



**SUOMIRADAN HANKE-
VAIHTOEHTOJEN RAKEN-
TAMISEN AIKAISTEN IL-
MASTOPÄÄSTÖJEN ARVI-
OINTI**

Suomiradan hankevaihtoehtojen rakentamisen aikaisten ilmastopäästöjen arviointi

9/2022

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

Suomi-rata Oy
Lentäjätie 3
01530 VANTAA

Peter Kolis, Heini Koutonen, Martti Hallipelto ja Taavi Dettenborn Ramboll Finland Oy: Suomiradan hankevaihtoehtojen rakentamisen aikaisten ilmastopäästöjen arviointi - Suomi-rata Oy Vantaa 2022. 9/2022. 37 sivua.

Avainsanat: ilmastopäästöt, suurnopeusrata, lentorata, pääradan kehittäminen

Tiivistelmä

Tämän selvityksen tavoitteena on arvioida Helsinki–Tampere välin raideliikenteen kehittämisvaihtoehtojen rakentamisen aikaisia ilmastopäästöjä. Ilmastopäästöt laskettiin hiilidioksidiekvivalenteina 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 2167 Mkg CO_{2e}. Vuonna 2035 suurnopeusradan ilmastopäästöjen kokonaismäärän arvioitiin sijoittuvan 1050 Mkg CO_{2e} ja 1750 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.

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	12
3.1 Päästölaskennan tulokset	12
3.2 Rakentamistöistä aiheutuvat päästöt	13
3.3 Maankäytön muutoksesta aiheutuvat päästöt	13
3.4 Päästöjen jakautuminen.....	17
4 RAKENTAMISEN PÄÄSTÖT VUONNA 2035	19
4.1 Skenaarion esittely	19
4.1.1 Metodien esittely	19
4.1.2 Päästölähderyhmien päästöjen jakautuminen	20
4.1.3 Sementin valmistuksen päästökehitys	24
4.1.4 Teräksen valmistuksen päästökehitys	26
4.1.5 Työkoneiden ja kuljetuskaluston päästökehitys	28
4.2 Rakentamisen aikaiset päästöt 2035 skenaariossa.....	29
4.2.1 Skenaarion vaikutus päästöjakaumaan	30
5 PÄÄSTÖVÄHENNYSKEINOT	31
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	33

1 Johdanto

1.1 Selvityksen tavoitteet

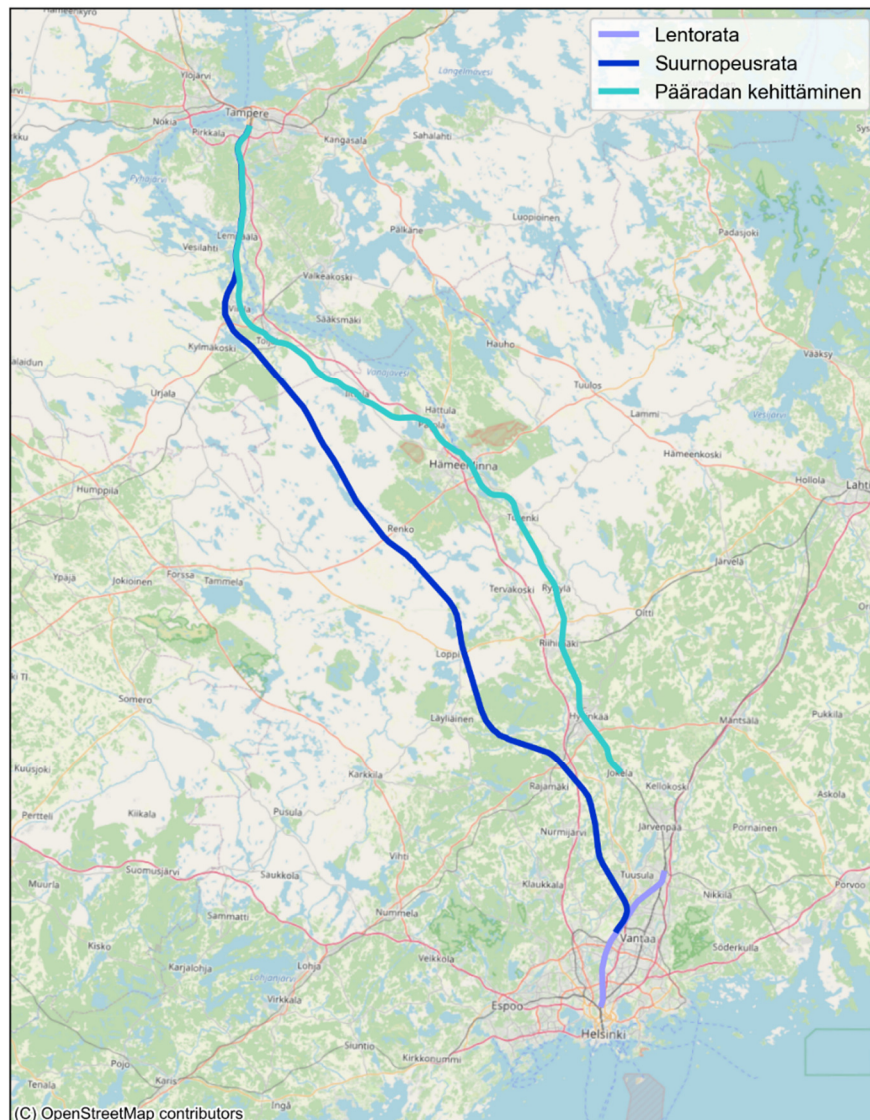
Selvityksen tavoitteena on vertailla pääkaupunkiseudun ja Tampereen yhdistävän raideyhteyden kehittämisehdotusten ilmastopäästöjä. Ilmastopäästöjä arvioidaan hiilidioksidiekvivalentteina kilogrammoina (kg CO_{2e}), joka kuvaa päästöjen vaikutusta verrattuna kilogrammaan hiilidioksidia. Ilmastopäästöjä selvitetään kehittämisehdotusten 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 kehittämisehdotusten päästötasosta vuonna 2035.

Selvityksessä koottiin myös listaus selvityksen aikana tunnistetuista päästövähennysohjeista.

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 kehittämisehdotehdote sisältää sekä lisäraiteiden rakentamisen että radan oikaisuja. Molempien linjausvaihtoehtojen ilmastopäästöarviointiin 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 kehittämisvaihtoehdon 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 Lentoradan rakentamisesta aiheutuvista ilmastopäästöistä perustuu:

- Lentoradan vaikutusten arviointiin (Uudenmaan liitto 2018)

Päästöt arvioitiin olettamalla lentoradan koostuvan 28 kilometristä yksiraiteista kaksoistunnelia sekä kahdesta kilometristä kaukalarakennetta. 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).

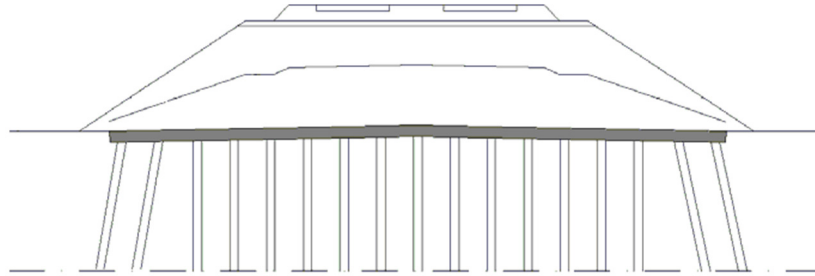
Rakentamisesta aiheutuvien päästöjen arviointi rajattiin rakentamisen aikana syntyviin päästöihin. Sustainability of construction works -sarjan standardin EN 15978 mukaisesti laskenta rajattiin elinkaaren vaiheeseen A (rakentaminen), joka sisältää osavaiheet tuotteille (A1-A3 Product stage) ja rakentamiselle (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 työkoneiden 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 kuljetusetäisyyksinä käytettiin kustannusarvioissa kutakin hanketta, tai hankeosaa, varten arvioituja etäisyyksiä.

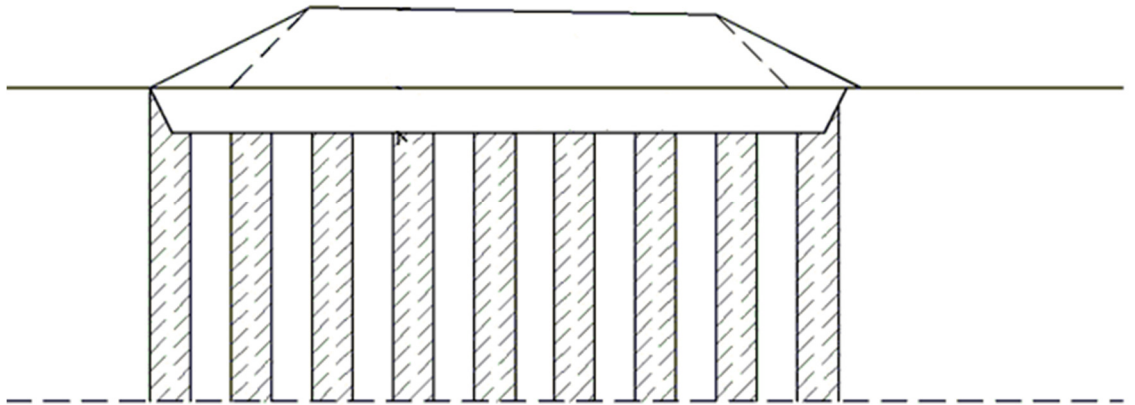
Perustusrakenteet päästölähdeluokka sisältää pehmeikölle rakennettaessa tarvittavien pohjanvahvistus- ja pohjarakentamismenetelmien käytön. Selvityksessä vertailtujen hankevaihtoehtojen kohdalla päästölähteinä merkittävimmät menetelmät olivat:

- 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 lisäraidevaihtoehtoon Jokela – Riihimäki välillä, paalulaattarakenteen päästöt laskettiin Fore ROLA työkalun avulla hankevälien suunnitelmien ratkaisujen mukaisesti.

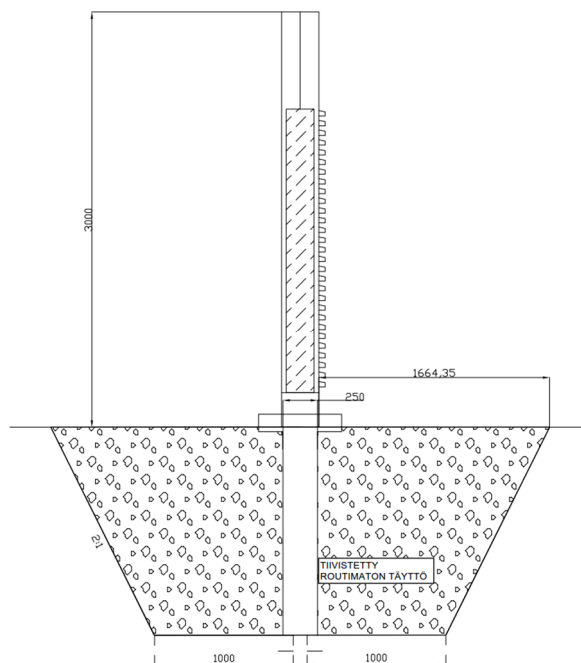
- Stabilointi arvioitiin toteutettavaksi pilaristabiloinnilla. Pilaripituudeksi arvioitiin 12 m, pilarileveydeksi 700 mm, pilariväliksi 1300 mm, ja perusskenaarissa 30/70 kalkkisementti-sideaineen määräksi 120 kg/m^3 . Sideaineen käytön päästöiksi oletettiin $809 \text{ kg CO}_2\text{e/t}$. Sideainevalinta 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.

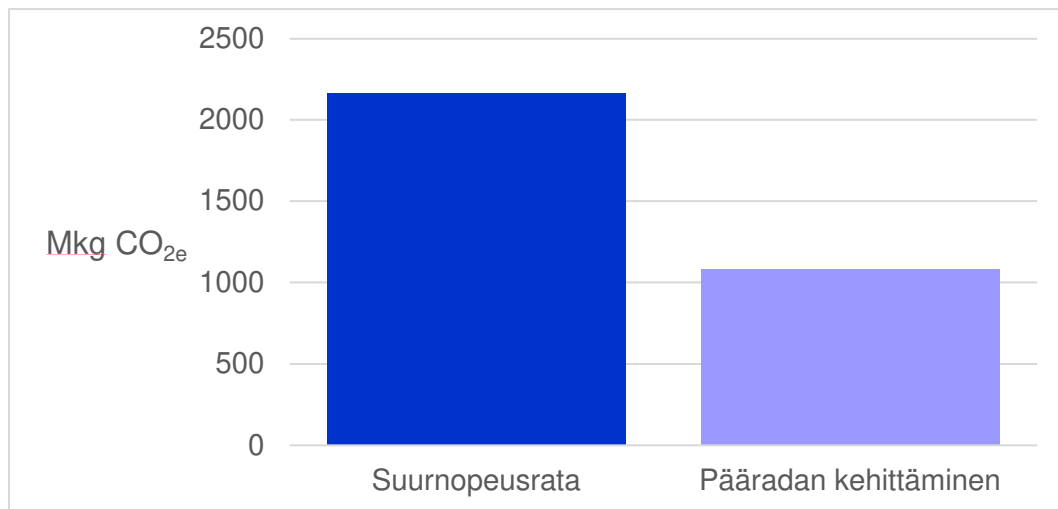
Suurnopeusradan tapauksessa maankäytön muutosta arvioitiin hehtaarikohtaisesti 75 m leveällä maastokäytävällä, sisältäen raiteet sekä suoja-alueen. Lisäraiteiden rakentamisen tapauksessa maankäytön muutosta arvioitiin samoin, mutta 55 m leveällä maastokäytävällä. Nykyisen pääradan ollessa jatkuvasti 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.

3 Rakentamisen päästöt vuoden 2022 päästötasolla

3.1 Päästölaskennan tulokset

Suurnopeusradan rakentamisen aikaiset päästöt ovat yhteensä noin **2167 Mkg CO_{2e}** (miljoonaa kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia). Pääradan parantamisvaihtoehdon rakentamisen aikaiset päästöt ovat yhteensä noin **1081 Mkg CO_{2e}**. (kuva 5).



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

Linjausvaihtoehtojen ilmastopäästöjen erittely hankeosien kesken on esitelty taulukossa 1.

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

Mkg CO _{2e}	Suurnopeusrata	Pääradan kehittäminen
Lentorata	438	438
Suurnopeusrata	1729	–
Jokela – Riihimäki	–	128
Riihimäki – Tampere	–	515
Yhteensä	2167	1081

3.2 Rakentamistöistä aiheutuvat päästöt

Pääradan kehittämissvaihtoehdossa 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 kehittämissvaihtoehdon 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 päästöintensiivisempi 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 verhousratkaisu ja materiaalivalinnat vaikuttavat merkittävästi tunnelien päästöihin. Silloissa ja etenkin tunneleissa tarkentuvat rakenneratkaisut saattavat nostaa tai laskea ilmastopäästöjä huomattavasti.

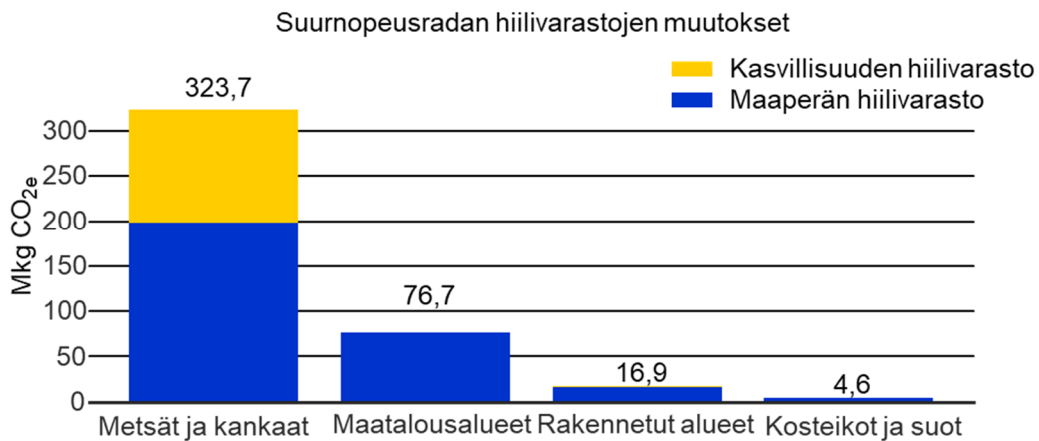
Selvityksen luvussa 5 on koottu listaus materiaalivalinnoilla ja suunnitteluratkaisulla saavutettavista päästövähennyskeinoista.

3.3 Maankäytön muutoksesta aiheutuvat päästöt

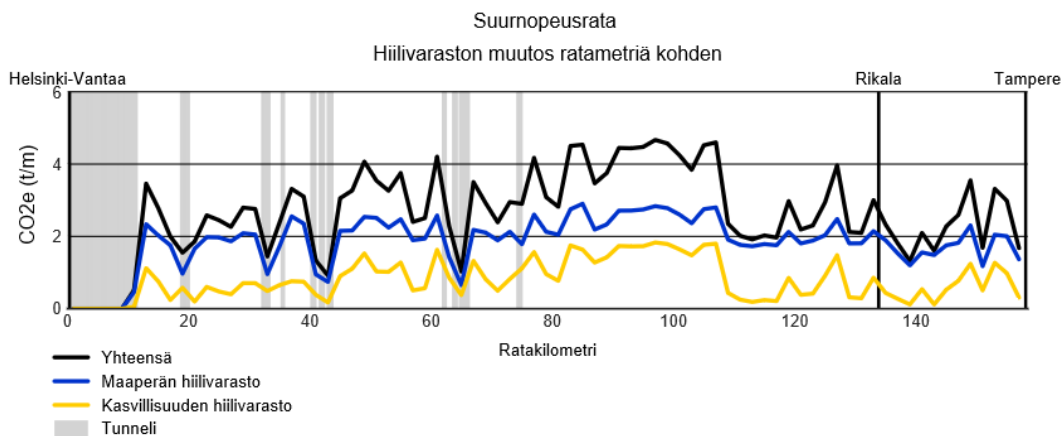
Radan linjausvaihtoehtojen vaikutuksia hiilivarastoihin arvioitiin määrittämällä hankealueelle sijoittuvat hiilivarastot nykytilassa ja arvioimalla eri ratavaihtoehtojen aiheuttamia muutoksia niihin. Laskenta huomioi sekä maaperään että kasvillisuuteen sitoutuneet hiilivarastot eri maankäyttöluokissa 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 6 osoittaa hiilivaraston muutokset maankäyttöluokan mukaan ja kuva 7 ratakilometriä kohden.



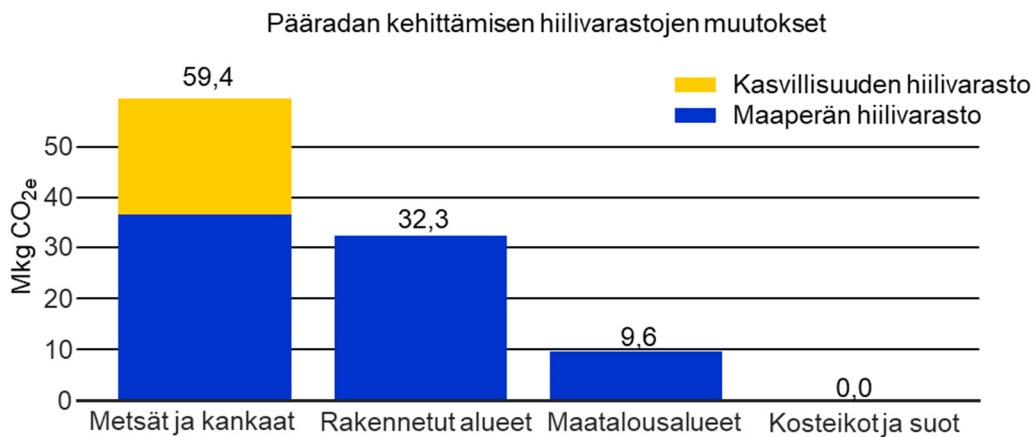
Kuva 6 Hiilivaraston muutos eri maankäyttöluokissa suurnopeusradan rakentamisen seurauksena.



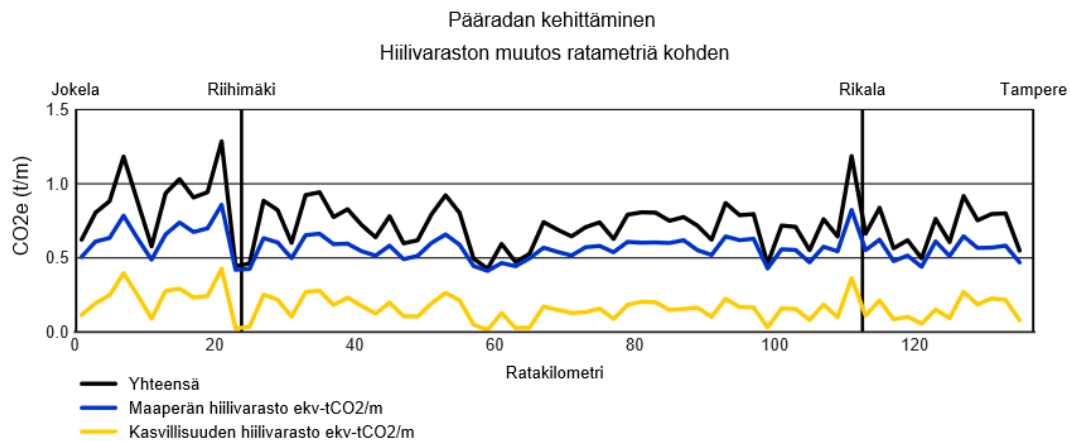
Kuva 7 Hiilivaraston muutos ratakilometriä kohden suurnopeusradan rakentamisen seurauksena.

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} suurin hiilivarasto, josta 23 % kasvillisuudesta ja 77 % maaperästä. Hiilivaraston poistumasta 59 % (59 Mkg CO_{2e}) on peräisin metsämaalta, 32 % rakennetulta alueelta ja 10 % maatalousalueilta. Kuva 8 osoittaa hiilivaraston muutokset maankäyttöluokan mukaan ja kuva 9 ratakilometriä kohden.



Kuva 8 Hiilivaraston muutos eri maankäyttöluokissa pääradan kehittämisen seurauksena.



Kuva 9 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.

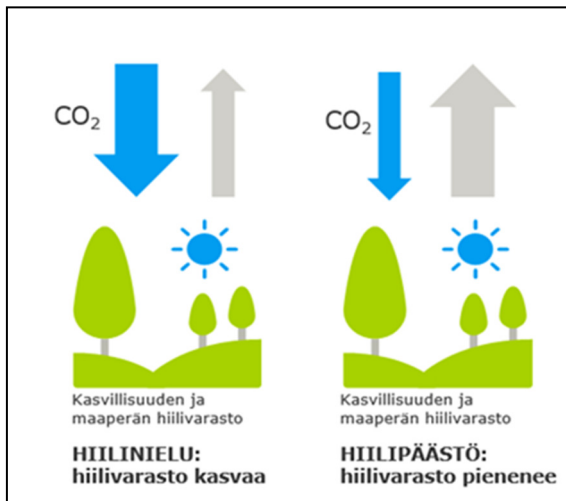
Taulukko 2 Maankäytön muutoksen pinta-alojen ja päästöjen vertailu.

	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 tulkinnassa on myös huomioitava, että metsäkato ja hiilivaraston muutos eivät tapahdu kerralla, vaan jaksottuvat pidemmälle aikajaksolle hankkeen toteuttamisaikataulun mukaisesti.

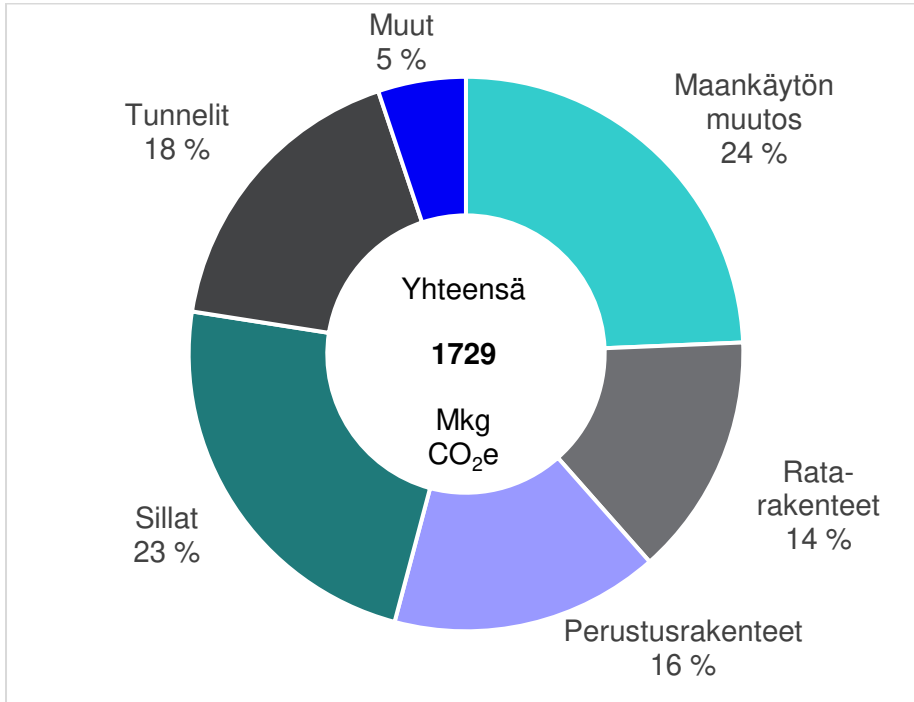
Saadut tulokset kuvaavat hiilivarastojen muutosta lähtötilanteesta pysyviin uuden maankäyttömuodon hiilivarastoihin. Hiilinielun muutosta voitaisiin lisäksi arvioida nojaten tutkimustietoon metsien hiilinielun suuruudesta Etelä Suomessa sekä avoimeen metsävaratietoon suunnittelualueen metsien ikärakenteesta, 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 vuositasolla noin 4500 t ja pääradan kehityksen tapauksessa noin 890 t.



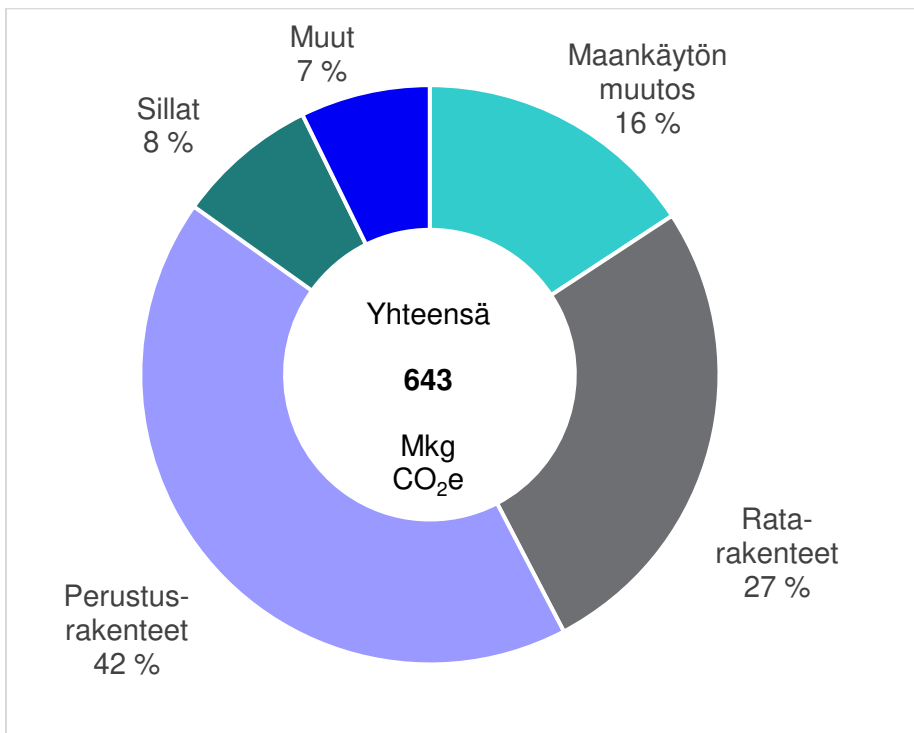
Kuva 10 Termien havainnollistus. Hiilinielu tarkoittaa metsiin sitoutuneen hiilivaraston muutosta, jossa hiilivarasto kasvaa. Hiilivuo tarkoittaa kasvillisuuden ja maaperän ilmakehästä sitoman hiilidioksidin määrää.

3.4 Päästöjen jakautuminen

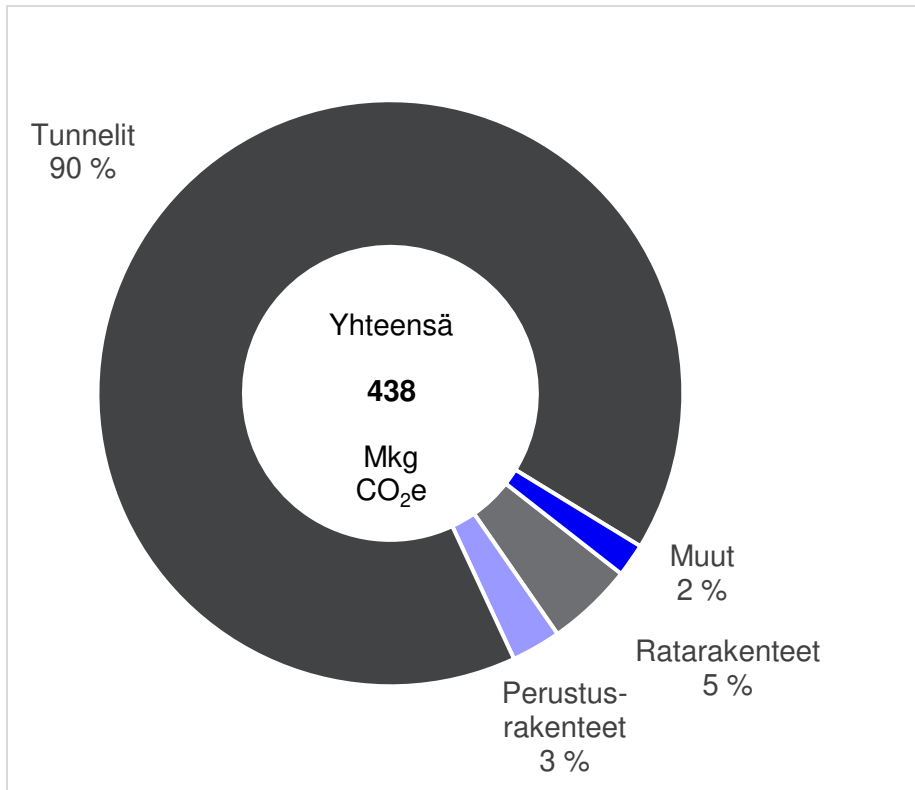
Suurnopeusradan, pääradan kehittämisen sekä lentoradan rakentamisen aikaisien päästöjen jakautuminen päästölähtöluokkien kesken on havainnollistettu kuvissa 11, 12 ja 13 sekä taulukossa 3.



Kuva 11 Suurnopeusrata. Päästöjen jakautuminen.



Kuva 12 Pääradan kehittäminen. Päästöjen jakautuminen.



Kuva 13 Lentonraide. Päästöjen jakautuminen.

Taulukko 3 Rakentamisen ilmastopäästöt (miljoonaa kg CO₂e).

Mkg CO ₂ -e	Suurnopeusrata	Pääradan kehittäminen	Lentonraide
Hiilivaraston muutos	422	102	-
Radan rakenne	245	172	21
Perustusrakenteet	272	275	12
Sähkörata	37	11	8
Meluntorjunta	39	29	-
Sillat	404	51	-
Tunnelit	301	-	398
Huolto- ja pelastustiet	13	7	-
Yhteensä	1730	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.

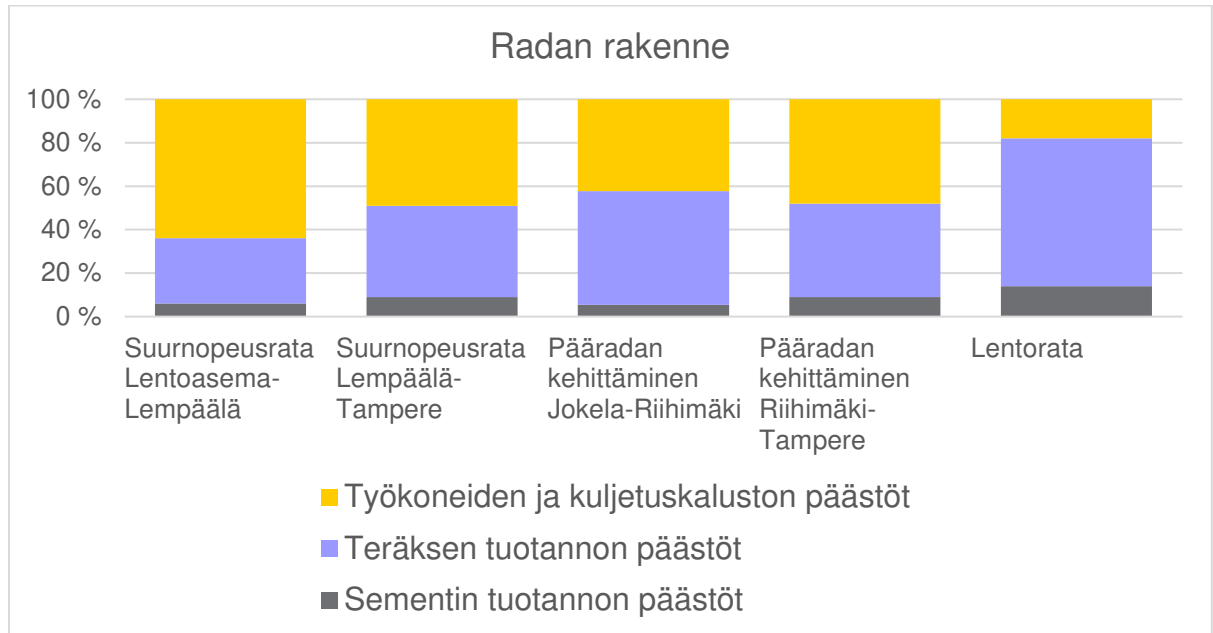
4.1.1 Metodien esittely

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, perusrakenteet, 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 14).



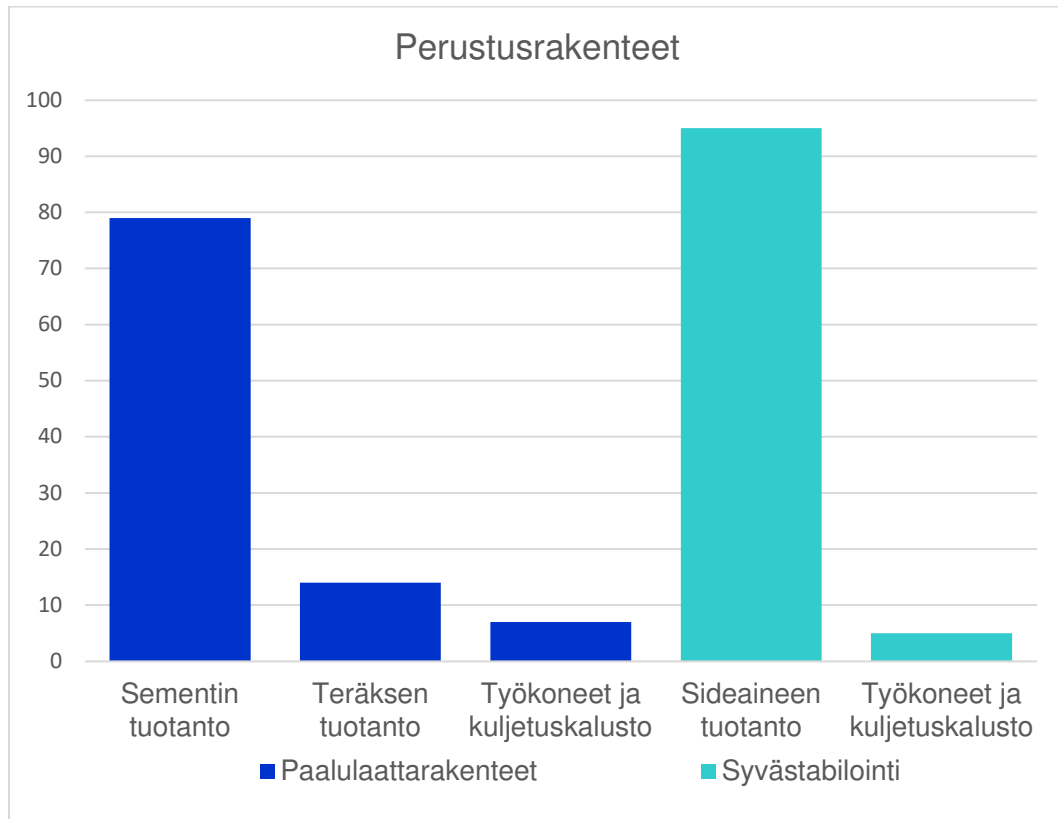
Kuva 14 Radan rakenteen päästöjen jakautuminen hankeosakohtaisesti.

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.

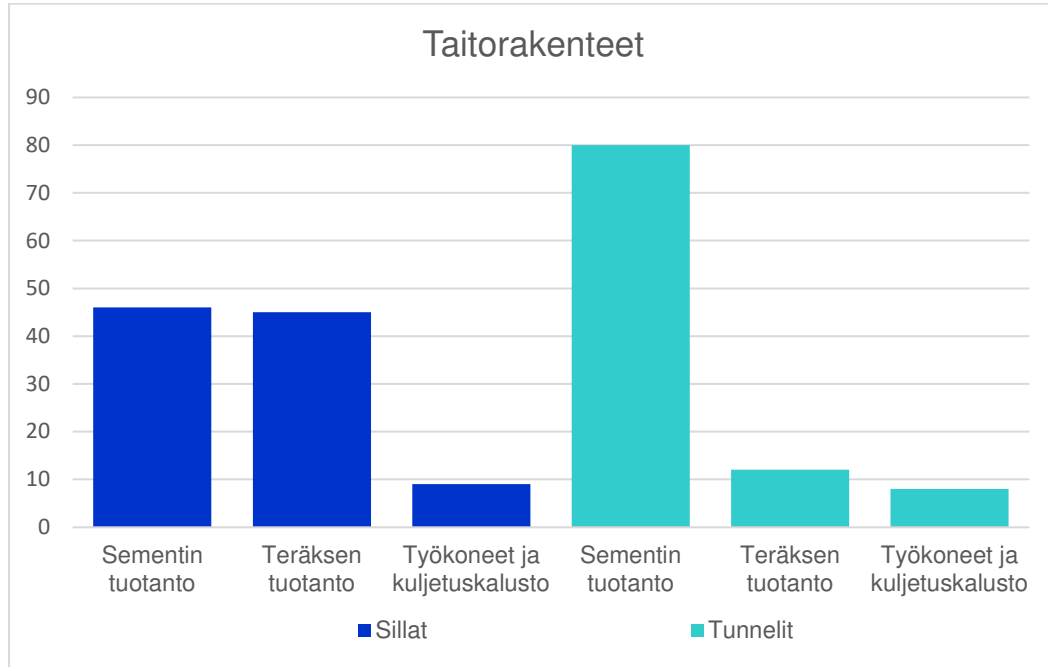
Perustusrakenteiden kohdalla arvioitiin paalulaattarakenteiden rakentamisen päästöjen jakauma sekä syvästabiloinnin päästöjakauma (kuva 15).



Kuva 15 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 16). Teräksen käytön päästöihin vaikuttavat silloissa käytettävät suuret määrät päästöintensiivistä jänneerästä sekä siltojen perustuksissa käytettävät teräksiset porapaalut.



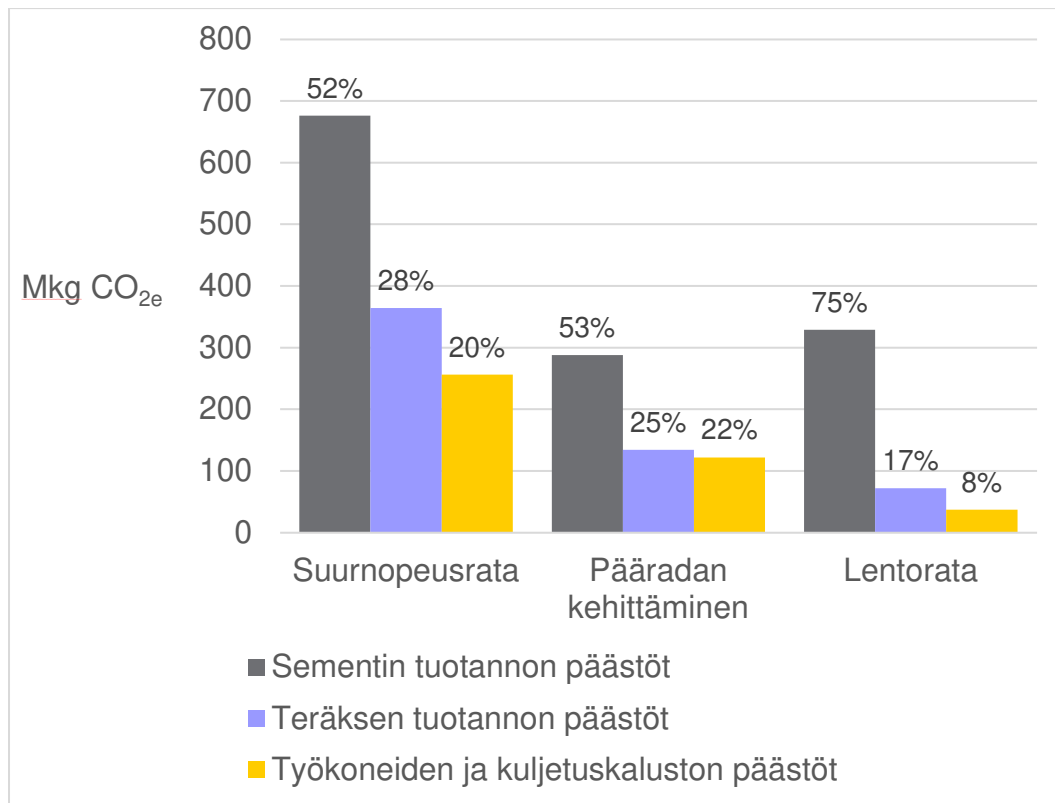
Kuva 16 Siltojen ja tunnelien päästöjen jakautuminen.

Tunnelien rakentamisen päästöihin (kuva 16) 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 teräsentuotannon päästökehitystä.

Arvio sementin tuotannon päästöjen, teräksen tuotannon päästöjen sekä työkoneiden ja kuljetuskaluston päästöjen kokonaismäärästä hankevaihtoehdoissa esitellään kuvassa 17. Lentoradan päästöt esitetään kuvassa eriteltyinä.



Kuva 17 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 4.

Taulukko 4 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.

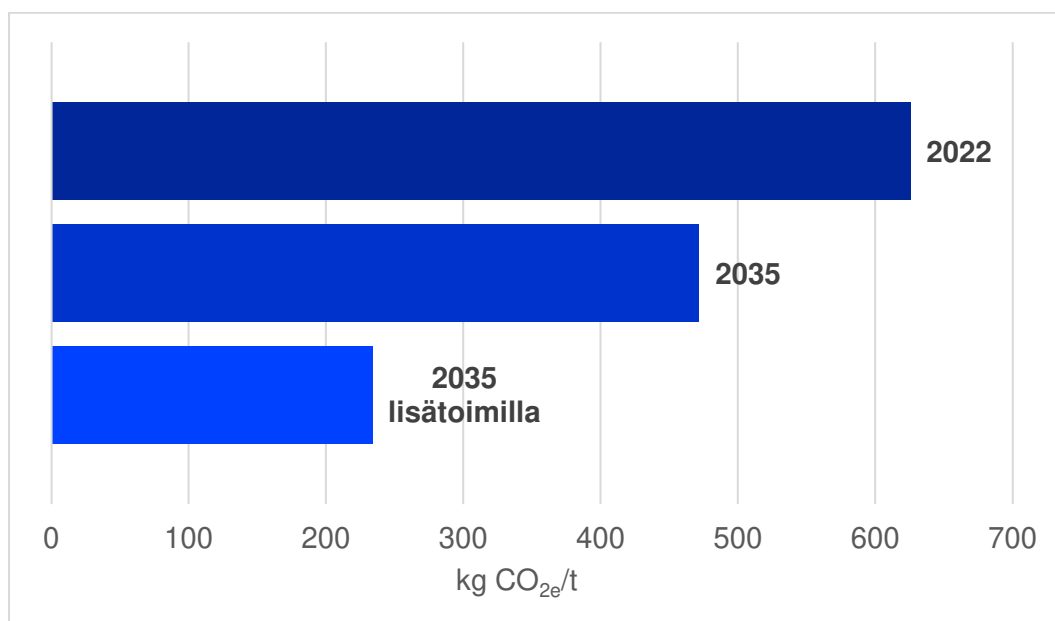
Päästökertoimeltaan korkeampi arvio kuvaa päästökaupan säädösten täyttämiseksi vaadittavien vähennysten toteutumista (Raivio ym. 2020). Suomen sementintuotannon päästökerroin on tällä hetkellä kansainvälisesti verrattuna varsin matala. Päästökaupan ehtojen täyttäminen tulee siksi vaatimaan mittavia toimia. 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 välittömillä 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 18).



Kuva 18 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 5.

Taulukko 5 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.

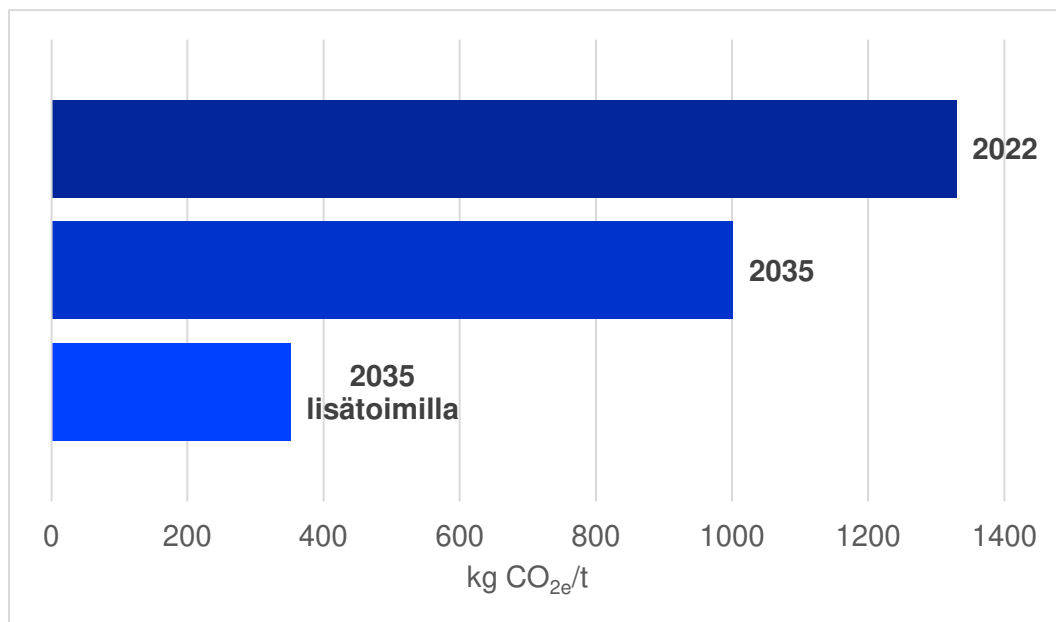
Teräksen tuotanto on Suomessa kansainvälisesti katsottuna verrattain vähähiilistä. Terästuotteiden kauppa on kuitenkin kansainvälistä verrattuna sementin kauppaan, jossa suuri osa Suomessa käytetystä sementistä valmistetaan kotimaassa. Sekä matalammassa että korkeammassa arvioissa, sekä niiden toteutumisen 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 malmista 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 skenaarioajankohdana (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 19).



Kuva 19 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.

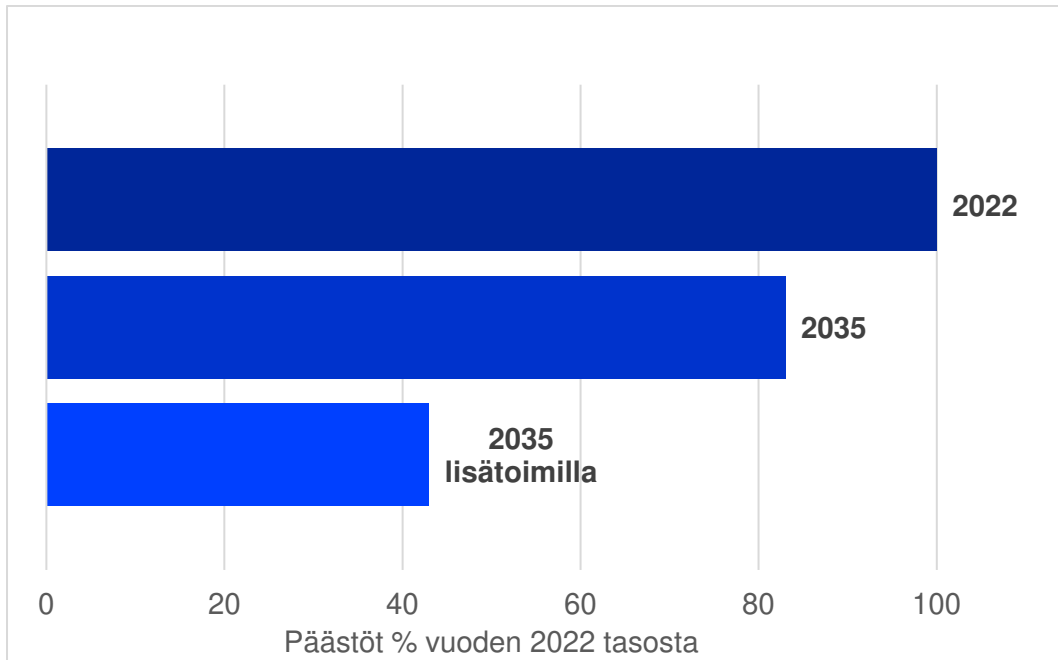
4.1.5 Työkoneiden ja kuljetuskaluston päästökehitys

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-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-skenaarion” (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 akkutekniikassa. Karlssonin ym. esittelemät mahdolliset toimet kuvaavat kuitenkin mahdollisia matalampien päästöjen skenaarion mahdollistavia lisätoimia.

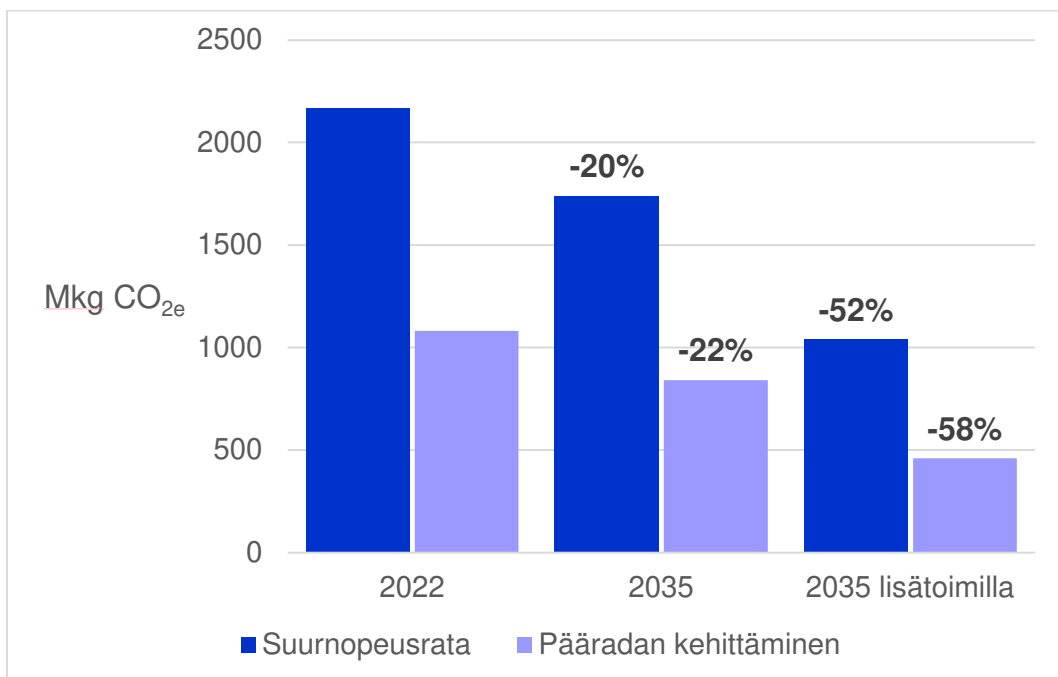
Tutkimusten perusteella työkoneiden ja kuljetuskaluston päästövähennyspotentiaaliksi vuoteen 2035 arvioitiin **17–57 %** (kuva 20).



Kuva 20 Työkoneiden ja kuljetuskaluston päästökehitys.

4.2 Rakentamisen aikaiset päästöt 2035 skenaariossa

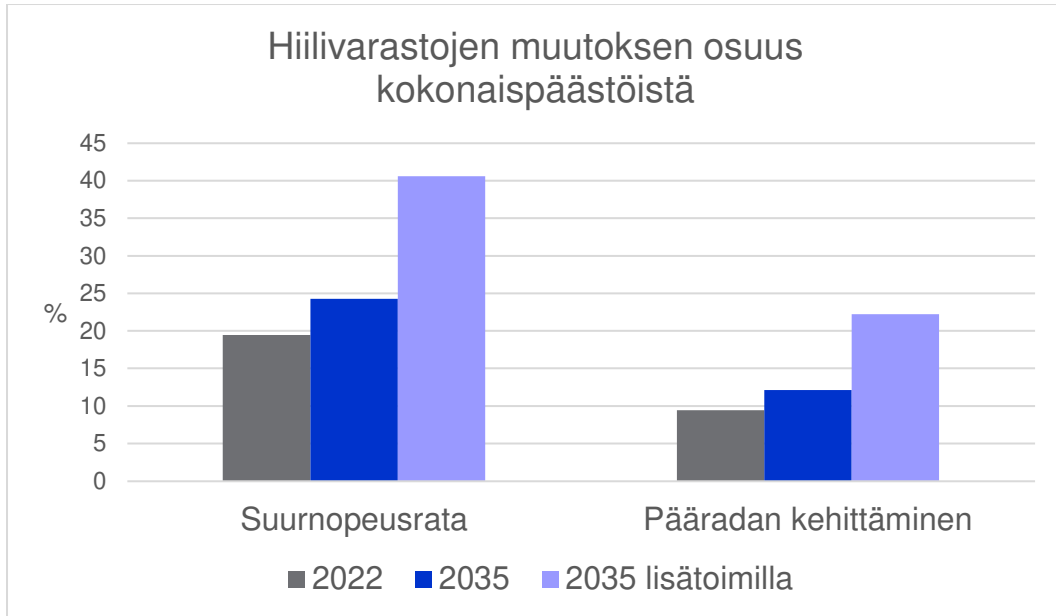
Skenaariotarkastelun perusteella suurnopeusradan kokonaispäästöt vuonna 2035 (kuva 21) sijoittuvat noin **1050 Mkg CO_{2e}** ja **1750 Mkg CO_{2e}** välille. Pääradan kehittämisen kokonaispäästöt sijoittuvat skenaariotarkastelun perusteella vuonna 2035 noin **450 Mkg CO_{2e}** ja **850 Mkg CO_{2e}** välille.



Kuva 21 Hankevaihtoehtojen ilmastovaikutukset 2035 skenaarioissa.

4.2.1 Skenaarion vaikutus päästöjakaumaan

Materiaalien sekä työkoneiden ja kuljetusten päästövähennykset vaikuttavat kaikkiin selvityksen päästölähdeluokkiin maankäytön muutoksesta aiheutuvia päästöjä lukuun ottamatta. Maankäytön muutoksesta aiheutuvat ilmastopäästöt korostuvat siksi vuoden 2035 skenaarioissa (kuva 22).



Kuva 22 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 materiaalin 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 hankevaihtoehtot 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 ilmastoviisaampiin 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 suurnopeusrata vaihtoehdon rakentamisen aikaiset ilmastopäästöt ovat vuoden 2022 tasolla kaksinkertaiset pääradan kehittämiseen verrattuna. Suurnopeusradan rakentamisen päästöt ovat selvityksen arvion mukaan 2167 miljoonaa kg CO_{2e} ja pääradan kehittämisen 1081 miljoonaa kg CO_{2e}. Ero hankevaihtoehtojen ilmastopäästöjen välillä on noin 1089 miljoonaa kg CO_{2e}. Tämä vastaa noin 110_000 suomalaisen vuosittaista hiilijalanjälkeä (SYKE 2022). Mikäli näitä hankevaihtoehtoja tarkastellaan ilman Lentoradan rakentamisen päästöjä, suurnopeusradan rakentamisen päästöt ovat liki 2,7 kertaiset.

Selvityksen suurimmat epävarmuudet ovat siltojen ja tunnelien päästöarvioissa. Nämä vastaavat vuoden 2022 arviossa yhteensä 41 % suurnopeusradan ilmastopäästöistä, 8 % pääradan kehittämissuunnitelman ja 90 % Lentoradan 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 erikoirrat kaisut 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 2022 ilmastopäästöarviossa maankäytön muutoksesta aiheutuvat ilmastopäästöt muodostavat 19,5 % suurnopeusradan päästöistä ja 9,5 % pääradan kehittämisen päästöistä. Vuoden 2035 skenaariossa maankäytön muutoksen merkitys korostuu. Maankäytön muutoksen osuus on vuoden 2035 skenaariossa 24–41,5 % suurnopeusradan ja 12–22 % pääradan kehittämisen ilmastopäästöistä.

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](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>

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://sgy.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). Päästöläskennan kehityshanke. Rapal Oy, 29.3.2019.

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

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>

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/Julkaisu/Liikennevirasto/lo_2018-17_syvastabiloinnin_suunnittelu_web.pdf

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>

