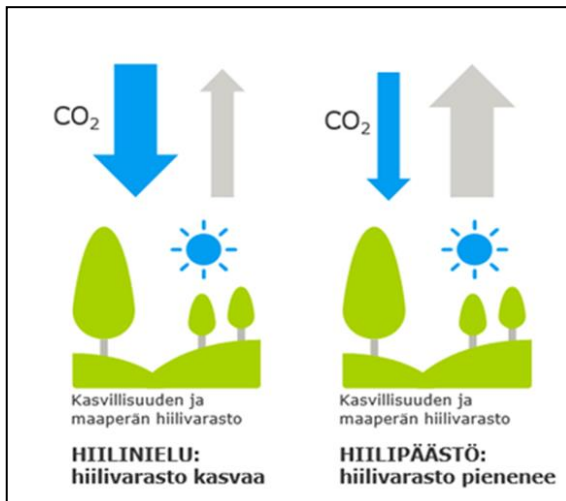
Taulukko 2 Maankäytön muutoksen pinta-alojen ja päästöjen vertailu.

	Suurnopeusrata	Pääradan kehittäminen
Maankäytön muutoksen pinta-ala	1038 ha	377 ha
Hiilivaraston muutos yhteensä	422 Mkg CO _{2e}	102 Mkg CO _{2e}

Uudenmaan, Kanta-Hämeen ja Pirkanmaan yhteenlaskettu hiilivaraston suuruus on 390 Mt CO₂-ekv. Maakuntien kokonaisuuteen suhteutettuna suurnopeusradan

rakentamisessa menetettävän hiilivaraston osuus on – 0,11 % ja lisäraiteiden rakentamisessa noin – 0,03 %. Tulosten tulokinnassa on myös huomioitava, että metsäkato ja hiilivaraston muutos eivät tapahdu kerralla, vaan jaksottuvat pidemmälle aikajaksolle hankkeen toteuttamisaikataulun mukaisesti.

Saadut tulokset kuvaavat hiilivarastojen muutosta lähtötilanteesta pysyviin uuden maankäyttömuodon hiilivarastoihin. Hiilinielun muutosta voitaisiin lisäksi arvioida nojaten tutkimustietoon metsien hiilinielun suuruudesta Etelä Suomessa sekä avoimeen metsävaratietoon suunnittelualueen metsien ikärakenteesta, joista voitaisiin johtaa hehtaariohtainen hiilivuo. Hiilivuon suuruudesta ei kuitenkaan ole suunnittelualueella koskevaa tietoa, vaan se vaatisi lisäselvitystä. HSY on toteuttanut pääkaupunkiseudun kuntien hiilitaselaskennan, jonka perusteella esim. Vantaan alueen metsien (metsät ja maaperä) hehtaariohtainen hiilivuo on noin -8 t CO₂e vuodessa. Negatiivinen luku tarkoittaa, että hiilivarasto kasvaa ja alue toimii hiilinieluna. Hiilivuon arviointi perustui HSY:n selvityksessä puuston kasvumalleihin ja toimenpiteiden simulointiin. Jos voitaisiin olettaa, että hankealueen hiilivuo on yhtä suuri kuin Vantaan metsien ja maaperän, suurnopeusradan toteutuksessa hankealueen hiilinielu pienenesi vuositasona noin 4500 t ja pääradan kehityksen tapauksessa noin 890 t.



Kuva 12 Termien havainnollistus. Hiilinielu tarkoittaa metsiin sitoutuneen hiilivaraston muutosta, jossa hiilivarasto kasvaa. Hiilivuo tarkoittaa kasvillisuuden ja maaperän ilmakehästä sitoman hiilidioksidin määrää.

Suurnopeusradan päivitetty tulokset 03/2023

Suurnopeusradan rakentamisen seurauksena 399 hehtaarin suuruiselta alueelta poistuu maaperän ja kasvillisuuden hiilivarasto kokonaan, kun maankäyttö muuttuu raiteiden ja huoltoteiden rakentamisen seurauksena pysyvästi rakennetuksi ympäristöksi. Tältä alueelta poistuvan hiilivaraston suuruus on yhteensä **171 208 t CO₂e**. Pinta-alaa, jolta kasvillisuuden ja maaperän hiilivarasto poistuu, voi verrata esimerkiksi Helsingin Lauttasaareen, jonka pinta-ala on noin 385 ha.

Suoraan radan ja huoltoteiden alle jäävän alueen lisäksi suurnopeusradan rakentaminen vaikuttaa rautatien suojavyöhykkeen maankäyttöön radan molemmin puolin. Ratalinjan ja huoltoteiden ulkopuolelle jäävän suojavyöhykkeen hiilivaraston muutosta tarkasteltiin kappaleessa 2.3 kuvattujen periaatteiden mukaisesti kahdella skenaariolla.

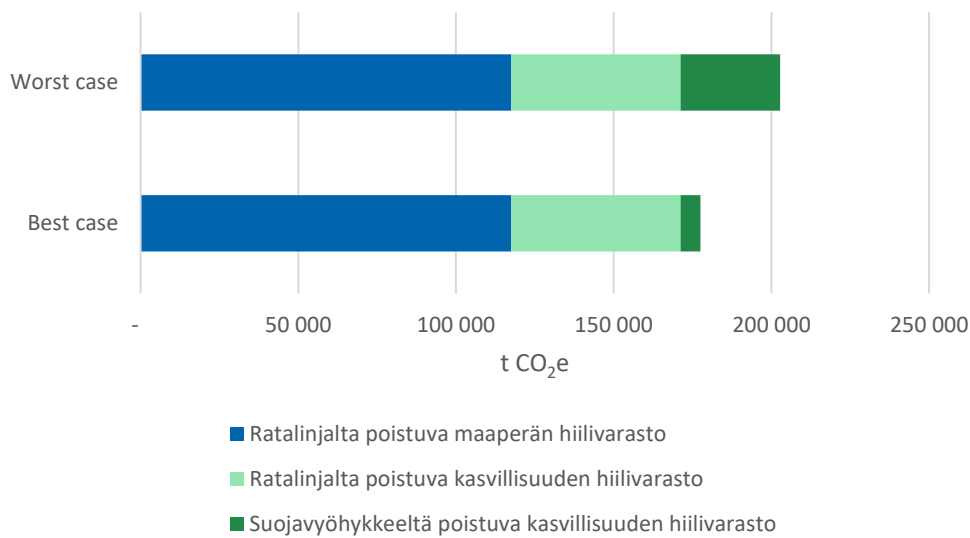
Best case -skenaariossa suojavyöhykkeellä säilytetään olemassa oleva kasvillisuus ja puusto, mutta alueelta voidaan karsia riskipuita, jolloin kasvillisuuden hiilivarastosta poistuu arviolta noin 15 %. Best case -skenaariossa suojavyöhykkeeltä poistuvan hiilivaraston suuruus on 6 282 t CO₂e.

Worst case -skenaariossa suojavyöhykkeen maaperän hiilivarasto säilyy, mutta korkea kasvillisuus poistetaan kokonaan ja vyöhyke pidetään avoimena. Worst case -skenaariossa suojavyöhykkeeltä poistuvan hiilivaraston suuruus on 31 567 t CO₂e.

Yhteensä suurnopeusradan rakentamisen myötä hankealueelta poistuu **177 490–202 775 t CO₂e** suuruinen hiilivarasto (taulukko 3, kuva 13).

Taulukko 3 Suurnopeusradan rakentamisen vaikutus hankealueen kasvillisuuden ja maaperän hiilinieluihin.

	Kasvillisuuden hiilivarastojen muutos, t CO ₂ e	Maaperän hiilivarastojen muutos, t CO ₂ e
Ratalinja + huoltotiet	-53 693	-117 514
Suojavyöhyke, best case	-6 282	hiilivarasto säilyy
Suojavyöhyke, worst case	-31 567	hiilivarasto säilyy
Hiilivarastojen muutos yhteensä, best case	-177 490	t CO₂e
Hiilivarastojen muutos yhteensä, worst case	-202 775	t CO₂e



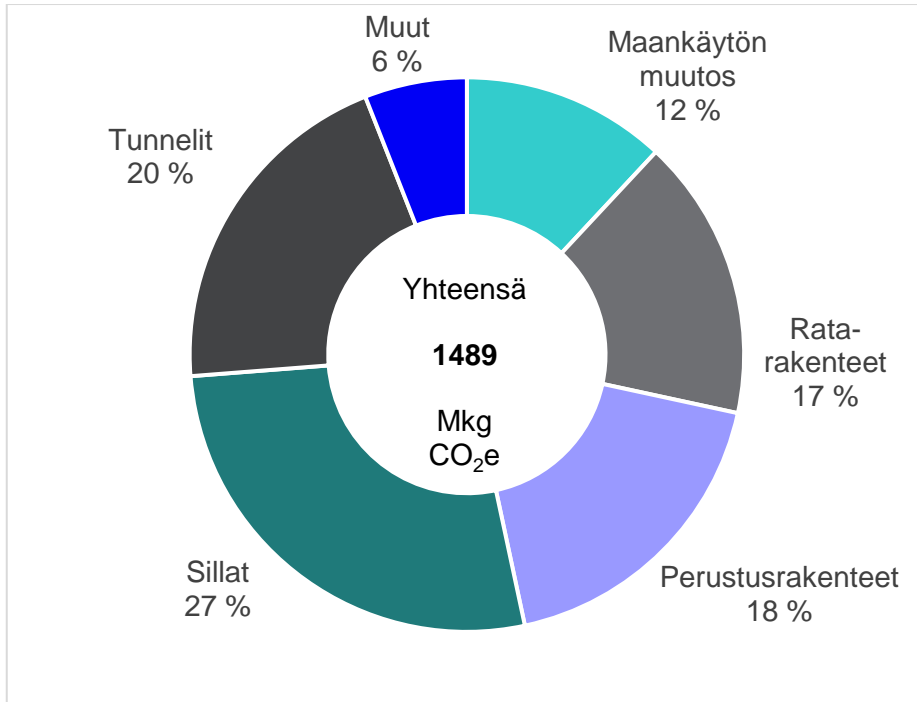
Kuva 13 Suurnopeusradan rakentamisen aiheuttama hiilivarastojen muutos.

Esimerkiksi Vantaan kaupungin metsien ja viheralueiden kasvillisuuden ja maaperän yhteenlasketun hiilivaraston suuruuden on arvioitu olevan 7 790 793 tCO₂ (HSY, 2020) ja Tampereen metsien hiilivarastojen 6 100 000 tCO₂ (Tuominen ym., 2022). Suurnopeusradan rakentamisen aiheuttama hiilivarastojen poistuma vastaa n. 2–3 % Vantaan metsien ja viheralueiden ja noin 3 % Tampereen metsien hiilivarastoista. Suomalaisten keskimääräinen hiilijalanjälki on noin 9,95 tCO₂e/vuosi (Suomen ympäristökeskus, 2022), eli suurnopeusradan rakentamisen aiheuttaman hiilivarastojen poistuman suuruus vastaa n. 17 000–20 000 suomalaisen vuotuista hiilijalanjälkeä.

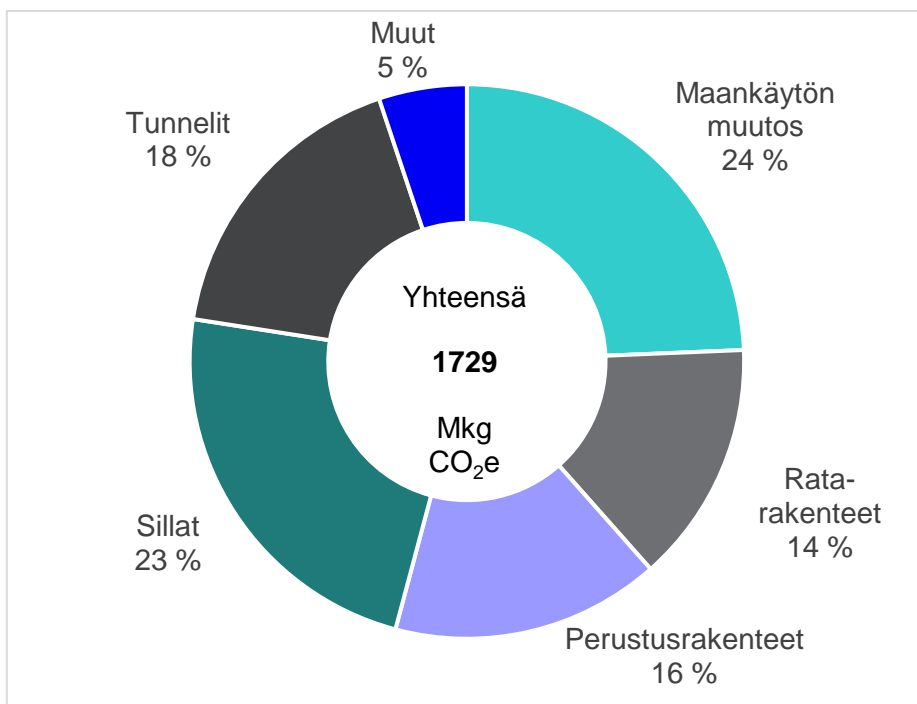
Suomiradan hankevaihtoehtojen rakentamisen aikaisten ilmastopäästöjen arviointi-selvityksessä 9/2022 arvioitiin suurnopeusradan aiheuttaman hiilivarastojen muutoksen lisäksi myös hiilinielujen muutosta. Hiilinieluksi kutsutaan hiilivarastoa, jonka koko kasvaa (t CO₂e/ha/v). Hiilinielun muutosta arvioitiin perustuen HSY:n toteuttamaan pääkaupunkiseudun kuntien hiilitaselaskentaan, jonka perusteella esimerkiksi Vantaan alueen metsien (metsät ja maaperä) hehtaarikohtainen hiilivuo on keskimäärin noin -8 t CO₂e vuodessa (HSY, 2020). Negatiivinen luku tarkoittaa, että hiilivarasto kasvaa ja alue toimii hiilinieluna. Jos voitaisiin olettaa, että hankealueen hiilivuo on yhtä suuri kuin Vantaan metsien ja maaperän, suurnopeusradan toteutuessa hankealueen hiilinielu pienenesi vuositasolla noin 1 900–3 600 t CO₂e riippuen siitä, kuinka paljon radan suojavyöhykkeellä säilytetään olemassa olevia metsiä. Arvio hiilinielun pienenemisestä on suuntaa antava ja sen tarkentamiseksi tarvittaisiin tarkempaa tutkimustietoa hankealueen metsien hiilinielun suuruudesta nykytilanteessa.

3.4 Päästöjen jakautuminen

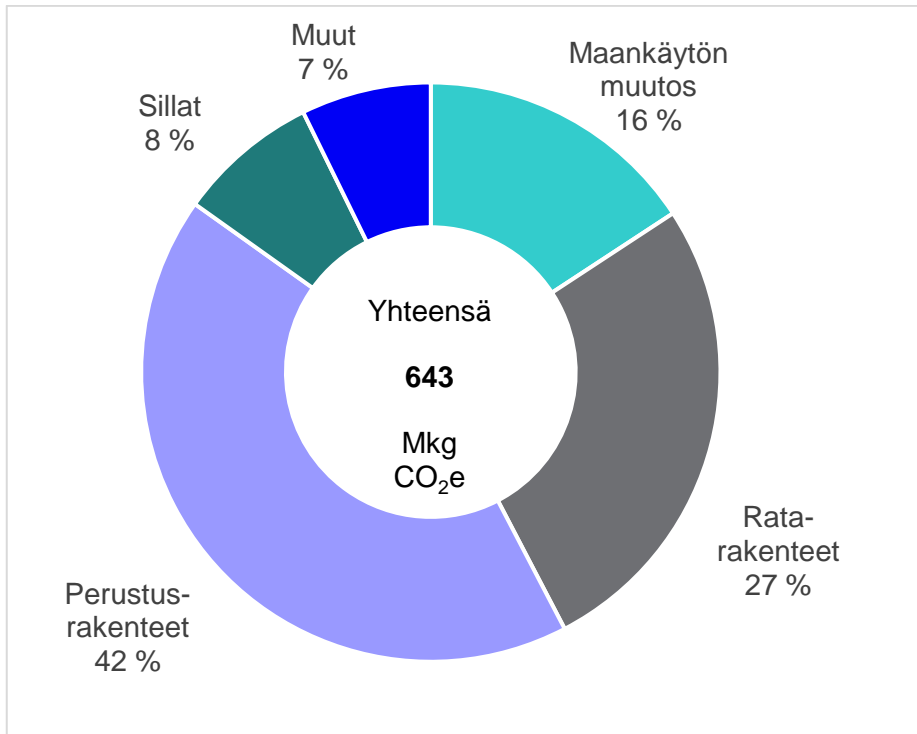
Suurnopeusradan, pääradan kehittämisen sekä lentoradan rakentamisen aikaisen päästöjen jakautuminen päästölähteluokkien kesken on havainnollistettu kuvissa 14, 15, 16 ja 17 sekä taulukossa 4. Kuvassa 14 esitellään Suurnopeusradan päästöjen jakautumaa 03/2023 laaditut tarkennukset huomioiden.



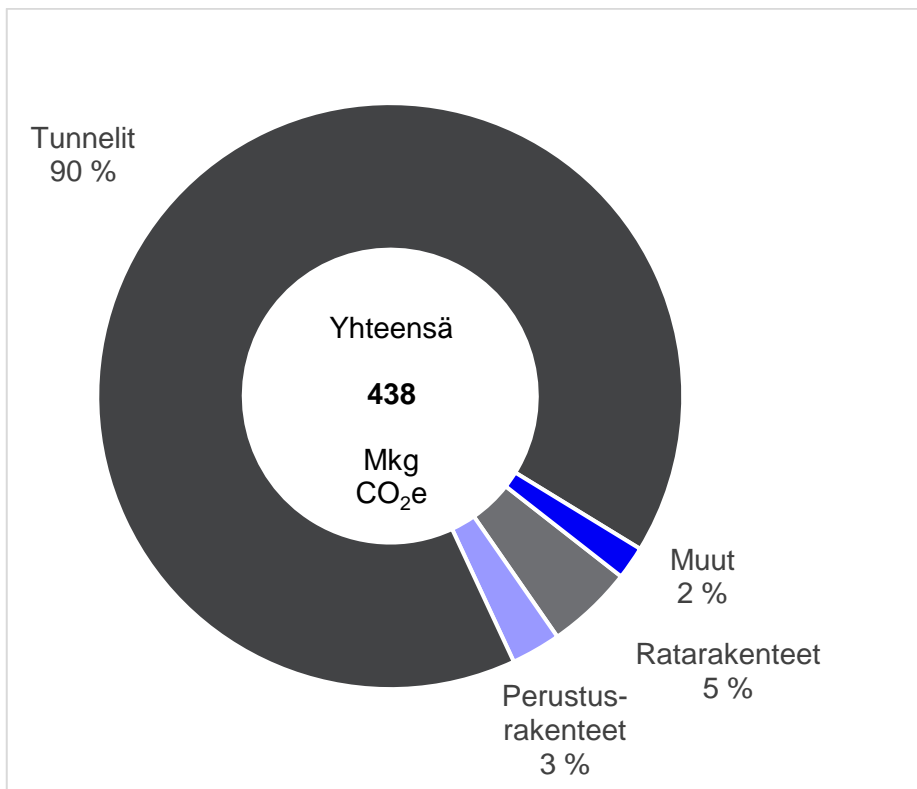
Kuva 14 Suurnopeusrata. Päästöjen jakautuminen (päivitetty 03/2023).



Kuva 15 Suurnopeusrata. Päästöjen jakautuminen (alkuperäinen selvitys).



Kuva 16 Pääradan kehittäminen. Päästöjen jakautuminen.



Kuva 17 Lentorata. Päästöjen jakautuminen.

Taulukko 4 Rakentamisen ilmastopäästöt (miljoonaa kg CO_{2e}).

Mkg CO ₂ -e	Suurnopeus- rata	Suurno- peusrata (päivitetty 03/2023)	Pääradan kehittäminen	Lentorata
Hiilivaraston muutos	422	178	102	-
Radan rakenne	245	245	172	21
Perustusraken- teet	272	272	275	12
Sähkörata	37	37	11	8
Meluntorjunta	39	39	29	-
Sillat	404	404	51	-
Tunnelit	301	301	-	398
Huolto- ja pe- lastustiet	13	13	7	-
Yhteensä	1730	1489	643	438

4 Rakentamisen päästöt vuonna 2035

4.1 Skenaarion esittely

Raidehankkeissa käytetään runsaasti sementtiä ja terästä. Tämän lisäksi hankkeet vaativat suuria määriä kuljetus- ja työkonekaluston käyttöä. Sementin ja teräksen tuotanto ovat kaksi suurimmista kasvihuonekaasujen lähteistä niin Suomessa kuin maailmanlaajuisesti. Myös työkoneet ja kuljetuskalusto ovat huomattavia kasvihuonekaasujen lähteitä.

Ilmastonmuutoksen hillitseminen asettaa voimakkaita vaatimuksia päästövähennyksille näillä aloilla. Päästöjen laskemiseen tähtäävä kehitys näillä aloilla on voimakasta, ja sen voidaan olettaa jatkuvan voimakkaana niin Suomen kuin muiden kehittyneiden maiden pyrkiessä vähentämään huomattavasti kasvihuonekaasupäästöjä tai jopa saavuttamaan hiilineutraalin yhteiskunnan. Tämä tulee edellyttämään matalahiilistä rakentamista ja päästöjen kompensointia.

Alan voimakkaasta kehityksestä johtuen vuoden 2022 päästötaso ei todennäköisesti kuvaa rakentamisen aikaista päästötasoa. Tässä selvityksessä on tämän takia muodostettu arvio hankkeen päästötasosta vuonna 2035. Vuosi on valittu hankevaihtoehtojen mahdollisen rakentamisajankohdan päästöjen arvioimiseksi. Materiaalien, kuljetuskaluston sekä työkoneiden yksikköpäästöjen kehityksen voidaan olettaa jatkuvan laskusuuntaisena, ja mahdollinen ennen vuotta 2035 toteutettu rakentaminen johtaisi täten korkeampiin päästöihin, ja vuoden 2035 jälkeen toteutettu rakentaminen tätä matalampiin päästöihin.

Vuoden 2035 päästötason arviointi sisältää huomattavia epävarmuuslähteitä. Tämän takia selvitystä varten laadittiin kaksi arviota kunkin päästölähdeluokan kehityksestä. Oletus on, että vuoden 2035 päästötaso sijoittuu näiden kahden arvion välille.

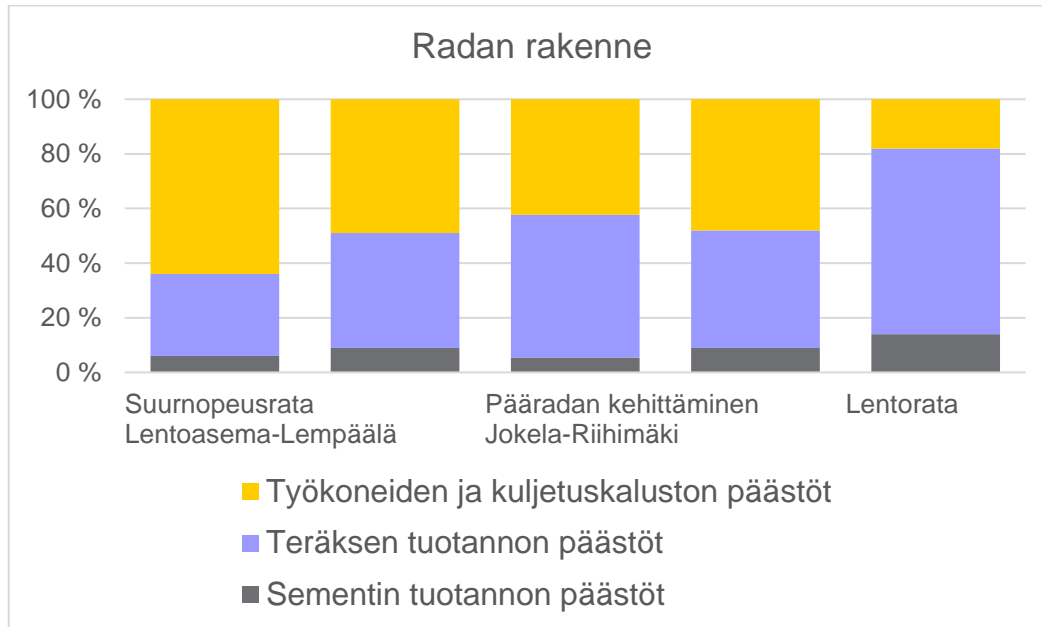
4.1.1 Metodien esittely

Vuoden 2035 päästötason arvioimiseksi muodostettiin arvio hankkeiden, hankeosien ja rakenneosien päästöjen jakautumisesta suurimpien tunnistettujen päästölähteiden kesken. Päästöjen muodostuminen todettiin voivan jakaa sementin tuotannon (ja betonin, jonka päästöt aiheutuvat pääosin sideaineena käytetyn sementin valmistuksesta), teräksen tuotannon sekä työkoneiden ja kuljetusten päästöjen kesken. Työkoneiden ja kuljetusten päästöt koostuvat polttoaineiden käytöstä ja kasvavissa määrin sähkön käytöstä. Näiden päästövähennyspotentiaali arvioitiin tästä johtuen verrattaviksi. Arvio suurimpien päästölähteiden kehityksestä esitetään luvuissa 4.1.3–4.1.5.

Suurnopeusradan, lisäraiteiden sekä Lentoradan rakentamisratkaisut eroavat toisistaan. Vuoden 2022 tason päästöarvion päästölähdeluokkien (radan rakenne, perustusrakenteet, siltojen rakentaminen jne.) päästöjen jakautuminen suurimpien päästölähteiden, sementin, teräksen sekä työ- ja kuljetuskalusto, kesken arvioitiin tämän takia erikseen kullekin hankkeelle. Tämä tehtiin jakamalla merkittävimpien hankeosien ja rakenneosien päästöjen muodostuminen suurimpien päästölähteiden kesken. Jakauma arvioitiin tutkimalla hankkeen Fore Hola ja Rola laskelmia, ja yhdistelemällä näiden tietoja ympäristöselosteisiin (EPD), aiempiin selvityksiin, malliratkaisuista tehtyihin laskelmiin ja kirjallisuusarvoihin.

4.1.2 Päästölähderyhmien päästöjen jakautuminen

Radan rakenteen päästöjen jakautumisessa suurimpien päästölähteiden kesken on hankeosakohtaisia eroja (kuva 18).



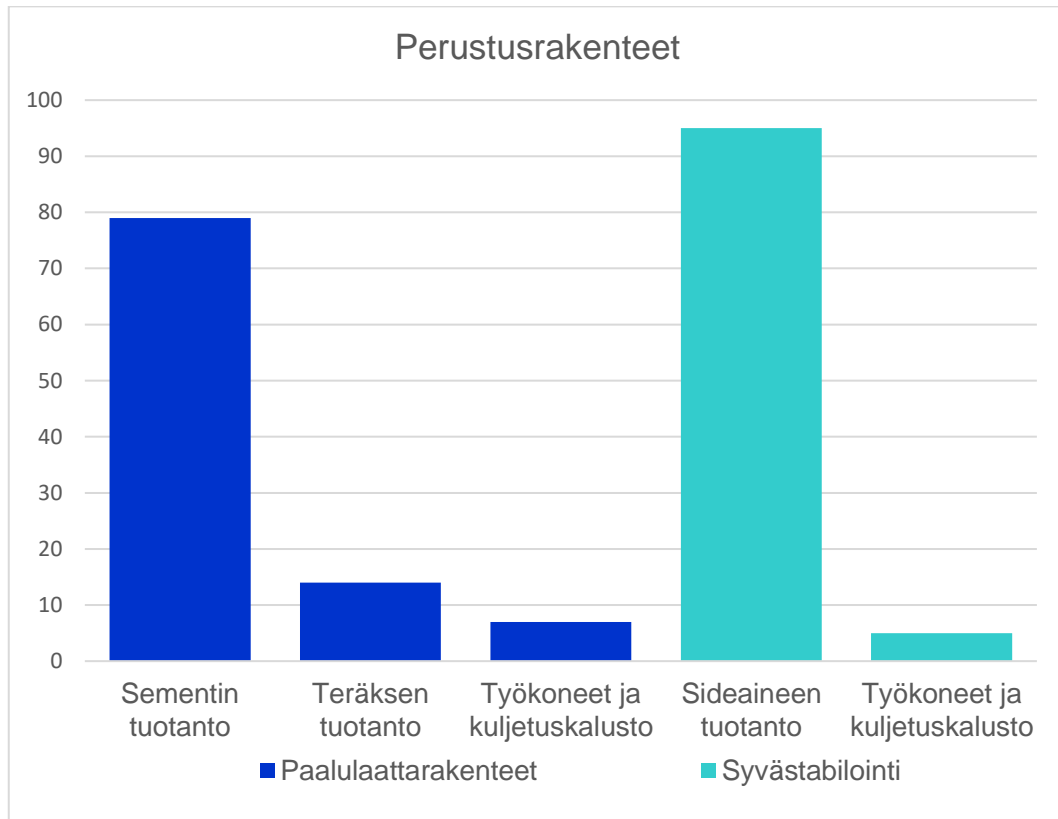
Kuva 6 Radan rakenteen päästöjen jakautuminen hankeosakohtaisesti.

Erot suurnopeusradan ja Riihimäki–Tampere-radan rakenteen työkoneiden ja kuljetuskaluston päästöjen osuudessa johtuvat osin suurnopeusradan korkeamman liikennöintinopeuden vaatimuksista (korkeampi alusluokka ja vaativampi pystygeometria), osin suurnopeusradan linjauksen suuremmista korkeuseroista.

Jokela–Riihimäki-radan päästöt on arvioitu rakennusosalaskennan avulla. Muiden hankeosien radan rakenteen päästöt on arvioitu hankeosalaskennan tulosten perusteella. Jokela–Riihimäki välin rakenneosalaskennan tuloksia on käytetty hankeosalaskentojen tulkitsemiseen.

Lentoradan päästöjen jakaumassa korostuvat kiskojen teräksen tuotannon päästöt. Pääosin tunnelissa kulkevassa Lentoradassa pengerrakenne on verrattain matala.

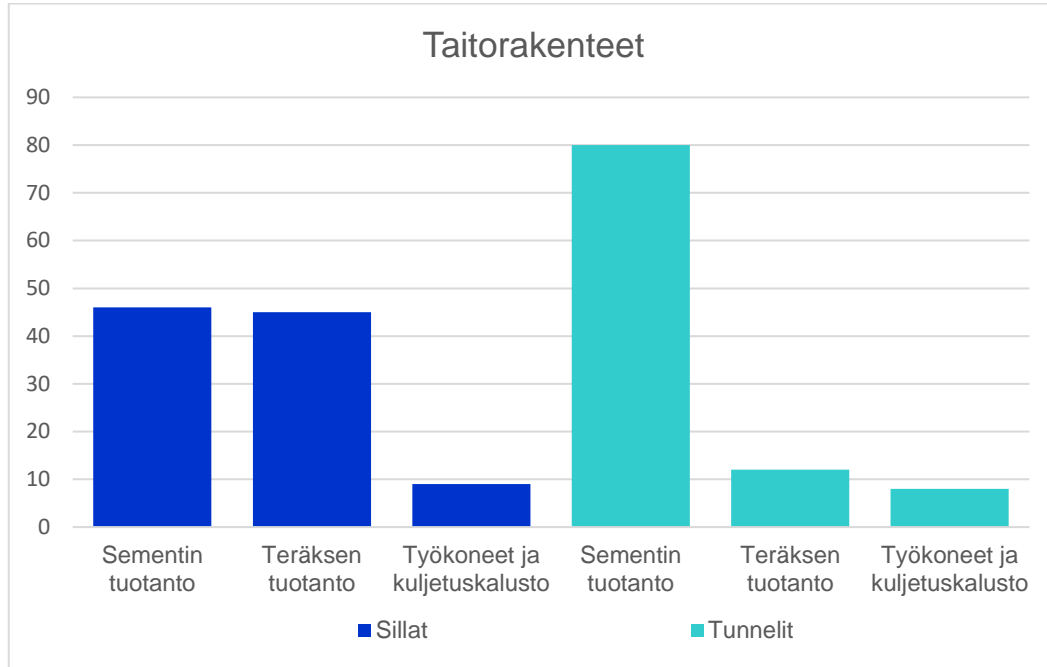
Perustusrakenteiden kohdalla arvioitiin paalulaattarakenteiden rakentamisen päästöjen jakauma sekä syvästabiloinnin päästöjakauma (kuva 19).



Kuva 19 Paalulaattarakenteiden rakentamisen päästöjen jakauma sekä syvästabiloinnin päästöjakauma.

Hankevaihtoehdoissa käytettiin myös jonkin verran massanvaihtoa, esikuormittamista ja vaahtolasikevennystä perustusrakentamisessa. Massanvaihdon ja esikuormittamisen päästöjen oletettiin muodostuvan kokonaisuudessaan työkoneiden ja kuljetuskaluston käytöstä. Vaahtolasikevennysten määrä oli vähäinen, eikä niitä huomioitu skenaarion päästöjakauman arvioimisessa.

Arviossa siltojen ilmastopäästöjen jakautumisesta teräsrakenteet muodostivat huomattavan päästölähteen tutkituissa hankevaihtoehtojen silloissa (kuva 20). Teräksen käytön päästöihin vaikuttavat silloissa käytettävät suuret määrät päästöintensiivistä jänneterästä sekä siltojen perustuksissa käytettävät teräksiset porapaalut.



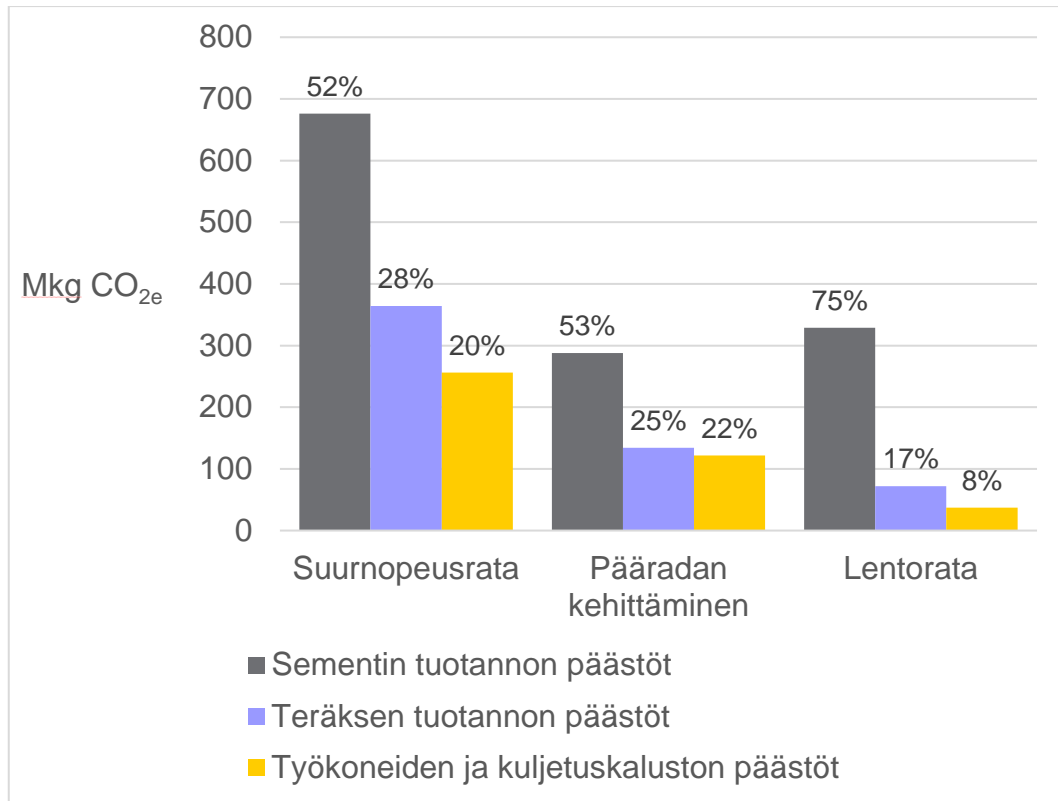
Kuva 20 Siltojen ja tunnelien päästöjen jakautuminen.

Tunnelien rakentamisen päästöihin (kuva 20) vaikuttaa voimakkaasti tunneleissa käytettävä sementti. Tunnelirakentamisessa sementtiä käytetään sekä kallion injektoinnissa, louhitun käytävän ruiskubetonoinnissa, että suurnopeusjunan tunnelissa käytettävässä betoniverhouksessa. Ruiskubetonoinnin vaatiman nopean lujuutumisen sekä vaativien säädösten takia tunnelirakentamisessa käytetty sementti on usein myös poikkeuksellisen päästöintensiivistä verrattuna yleisimpiin rakentamisessa käytettyihin sementtilaatuihin.

Melusteiden ilmastopäästöjen muodostuminen jakautui suunnilleen tasan sementin ja teräksen tuotannon, työkoneiden ja kuljetuskaluston sekä tyypimeluseinän sisältämän lasin ja ääntä absorboivan täyteen valmistuksen ilmastopäästöjen kesken.

Sähköratarakenteiden päästöjen kehityksen oletettiin noudattavan teräksentuotannon päästökehitystä.

Arvio sementin tuotannon päästöjen, teräksen tuotannon päästöjen sekä työkoneiden ja kuljetuskaluston päästöjen kokonaismäärästä hankevaihtoehdoissa esitellään kuvassa 21. Lentoradan päästöt esitetään kuvassa eriteltyinä.



Kuva 7 Rakentamisesta aiheutuvien päästöjen jakautuminen suurnopeusradalla, pääradan kehittämisen vaihtoehdossa sekä Lentoradalla.

Suurnopeusradan rakentamisesta aiheutuvista kokonaispäästöistä arviolta 52 % muodostuu sementin tuotannosta, 28 % teräksen tuotannosta ja 20 % työkoneiden ja kuljetuskaluston käytöstä. Pääradan kehittämisen rakentamisesta aiheutuvista kokonaispäästöistä arviolta 53 % muodostuu sementin tuotannosta, 25 % teräksen tuotannosta ja 22 % työkoneiden ja kuljetuskaluston käytöstä. Pääosin tunnelissa kulkevan Lentoradan rakentamisesta aiheutuvista kokonaispäästöistä arviolta 75 % muodostuu sementin tuotannosta, 17 % teräksen tuotannosta ja 8 % työkoneiden ja kuljetuskaluston käytöstä louhinnassa ja muussa työmaakäytössä.

Yhdistämällä arviot hankevaihtoehtojen päästölähdejakaumasta arvioon päästöjen kehityksestä (luvut 4.1.3–4.1.5.) muodostettiin ilmastopäästöt vuonna 2035 skenaario. Tämä arvio esitetään luvussa 4.2.

4.1.3 Sementin valmistuksen päästökehitys

Sementin päästökehitys arvioitiin tutkimalla teollisuuden ja julkisten sekä yksityisten tutkimuslaitosten julkaisuja. Sementin valmistuksen päästökehityksen arvioinnissa keskeisimmät lähteet esitellään taulukossa 5.

Taulukko 5 Sementin valmistuksen päästökehityksen arvioinnissa käytetyt lähteet.

Laatija	Lähteen otsikko
CEMBUREAU (The European Cement Association) (2022)	Cementing the European Green Deal - Reaching climate neutrality along the cement and concrete value chain by 2050
Global Cement and Concrete Association (2021)	GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete
International Energy Agency (2018)	Technology Roadmap – Low-Carbon Transition in the Cement Industry
Mistra Carbon Exit (Karlsson ym. 2020b)	Technical roadmap Cement Industry
New Climate Institute (Nilsson ym. 2020)	Decarbonisation pathways for the EU cement sector – technology routes and potential ways forward

Sementin valmistuksen päästökertoimelle vuonna 2035 laadittiin kaksi arviota.

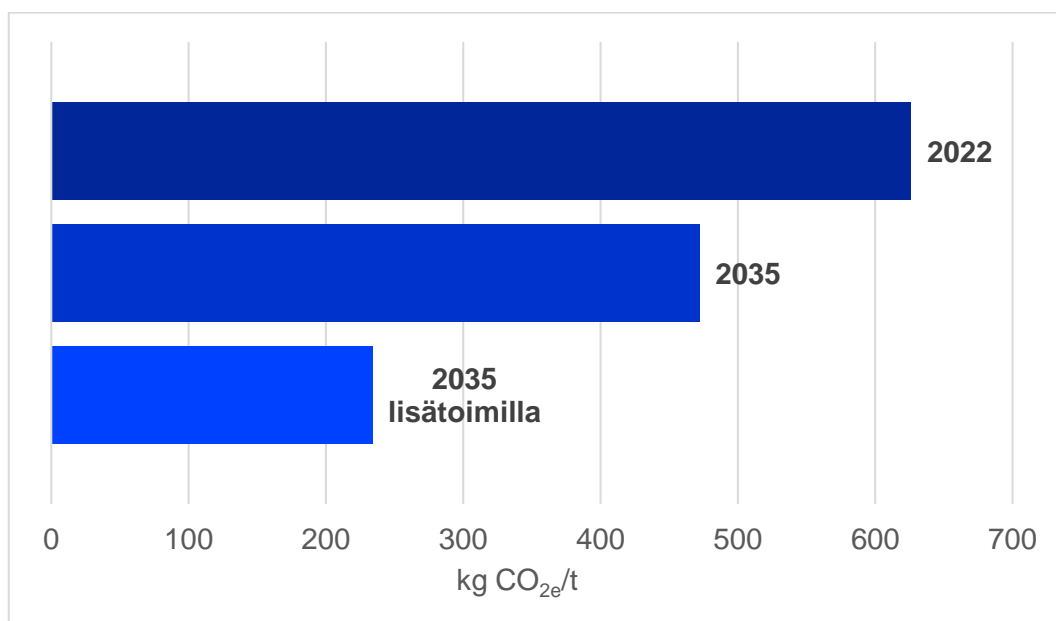
Päästökertoimeltaan korkeampi arvio kuvaa päästökaupan säädösten täyttämiseksi vaadittavien vähennysten toteutumista (Raivio ym. 2020). Suomen sementintuotannon päästökerroin on tällä hetkellä kansainvälisesti verrattuna varsin matala. Päästökaupan ehtojen täyttäminen tulee siksi vaatimaan mittavia toimia. Arviossa käytettyjen tutkimusten skenaarioiden perusteella tämän tasoiset vähennykset ovat kuitenkin mahdollisia yhdistelmällä lisääntynyttä biopolttoaineiden käyttöä, lisääntynyttä sähkön käyttöä prosessissa, prosessin tehostamista, sekä uusien sideainekomponenttien käyttöä.

Tällä hetkellä merkittävä tapa vähentää betonin ja syvästabiloinnin ilmastopäästöjä on kierrätyspohjaisten aineiden kuten teräksen tuotannossa syntyvät masuunikuonan ja kivihiilen poltossa syntyvät lentotuhkan käyttö osana sementtiseosta. Yleisimmät tänä päivänä Suomessa myytävät sementtilaadut sisältävät vaihtelevissa määrin kierrätyspohjaisia ainesosia. Masuunikuonan käyttöä on sen saatavuuden takia kuitenkin vaikea lisätä suuremmissa määrin nykyisestä. Masuunikuonan saatavuuden voidaan myös olettaa heikentyvän oleellisesti vuoteen 2035 terästeollisuuden voimakkaiden muutosten takia, varsinkin Suomen lähialueilla. Lentotuhkan saatavuus on myös heikentymässä voimakkaasti. Suomessa kivihiilen poltto kielletään vuonna 2029. (Punkki 2021). Näitä materiaaleja voidaan osittain korvata esimerkiksi erilaisilla savipohjaisilla sideaineilla. Varsinkin taitorakenteissa kuten silloissa ja tunneleissa, sekä esimerkiksi paalulaattarakenteissa, sideaineiden pitkäaikaistoimivuuden takaaminen ja säädösten kehittyminen on hidasta, ja on epävarmaa missä määrin uudet sideaineet voivat laajemmassa mittakaavassa korvata perinteistä verrattain vähäseostettua sementtiä skenaarion ajankohtana (Ramboll Finland Oy 2022).

Skenaarion matalampi arvio sementin valmistuksen päästökertoimesta perustuu siihen, että edellä mainittujen keinojen lisäksi hankkeen sementin valmistuksessa on sovellettu lisätoimena hiilen talteenottoa (CCS, Carbon Capture and Storage). Hiilen talteenottoon on useita menetelmiä. Joillain menetelmillä voidaan teoriassa ottaa talteen ja säilöä jopa yli 90 % prosessissa syntyvästä hiilidioksidista. Skenaarion matalammassa arvioissa oletetaan, että sementin valmistuksen päästöistä voidaan vähentää 50 % hiilidioksidin talteenoton avulla. Tämä vähennys on linjassa Norjassa Brevikin sementtitehtaalle rakenteilla olevan hiilen talteenotto laitoksen arvioitujen vähennysten kanssa. Laitoksen hiilen talteenottomenetelmänä tullaan käyttämään amiinipesuria. Suurempi talteenotto prosentti tämän tyyppisellä laitoksella vaatisi huomattavien ulkoisten lisäenergiälähteiden käytön. Lisäenergian tarve kilpailisi mm. teräksentuotannon päästövähennyskeinojen energiantarpeen kanssa. Monien kilpailevien menetelmien kypsyyssaste on matalampi tai tekniikat vaatisivat kokonaan uuden sementtitehtaan rakentamisen. (Cavalett ym. 2021). Hiilen talteenoton ja säilytyksen sisältävässä skenaariossa on huomioitava hiilidioksidin kuljetuksen ja säilytyksen haasteet. Suomen välittömällä lähialueilla ei ole kaasua- tai öljykenttiä tai kalliolajeja, joihin talteen otetun hiilidioksidin voisi säilöä.

Mahdollisesti yleisemmin käyttöön tulevat savipohjaisten sideaineiden valmistuksen päästökertoimet ovat arviolta keskimäärin matalamman lisätoimilla saavutetun skenaarioarvion sementin päästökertoimen tasolla. Näiden käytön määrä ei siten suuremmin vaikuta tämän skenaarion päästökkehitysarvion tasoon. (Punkki 2021).

Tutkimusten perusteella sementin tuotannon päästövähennyspotentiaaliksi vuoteen 2035 arvioitiin **25–62 %** (kuva 22).



Kuva 8 Sementin valmistuksen päästökkehitys.

4.1.4 Teräksen valmistuksen päästökehitys

Teräksen päästökehitys arvioitiin tutkimalla teollisuuden ja julkisten sekä yksityisten tutkimuslaitosten julkaisuja. Teräksen valmistuksen päästökehityksen arvioinnissa keskeisimmät lähteet esitellään taulukossa 6.

Taulukko 6 Teräksen valmistuksen päästökehityksen arvioinnissa käytetyt lähteet.

Laatija	Lähteen otsikko
ESTEP AISBL (European Steel Technology Platform) (2020)	Clean steel partnership roadmap
EUROFER (European Steel Association) (2019)	Low carbon roadmap. Pathways to a CO ₂ -neutral European steel industry
Euroopan komissio (2022)	Technologies to decarbonize the EU steel industry
Green Steel for Europe Consortium (2021)	Decarbonisation Pathways 2030 and 2050
International Energy Agency (2020)	Iron and Steel Technology Roadmap Towards more sustainable steelmaking
Mistra Carbon Exit (Toktarova ym. 2020)	Technical roadmap Steel Industry

Teräksen valmistuksen päästökertoimelle vuonna 2035 laadittiin kaksi arviota.

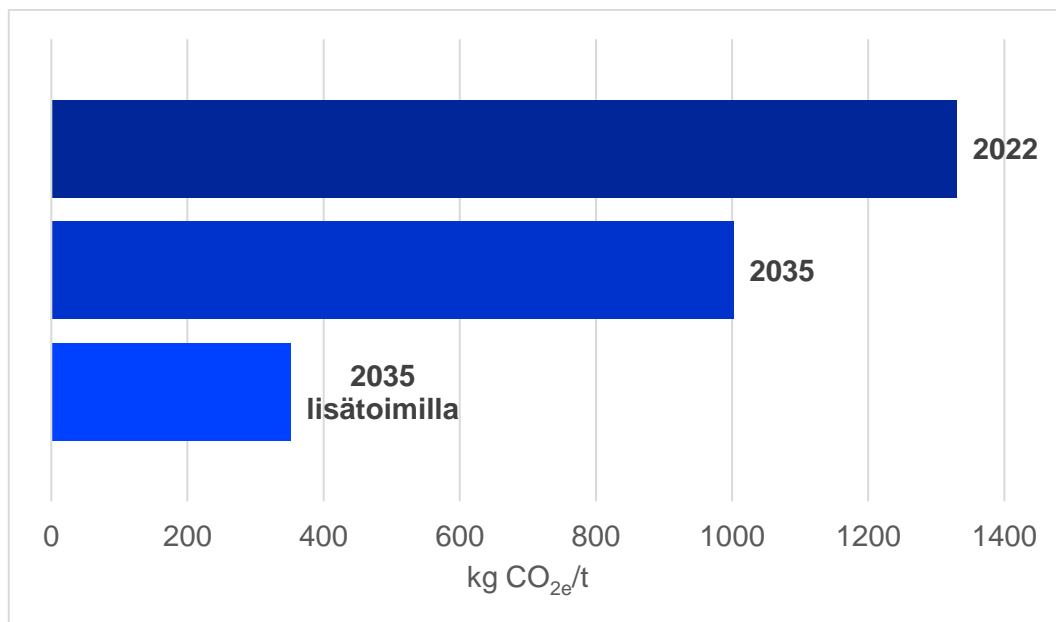
Teräksen tuotanto on Suomessa kansainvälisesti katsottuna verrattain vähähiilistä. Terästuotteiden kauppa on kuitenkin kansainvälistä verrattuna sementin kauppaan, jossa suuri osa Suomessa käytetystä sementistä valmistetaan kotimaassa. Sekä matalammassa että korkeammassa arvioissa, sekä niiden toteutumisen arvioissa, huomioitiin siksi myös eurooppalaisen teräksentuotannon päästökehitys. Suomessa toimivien teräsvalmistajien tämän hetken suunnitelmien mukaan on mahdollista, että noin vuodesta 2035 eteenpäin Suomessa valmistetaan terästä ainoastaan kierrätetystä teräksestä. Osa teräksestä on silloin todennäköisesti tuotava ulkomailta.

Korkeampi arvio päästökertoimesta kuvaa päästökaupan säädösten täyttämiseksi vaadittavien vähennysten toteutumista (Raivio ym. 2020). Tässä selvityksessä tutkittujen lähteiden mukaan 25 % päästövähennyksiin vuoteen 2022 verrattuna päästään suunnitteilla olevilla toimilla Euroopan unionin terästuotannossa. Teräksen tuotanto on jakautunut lukuisiin tehtaisiin, ja tehtaiden päästövähennystoimet riippuvat tehtaan iästä, perusrakenteesta ja sen ympäristön edellytyksistä. Muuttujia ovat esimerkiksi nestekaasun saatavuus ja hinta, sähkön hinta ja päästökerroin, bio- ja kierrätyspolttoaineiden saatavuus, hiilidioksidin talteenoton edellytykset ja vedyn saatavuus ja säilytysmahdollisuudet. Suomessa vuoteen 2035 mennessä oletetaan, että kahdesta nykyisestä masuunista, joilla terästä tuotetaan malmista, vähintään yksi on korvattu modernilla hyvin vähäpäästöisellä kierrätysteräslaitoksella.

Skenaarion matalampi arvio päästökertoimesta olettaa, että tällä hetkellä suunnitellut muutokset Suomen ja Ruotsin terästuotannossa, joiden ansiosta pohjoismaissa tuotettaisiin nykyistä huomattavasti suurempi pienemmän päästökertoimen omaavaa kierrätysterästä, ja lisäksi myös verrattain liki hiilivapaata terästä valmistava vetypelkistyksen avulla, toteutuvat. Tämän lisäksi Euroopan terästeollisuus saavuttaa tässä skenaariossa keskiarvon tutkittujen lähteiden arvioiden mukaan nykyään mahdollisina pidettävillä lisätoimilla saavutettavista päästövähennyksistä vuonna 2035.

Matalampi arvio lisätoimilla saavutettavasta päästökertoimesta on yhdistelmä Euroopan terästeollisuuden kiihdytettyä kehitystä, kasvanutta osuutta kierrätysterästä ja vetypelkistetyn teräksen paikallisesti suurempaa saatavuutta. Myös pohjoismaiden sähköntuotannon matala päästökerroin, varsinkin skenaarioajankohdantana (AFRY Oy 2020), on huomioitu tutkimusten tulkinnessa. Matalamman skenaarion oletuksessa puolet teräksestä on saatavilla lähes kokonaan uusiutuvalla energialla tuotetusta kierrätysteräksestä tai vetypelkistyksen avulla rautamalmista, ja puolet Euroopan markkinoilta vajaa 50 % nykyistä pienemmällä päästökertoimella.

Tutkimusten perusteella teräksen tuotannon päästövähennyspotentiaaliksi vuoteen 2035 arvioitiin **25–74 %** (kuva 23).



Kuva 23 Teräksen valmistuksen päästökehitys.

Samoin kuin sementin kohdalla, jo korkeamman arvion saavuttaminen tulee edellyttämään huomattavia investointeja, ja toisaalta, matalamman arvion päästövähennysten ylittäminen on tutkittujen selvitysten mukaan mahdollista.

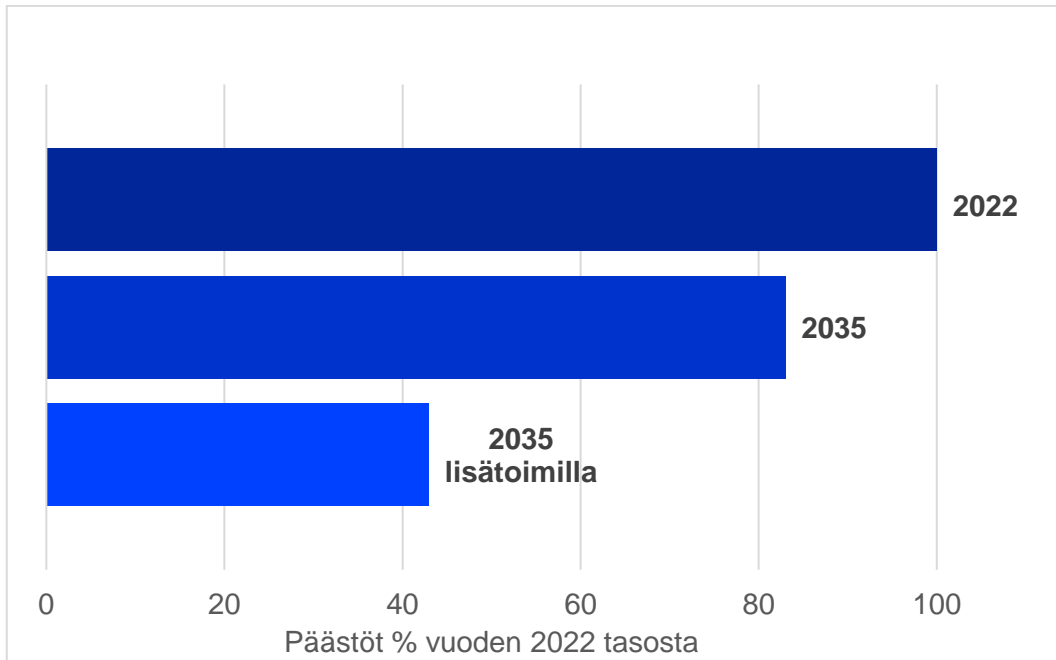
4.1.5 Työkoneiden ja kuljetuskaluston päästökehitys

Työkoneet ja kuljetuskalusto käyttävät tänä päivänä voimanlähteenä ensisijaisesti diesel- ja polttoöljyä. Selvityksen lähdemateriaalina toimineesta aineistosta johtuen maa- ja kallioainespohjaisten hankeosien ja rakennusosien valmistuksesta aiheutuvien ja kuljetuksesta aiheutuvien päästöjen erittely ei ollut aina mahdollista. Tästä johtuen päästöluokkaan sisällytettiin myös maa- ja kalliomateriaalien tuotantovaihe.

Maa- ja kallioaineksen päästökertoimet eroavat voimakkaasti lähteenä käytetystä päästötietokannasta riippuen, joten päästökertoimien alkuperäislähteen säilyttäminen pidettiin perusteltavana. Kallioaines valmistetaan useimmiten sähkökäyttöisellä murskaimella. Suomen tämänhetkisen sähköntuotannon vähähiilisuudesta johtuen sähkökäyttöisten murskainten käytön arveltiin olevan verrattain pieni päästölähde kuljetuksiin verrattuna kallioaineksen tuotannossa. Sähköntuotannon päästökertoimen arvellaan myös laskevan voimakkaammin kuin työkoneiden (AFRY Oy 2020), joten murskeen valmistuksen sisällyttäminen päästöluokkaan ei todennäköisesti johda päästövähennysten yliarviointiin.

Skenaarion arvio työkoneiden ja kuljetuskaluston perustuu Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisun ”Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energia- ja politiikan toimien ympäristövaikutusten arviointi” (Soimakallio ym. 2021) arviointiin työkoneiden päästökehityksestä. Skenaarion ilmastopäästöiltään korkeampi arvio pohjautuu Soimakallion ym. ”WEM-skenaarioon” (With Existing Measures) joka kuvaa olemassa olevien toimien vaikutusta päästöjen kehitykseen. Näitä toimia ovat tässä skenaariossa biopolttoöljyn sekoitvelvoitteen nostaminen 10 prosenttiin ja sähkökäyttöisten työkoneiden lisääntynyt käyttö. Matalampi arvio perustuu Soimakallion ym. ”WAM-skenaarioon” (With Additional Measures) arviointiin. Arvio kuvaa arvioitujen mahdollisten täydentävien lisätoimien päästövähennyspotentiaalia. Karlsson ym. (2020a) arvioivat että työkoneissa olisi mahdollista vuoteen 2035 mennessä saavuttaa jopa 78 % biopolttoaineosuus, 23 % hybridiosuus sekä 13–30 % osuus sähkökäyttöisiä koneita. Arvio on laadittu Ruotsin Trafikverketin (Trafikverket 2022) päästövähennystavoitteiden tueksi ja edellyttää huomattavaa biopolttoaineen saatavuuden lisääntymistä ja ohjautumista tarkastellulle sektorille, sekä voimakasta kehitystä akkuteknikassa. Karlssonin ym. esittelemät mahdolliset toimet kuvaavat kuitenkin mahdollisia matalampien päästöjen skenaarion mahdollistavia lisätoimia.

Tutkimusten perusteella työkoneiden ja kuljetuskaluston päästövähennyspotentiaaliksi vuoteen 2035 arvioitiin **17–57 %** (kuva 24).

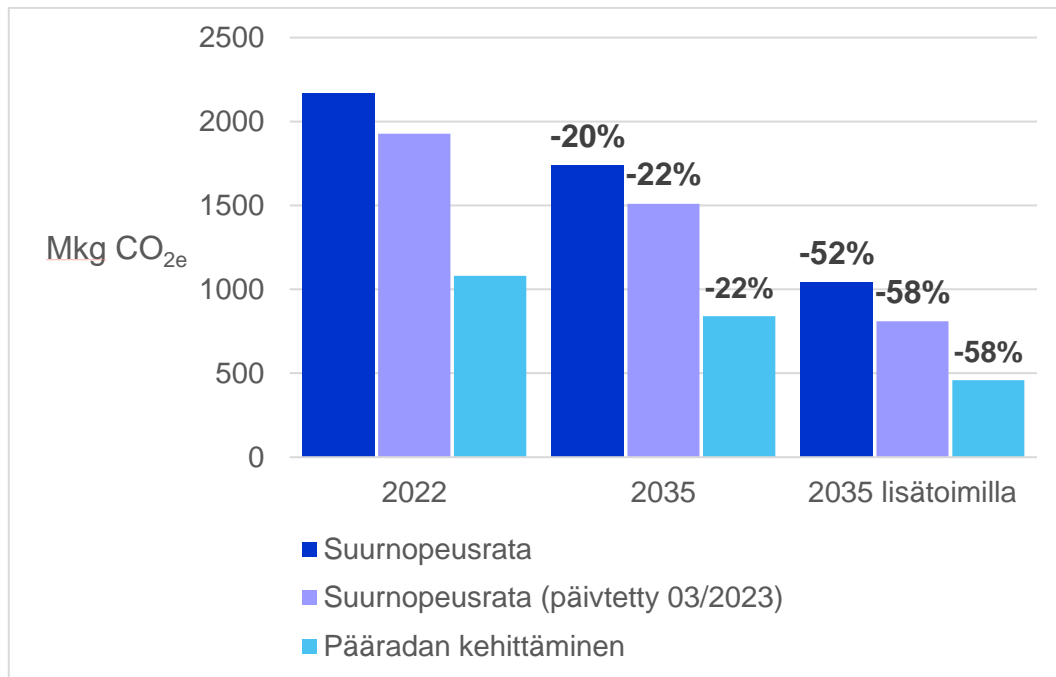


Kuva 24 Työkoneiden ja kuljetuskaluston päästökehitys.

4.2 Rakentamisen aikaiset päästöt 2035 skenaariossa

Skenaariotarkastelun perusteella Suurnopeusradan kokonaispäästöt vuonna 2035 (kuva 25) sijoittuvat noin **810 Mkg CO_{2e}** ja **1510 Mkg CO_{2e}** välille. Pääradan kehittämisen kokonaispäästöt sijoittuvat skenaariotarkastelun perusteella vuonna 2035 noin **450 Mkg CO_{2e}** ja **850 Mkg CO_{2e}** välille.

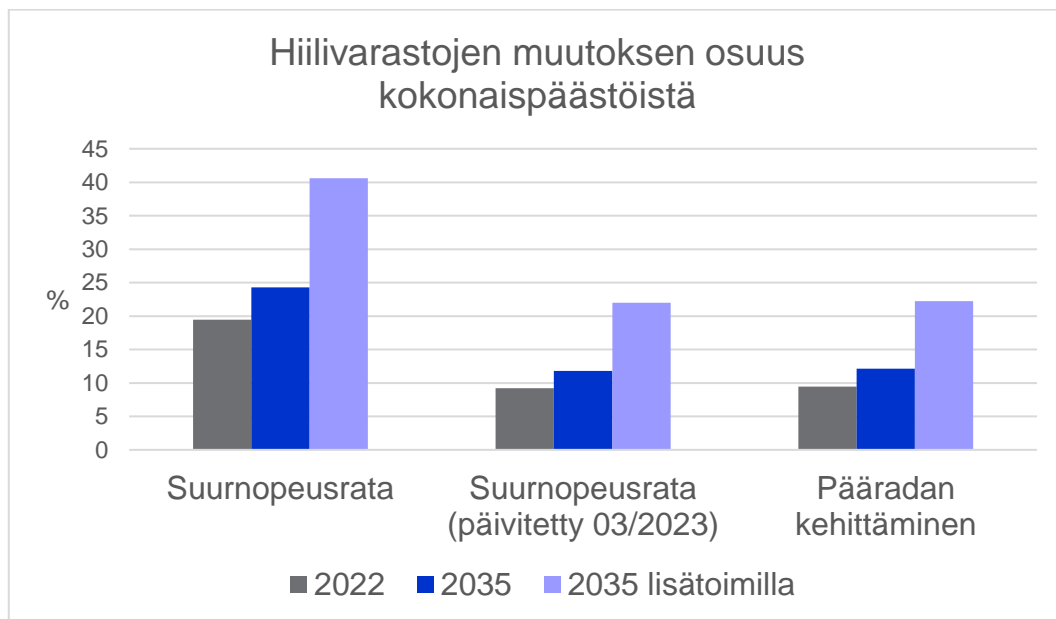
Aikaisemman selvityksen mukaiset Suurnopeusradan kokonaispäästöt sijoittuivat vuonna 2035 arviolta (kuva 25) noin **1050 Mkg CO_{2e}** ja **1750 Mkg CO_{2e}** välille.



Kuva 95 Hankevaihtoehtojen ilmastovaikutukset 2035 skenaarioissa.

4.2.1 Skenaarion vaikutus päästöjakaumaan

Materiaalien sekä työkalujen ja kuljetusten päästövähennykset vaikuttavat kaikkiin selvityksen päästölähdeluokkiin maankäytön muutoksesta aiheutuvia päästöjä lukuun ottamatta. Maankäytön muutoksesta aiheutuvat ilmastopäästöt korostuvat siksi vuoden 2035 skenaarioissa (kuva 26).



Kuva 2610 Hiilivarastojen muutoksen osuus kokonaispäästöistä

Muutosta arvioidessa on lisäksi huomioitava, että rakentamisesta aiheutuvia päästöjä voidaan laskea myös suunnittelussa ja rakentamisessa tehtävillä valinnoilla.

Näitä keinoja esitellään luvussa 5. Suunnittelun ja rakentamisen valinnoilla saavutetut vähennykset ilmastopäästöissä korostavat hiilivaraston muutoksen osuutta kokonaispäästöistä entisestään.

5 Päästövähennyskeinot

Rakentamisen aikaisia ilmastopäästöjä voidaan vähentää monella eri keinolla. Päästövähennyksessä ensimmäinen keino on varmistaa, että turhia rakenteita ei rakenneta. Tämän jälkeen on tärkeää varmistaa, että rakentamisessa käytetään mahdollisimman vähäpäästöisiä materiaaleja. Myös rakentamisen aikana tehdyillä valinnoilla voidaan vähentää hankkeen ilmastopäästöjä.

Linjauksen valinnan jälkeen suunnitteluvaiheessa voidaan vaikuttaa rakennettaviin määriin. Tarkemmalla suunnittelulla, rakenteiden tietomallinnuksella sekä tehdyillä rakenne ja materiaalivalinnoilla voidaan vähentää rakentamisesta aiheutuvia ilmastopäästöjä huomattavissa määrin.

Vähähiiliset suunnitteluratkaisut voivat vaikuttaa voimakkaasti taitorakenteiden ilmastopäästöihin. Silloissa valituilla rakenneratkaisuilla (esimerkiksi ilmasto-optimoitu määrä terästä betonissa) voidaan tutkimusten mukaan laskea teräsbetonisiltojen rakentamisesta aiheutuvia päästöjä 15–20 % (Uppenberg ym. 2017). Tunnelirakentamisessa betoniverhouksen optimoinnilla voidaan niin ikään saavuttaa 10–30 % vähennykset tunnelirakentamisen päästöissä (Aldrian & Bantle 2021).

Perustusrakenteiden valinnalla voidaan myös vähentää hankkeen ilmastopäästöjä. Selvityksessä käytetyillä oletuksilla stabiloinnin ilmastopäästöt ratametriä kohden olivat noin 25 % matalammat kuin paalulaatan käytöllä. Mikäli pehmeiköllä voidaan rakentaa stabiloidun maaperän varaan eikä paalulaattarakenne ole välttämätön, ilmastopäästöjä voidaan siis vähentää tuntuvasti, varsinkin jos stabiloinnissa voidaan käyttää päästökertoimeltaan matalampia sideainevaihtoehtoja.

Stabilointi oli ratametriä kohden selvityksen oletuksilla noin 25 % vähäpäästöisempää kuin paalulaatan käyttö. Paalulaatan rakentamisessa vähäpäästöisempien sideaineiden käyttömahdollisuudet ovat tänä päivänä rajalliset, kuten myös esimerkiksi siltojen ja tunnelien rakentamisessa. Tämä johtuu näiden rakenteiden turvallisuusvaatimuksista ja niitä koskevista säädöksistä. (Ramboll Finland Oy 2022). Stabiloinnissa sideaineen valintaa ohjaa stabiloitavan maaperän ominaisuudet, mutta selvityksen 30/70 kalkkisementin (809 kg CO_{2e}/t) sijasta on mahdollista, että suuri osa perustusrakenteiden stabiloinnista olisi mahdollista toteuttaa esimerkiksi kaupallisella Terra GTC-sideaineella. Tämän sideaineen päästökerroin on 186 kg CO_{2e}/t (Nordkalk Oy 2022).

Jokela–Tampere välin stabiloinnin ilmastopäästöt olivat vuoden 2022 tasolla noin 205 Mkg CO_{2e} perinteisellä kalkkisementillä. Mikäli sideaineena olisi käytetty Terra GTC:tä stabiloinnin ilmastopäästöt olisivat pääradan kehittämissivaihtoehdossa olleet arviolta 158 Mkg CO_{2e} matalammat. Stabiloinnin päästöt olisivat laskeneet 77 % ja hankevälin kokonaispäästöt liki 25 %.

Päästöjen vähentämisessä materiaalihukan vähentäminen on myös oleellista. Tyypillisen paikallaan valetun betonisillan rakentamisessa on betonin hukkamääräksi arvioitu tyypillisesti 10–12 % ja raudoitusteräksen hukkamääräksi 15–20 %. Esivalmistettujen elementtien käytöllä päästöjä olisi mahdollista vähentää 5 % materiaalihukan pienenemisen myötä. (Uppenberg ym. 2017) Tunnelirakentamisessa hukkamäärät voivat olla, varsinkin ruiskubetonoinnissa, tätäkin suuremmat.

Kuljetuksista johtuvat päästöt vaihtelevat kuljetusväylyksien mukaan. Etäisyydet tarkentuvat materiaalien saatavuuden varmistuessa hankkeen toteutuksen aikana. Hankkeiden rakentamisen yhteydessä kuitenkin muodostuu runsaasti rakennusmateriaalia, esimerkiksi maaleikkausten teossa ja tunnelinlouhinnassa. Tämän materiaalin käyttöä hankkeen sisällä suunnitellaan massakoordinaation avulla. Molemmat selvityksen hankevaihtoehdot ovat ajallisesti ja maantieteellisesti

laajoja rakennushankkeita, joissa muodostuu huomattavia määriä maa- ja kallioainesta. Kuljetusten päästöjen minimoimiseksi mahdollisimman aikaisin suunniteltu massakoordinaatio myös muiden alueellisten toimijoiden kanssa olisi siksi tärkeää.

Yhdistämällä päämateriaalien ja kuljetuskaluston ja työkoneiden oletettu päästökehitys vuoteen 2035 ilmasto- ja ilmastopäästöihin materiaalivalintoihin ja ilmastopäästöjen vähentämiseen tähtääviin valintoihin suunnittelussa ja rakentamisessa mahdollisuudet vähentää hankevaihtojen ilmastopäästöjä vuonna 2035 ovat huomattavat.

Ruotsin Trafikverket edellyttää suunnittelijoilta ja urakoitsijoilta vuonna 2035 valmistuvilta rautatiehankkeilta 80 % päästövähennystavoitteita vuoden 2015 tasoon verrattuna. Suurin osa vähennyksestä oletetaan saavutettavaksi materiaalien kehityksen myötä, mutta näiden tavoitteiden saavuttamiseen tarvitaan myös ilmastopäästöjen vähentämiseen tähtääviä toimia suunnittelussa ja rakentamisessa. Vuonna 2035 Trafikverket olettaa betonirakenteiden optimoinnin laskevan betonin käytön päästöjä 20 %. Raudoitusten optimoinnin päästövähennystavoite on 15 %, rakenneteräksen käytön optimoinnin 20 % ja työkoneiden ja kuljetuskaluston käytön tehostamisen noin 15 %. (Trafikverket 2022). Trafikverket päivittää ohjeistustaan ja päästötavoitteitaan vuosittain. Tulevina vuosina päästötavoitteiden oletetaan kiristyvän (WSP Sverige AB 2021).

6 Johtopäätökset

Selvityksen arvion mukaan Suurnopeusradan rakentamisesta aiheutuvat päästöt ovat 1750 miljoonaa kg CO_{2e} ja pääradan kehittämisen 1080 miljoonaa kg CO_{2e}. Rakentamisesta aiheutuvat päästöt eivät sisällä hiilivarastojen muutoksesta aiheutuvia päästöjä. Molemmat rakentamismuutokset sisältävät Lentoradan rakentamisesta aiheutuvat arviolta 438 miljoonan kg CO_{2e} päästöt.

Selvityksen suurimmat epävarmuudet ovat siltojen ja tunnelien päästöarvioissa. Varsinkin Suurnopeusradalla nämä muodostavat huomattavan osan rakentamisesta aiheutuvista päästöistä. Arviot perustuvat saman arviointimenetelmän käyttöön kuin muiden rakentamisen osien arviot. Eräiden siltojen suuri pituus suurnopeusradalla sekä tunnelirakentamisen määrä, tunnelien pituus ja suurnopeusjunan liikennöinnin vaatimat erikoisratkaisut lisäävät kuitenkin näiden rakentamisen osien päästöarvion epävarmuutta. Varsinkin tunnelien rakentamisessa suuret vaihteluvälit ovat tyypillisiä myös kustannusarvioissa. Tunnelien rakennusosalaskenta ja kallioperätutkimusten tulosten huomiointi tunnelikohtaisesti mahdollistaisi tarkemman päästöarvion.

Vuoden 2035 skenaariossa on odotettavissa rakentamisesta aiheutuvien päästöjen laskevan huomattavasti. Varsinkin perinteisen sementin valmistuksen päästöjen väheneminen vähentää vaihtoehtoisilla sideaineilla saavutettavien päästövähennyksien määrää toteutuessaan. Mikäli päästövähennykset vuoteen 2035 kohdistuvat teräksen tuotantoon, lisääntyneellä teräksen käytöllä voidaan tietyissä rakenteissa, kuten silloissa, kompensoida sementin valmistuksen mahdollisia pienempiä päästövähennyssaavutuksia.

Vuoden 2035 päästöskenaariossa maankäytön muutoksista aiheutuvien päästöjen osuus suurnopeusradan ja pääradan kehittämisen kokonaispäästöistä korostuu, kun rakennusmateriaalien ja polttoaineiden käytöstä aiheutuvat päästöt tulvaisuudessa pienenevät.

Lähdeluettelo

AFRY Oy. (2020). Finnish Energy – Low carbon roadmap. Saatavilla: [https://energia.fi/files/5064/Taustaraportti - Finnish Energy Low carbon roadmap.pdf](https://energia.fi/files/5064/Taustaraportti_-_Finnish_Energy_Low_carbon_roadmap.pdf)

Aldrian, W. & Bantle, A. (2021). Ways to Reduce CO in Sprayed Concrete for Tunnel Construction. Tunnel 05/2021. Saatavilla: https://www.tunnel-online.info/en/artikel/tunnel_Ways_to_Reduce_CO2_in_Sprayed_Concrete_for_Tunnel_Construction_3692572.html

Cavalett, O., Cherubini, F. & Olsson, O. (2021). Bio-CCS in the cement sector: an overview of technology options and policy tools. IEA Bioenergy. ISBN 978-1-910154-98-4. Saatavilla: <https://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/6/2022/01/Cavalett-et-al-2021-Deployment-of-bio-CCS-in-the-cement-sector.pdf>

CEMBUREAU. (2020). Cementing the European Green Deal - Reaching climate neutrality along the cement and concrete value chain by 2050. The European Cement Association. Saatavilla: https://cembureau.eu/media/kuxd32gi/cembureau-2050-roadmap_final-version_web.pdf

ESTEP AISBL. (2020). Clean steel partnership roadmap. European Steel Technology Platform. Saatavilla: <https://www.estep.eu/assets/Uploads/200715-CSP-Roadmap.pdf>

EUROFER. (2019). Low carbon roadmap. Pathways to a CO2-neutral European steel industry. European Steel Association. Saatavilla: <https://www.eurofer.eu/assets/Uploads/EUROFER-Low-Carbon-Roadmap-Pathways-to-a-CO2-neutral-European-Steel-Industry.pdf>

Euroopan komissio. (2022). Technologies to decarbonize the EU steel industry. JRC Technical Report. DOI: 10.2760/069150 Saatavilla: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC127468/JRC127468_01.pdf

Global Cement and Concrete Association. (2021). GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete. Saatavilla: <https://gccassociation.org/concretefuture/wp-content/uploads/2021/10/GCCA-Concrete-Future-Roadmap-Document-AW.pdf>

Green Steel for Europe Consortium. (2021). Decarbonisation Pathways 2030 and 2050 (Deliverable D1.7). Saatavilla: <https://www.estep.eu/assets/Uploads/D1.7-Decarbonisation-Pathways-2030-and-2050.pdf>

Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä (HSY), (2020). Selvitys pääkaupunkiseudun hiilinieluista ja -varastoista. Saatavilla: <https://julkaisu.hsy.fi/selvitys-paakaupunkiseudun-hiilinieluista-ja--varastoista.pdf>

International Energy Agency. (2020). Iron and Steel Technology Roadmap Towards more sustainable steelmaking. Saatavilla: <https://read.oecd.org/10.1787/3dcc2a1b-en?format=pdf>

International Energy Agency. (2018). Technology Roadmap – Low-Carbon Transition in the Cement Industry. Cement Sustainability Initiative. Saatavilla: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/cbaa3da1-fd61-4c2a-8719-31538f59b54f/TechnologyRoadmapLowCarbonTransitionintheCementIndustry.pdf>

Institution of Structural Engineers. (2021). Low Carbon Sprayed Concrete. Research Award Report. Saatavilla: <https://www.istructe.org/sitefiles/handlers/DownloadFile.ashx?productId=10074>

Karlsson, I., Toktarova, A., Rootzén, J. & Odenberger, M. (2020a). Technical roadmap Buildings and transport infrastructure. Mistra Carbon Exit. Saatavilla: https://research.chalmers.se/publication/520376/file/520376_Fulltext.pdf

Karlsson, I., Toktarova, A., Rootzén, J. & Odenberger, M. (2020b). Technical roadmap Cement Industry. Mistra Carbon Exit. Saatavilla: https://research.chalmers.se/publication/520378/file/520378_Fulltext.pdf

Liikenne- ja viestintäministeriö. (2021). Kohti digitaalista ja älykästä rautatieliikennettä – Digirata-valmisteluvaiheen loppuraportti. Liikenne- ja viestintäviraston julkaisuja 2021:17. ISBN 978-952-243-596-5. Saatavilla: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163295/LVM_2021_17.pdf

Nilsson, A., Hans, F., Lopez Legarreta, P., Lui, S. & Röser, F. (2020). Decarbonisation pathways for the EU cement sector – technology routes and potential ways forward. New Climate Institute. Saatavilla: https://newclimate.org/sites/default/files/2020/12/SGCCC-EU-Cement-paper-NewClimate_Nov2020.pdf

Nordkalk Oy. (2022). Esitys. SGY Pohjanvahvistuspäivä 2022 25.8.2022. Saatavilla: <https://sqy.fi/content/uploads/2022/06/kuusipuro-stabilointimaarat-ja-sideaineet-kari-kuusipuro.pdf>

Punkki, J. (2021). Betonin sideaineet tulevaisuudessa. Betoni 4/2021. Saatavilla: https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/12/BET2104_74-83.pdf

Raivio, T, Laine, A., Klimscheffskij, M., Lehtomäki, J., Heino, A., Jonsson, H., Pokela, P. & Ahlfors, M. (2020). Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 Osa 2. Gaia

Consulting Oy. Saatavilla: https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vahahiili_seminaaries/raportit_lopulliset/rt-raportti-2_vahahiilisyyden-mahdollisuudet_final.pdf

Ramboll Finland Oy. (2022). Infrarakentamisen betonin hiilijalanjäljen vähentäminen – Esiselvitys. Helsingin kaupunki. Kaupunkiympäristön aineistoja 2022:2. Saatavilla: <https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/aineistot/aineistoja-02-22.pdf>

Rapal Oy. (2019). Päästölaskennan kehityshanke. Rapal Oy, 29.3.2019.

Rasinmäki, J. & Känkänen, R. (2014). Kuntien hiilitasekartoitus osa 2. Hiilitaselaskuri ja toimenpidevalikoima. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 10/2014. Saatavilla: https://ilmastotyokalut.fi/files/2014/06/hiilitase_osa2_julkaisu_ymk_2014.pdf

Rauhala, A-M., Makkonen, P., Meskanen, P., Renvall, J., Teittinen, T., Tenlenius, T., Vauramo, S. ja Virta, T. Ramboll Finland Oy (2023). Suurnopeusradan ekologisen ja uudistavan suunnittelun periaatteet. Suomi-rata Oy. ~~Vantaa 2022.~~

SFS-EN 15978, 2012: Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method.

SYKE. (2022) Suomen ympäristökeskus. Verkkosivu: [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Koronapandemia_laski_Suomen_kotitalouksi\(62832\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Koronapandemia_laski_Suomen_kotitalouksi(62832))

Uppenberg, S, Ekström, D., Liljenroth, U. & Al-Ayish, N. (2017). Klimatoptimerad byggande av betongbroar - Råd och vägledning. Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond. SBUF-Projekt 13207. Saatavilla https://research.chalmers.se/publication/503557/file/503557_Fulltext.pdf

Toktarova, A., Karlsson, I., Rootzén, J. & Odenberger, M. (2020). Technical roadmap Steel Industry. Mistra Carbon Exit. Saatavilla: https://research.chalmers.se/publication/520377/file/520377_Fulltext.pdf

Trafikverket. (2022). Klimatkrav i planläggning byggskede underhåll och på tekniskt godkänt järnvägsmateriel. TDOK 2015:0480. v.6 Saatavilla: <https://trvdokument.trafikverket.se/fileHandler.ashx?typ=showdokument&id=bd0644c8-b306-4168-8771-ef1e7f86e36a>

Soimakallio, S., Tikkakoski, P., Niemistö, J., Savolahti, M., Rehunen, A., Seppälä, J. & Hildén, M. (2021). Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimien ympäristövaikutusten arviointi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:64 2021:64. ISBN 978-952-383-279-4. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-279-4>

Tuominen, A., Laihosalo, K., Vuorilampi, H., Kouko, S., Tuoriniemi, M. ja Kylmäkoski, T. 2022. Metsät 2030. Metsien hoidon toimintamalli 2022–2030. Saatavilla: https://www.tampere.fi/sites/default/files/2022-08/metsien_hoidon_toimintamalli_2022-2030.pdf

Liikennevirasto. (2014). Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 5/2014. ISBN 978-952-255-407-9. Saatavilla: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2014-05_paalulaattojen_paaluhatturakenteiden_web.pdf

Liikennevirasto. (2018). Syvästabiloinnin suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 17/2014. ISBN 978-952-317-588-4. Saatavilla: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2018-17_syvastabiloinnin_suunnittelu_web.pdf

Väylä, 2022. Rautatien suoja-alue. Saatavilla: <https://vayla.fi/vaylista/rataverkko/rautatien-suoja-alue>. Vierailtu 28.2.2023

WSP Sverige AB. (2021). Vägen mot klimatneutralitet. Kunskapsöversikt och förslag till nya reduktionsmål för Trafikverket. Saatavilla: <https://bransch.trafikverket.se/globalassets/vagen-mot-klimatneutralitet-slutrapport-210910.pdf>