

MARKKU HAGSTRÖM  
JULIA ILLMAN  
AKI PESOLA  
JUHA VANHANEN  
YLVA GILBERT

## Tien- ja radanpidon hiilijalanjälki





Markku Hagström, Julia Illman, Aki Pesola,  
Juha Vanhanen, Ylva Gilbert

## Tien- ja radanpidon hiilijalanjälki

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 38/2011

Liikennevirasto  
Helsinki 2011

*Kannen kuva: Markku Nummelin*

ISSN-L 1798-6656  
ISSN 1798-6656  
ISBN 978-952-255-700-1

Verkojulkaisu pdf ([www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi))

ISSN-L 1798-6656  
ISSN 1798-6664  
ISBN 978-952-255-701-8

Kopijyvä Oy  
Kuopio 2011

Liikennevirasto  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puhelin 020 637 373

**Markku Hagström, Julia Iilman, Aki Pesola, Juha Vanhanen, Ylva Gilbert: Tien- ja radanpidon hiilijalanjälki.** Liikennevirasto, väylätekniikkaosasto. Helsinki 2011. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 38/2011. 90 sivua ja 2 liitettä. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6656, ISBN 978-952-255-700-1, ISSN 1798-6664 (pdf), ISBN 978-952-255-701-8 (pdf).

**Avainsanat:** elinkaaripäästöt, hiilidioksidipäästöt, hiilijalanjälki, hiilijalanjälkilaskuri, ilmastonmuutos, infrarakentaminen, radanpito, päästökerroin, päästöt, tienpito, ympäristö

## Tiivistelmä

Tässä työssä laskettiin tien- ja radanpidon hiilijalanjälki neljälle rataosuudelle ja kolmelle ratapihalle sekä neljälle tieosuudelle 100 vuoden tarkastelujaksolla. Näiden case-laskelmien ja tilastotietojen pohjalta luokiteltiin Suomen maantiet ja rautatiet sekä arvioitiin maantie- ja rataverkon hiilijalanjäljet. Lisäksi luotiin case-laskelmien pohjalta laskentatyökalut, joiden avulla on mahdollista arvioida hiilijalanjäljen kannalta keskeisten suunnitteluparametrien muutosten vaikutuksia eri tyyppisten tie- ja rataosuuksien hiilijalanjälkiin.

Tien- ja radanpidon energia- ja materiaali-intensiiviset prosessit jaoteltiin elinkaaren perusteella kolmeen osaan: rakentamiseen, käyttöön ja kunnossapitoon. Käytöstä poisto rajattiin laskelmien ulkopuolelle, samoin liikennöinti ja kaikki suoraan siihen liittyvä infrastruktuuri, kuten asemarakennukset, tavaraterminaalit ja parkkipaikat. Työssä ei tarkasteltu katuja eikä yksityisiä ratoja.

Teiden ja ratojen elinkaaripäästöt määriteltiin tässä työssä siten, että 1) nykyinen tie- ja rataverkko oletettiin rakennetun aivan äskettäin sellaiseksi kuin se nyt on, ja 2) käytön ja kunnossapidon päästöjä arvioitiin tästä hetkestä 100 vuotta eteenpäin perustuen nykyisiin kunnossapito-ohjelmiin. Lisäksi oletettiin teiden ja ratojen käytön jatkuvan edelleen 100 vuoden jälkeenkin, eli niiden elinkaari ei lopu silloin.

Case-laskelmiin valittujen tie- ja -rataosuuksien elinkaaripäästöissä korostuivat rakentamisen materiaali-intensiivisyys (erityisesti betoni ja teräs), maa- ja kallioleikkausmassojen ja rakennusmateriaalien kuljetusetäisyydet, teiden korjaukset ja parannukset sekä korvausinvestoinnit radanpidossa. Käytönaikainen energiankulutus oli myös merkittävää, esimerkiksi radanpidossa vaihteenlämmityksessä ja tienpidossa valaistuksessa.

Suomen koko maantieverkon (noin 78 000 km) hiilijalanjäljeksi 100 vuoden tarkastelujaksolla saatiin noin 511 000 tCO<sub>2</sub>/v ja rataverkon (5919 km pääraiteita ja 2291 km sivuraiteita) noin 142 000 tCO<sub>2</sub>/v. Tie- ja ratatyyppistä riippuen ominaispäästökertoimiksi saatiin 4–46 tCO<sub>2</sub>/km/v maanteille ja 8–43 tCO<sub>2</sub>/km/v rautateiden pääraiteille. Ratapihojen ominaispäästökertoimiksi saatiin 19–30 tCO<sub>2</sub>/km/v.

**Markku Hagström, Julia Illman, Aki Pesola, Juha Vanhanen, Ylva Gilbert: Väg- och järnvägsnätverkens kolfotspår.** Trafikverket, infrastrukturteknik. Helsingfors 2011. Trafikverkets undersökningar och utredningar 38/2011. 90 sidor och 2 bilagor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6656, ISBN 978-952-255-700-1, ISSN 1798-6664 (pdf), ISBN 978-952-255-701-8 (pdf).

**Nyckelord:** byggande av infrastruktur, järnväghållning, klimatförändring, koldioxidutsläpp, kolfotspår, kolfotspårskalkyl, livscykel utsläpp, utsläpp, miljö, utsläpps coefficient, väghållning

## Sammanfattning

I föreliggande arbete beräknades kolfotspåret för fyra järnvägssträckor, tre bangårdar samt fyra vägsträckor för en 100 års tidsperiod. Utgående från dessa case-kalkyler och befintlig statistik klassificerades Finlands landsvägar och järnvägar och väg- och tåg nätverkens kolfotspår beräknades. Ytterligare konstruerades utgående från case-kalkylerna verktyg för beräkningar, som möjliggör bedömningen av inverkan av centrala planeringsparametrar på kolfotspåret av olika typer av väg- och järnvägssträckor.

Baserat på livscykeln av väg- och järnvägsunderhåll indelades de energi- och materialintensiva processerna i tre delar: byggande, användning och underhåll. Avläggningen av dessa lämnades utanför beräkningarna. Trafikeringen och all tillhörande infrastruktur, som t.ex. stationsbyggnader, godsterminaler och parkeringsplatser beaktades inte i beräkningen. Inte heller gator eller privata järnvägsspår togs med i beräkningarna.

Vägars och järnvägsspårens livscykelutsläpp definierades i detta arbete så att 1) den existerande väg- och tåg nätverket antogs att ha blivit nyligen byggt till sin nuvarande form, 2) användningens och underhållets utsläpp beräknades från denna tidpunkt 100 år framåt, enligt de nuvarande underhållsprogrammen. Ytterligare antogs det att väg- och tåg nätverkens användning och underhåll fortsätter också efter dessa 100 år, det vill säga att livscykeln inte tar slut där.

I case-beräkningarna av de valda väg- och järnvägssträckorna uppstod de största effekterna av byggandets material intensitet (speciellt betong och stål), jord- och stenhuggningsmassornas och byggnadsmaterialets transportavstånd samt reparationer, förbättringar och ersättningsinvesteringar i samband med underhållet. Även användandets energiförbrukning var märkbart, t.ex. uppvärmningen av växlar för tåg nätverken och belysningen för väg nätverket.

För hela landets landsvägsnätverk (ca 78 000 km) beräknades kolfotspåret för en 100 års period vara ca 511 000 tCO<sub>2</sub>/år och för tåg nätverkets (5919 km huvudspår och 2291 km sidospår) ca 142 000 tCO<sub>2</sub>/år. Beroende på väg- och järnvägstypen anhölls en typ specifik utsläppskoefficient på 4-46 tCO<sub>2</sub>/km/år för landsvägar och 8-43 tCO<sub>2</sub>/km/år för järnvägarnas huvudspår. Den typ specifika utsläppskoefficienten för bangårdar är 19-30 tCO<sub>2</sub>/km/år.

**Markku Hagström, Julia Illman, Aki Pesola, Juha Vanhanen, Ylva Gilbert: Carbon footprint of construction, operation and maintenance of roads and railways.** Finnish Transport Agency, Infrastructure Technology. Helsinki 2011. Research reports of the Finnish Transport Agency 38/2011. 90 pages and 2 appendices. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6656, ISBN 978-952-255-700-1, ISSN 1798-6664 (pdf), ISBN 978-952-255-701-8 (pdf).

**Keywords:** carbon dioxide emissions, carbon footprint, carbon footprint calculator, climate change, construction of infrastructure, emission factor, emissions, environment, life cycle emissions, rail maintenance, road maintenance

## Summary

In this work, the carbon footprints of construction, operation and maintenance of four railway sections, three railway yards and four road sections were calculated for a period of 100 years. Based on these case studies and statistical information, the Finnish roads and railways were categorized and the carbon footprints of the road and railway infrastructure were estimated. In addition, carbon footprint calculation tools were developed, using the case studies as a basis. These tools can be used to assess the effect on the carbon footprint that several key planning stage parameters will have in conjunction with road and railway sections of different categories.

The energy and material intensive processes of road and railway infrastructure operations were divided into three parts based on a life-cycle approach: construction, operation and maintenance. End of life processes were excluded from the calculations, as were traffic and all infrastructure directly related to the traffic, such as station buildings, freight terminals and car parks. Streets and private railroad tracks were also excluded.

In this work, the life cycle emissions of roads and railways were defined as follows: 1) the present road and railway infrastructure were assumed to have been recently constructed to the current state, and 2) the emissions of operation and maintenance were estimated for a period of 100 years from the present onwards, according to the current maintenance programs. In addition, it was assumed that the use phase of the roads and railways will continue after those 100 years, i.e. it is not the actual end of life.

Material intensiveness of construction (especially concrete and steel), transport distances of excavated soil and rock and construction materials, as well as repairs, improvements and replacement investments in the maintenance operations had the biggest impacts on the overall life cycle emissions of the studied road and railway cases. Use phase energy consumption was also significant, for example through rail switch heating and roadside lighting.

The carbon footprint of the public road network in Finland (about 78 000 km) for a 100 year period was estimated to be about 511 000 tCO<sub>2</sub>/year, and that of railways (5919 km of main tracks and 2291 km of side tracks) about 142 000 tCO<sub>2</sub>/year. Depending on the road and railway category, specific emission factors for roads were 4-46 tCO<sub>2</sub>/km/year, and 8-43 tCO<sub>2</sub>/km/year for railway main tracks. The specific emission factors for railway yards were 19-30 tCO<sub>2</sub>/km/year.

## Esipuhe

Liikenteen ympäristöjalanjäljen pienentäminen kuuluu Liikenneviraston keskeisiin strategisiin tavoitteisiin. Radan- ja tienpidon hiilijalanjälkien laskenta edistää osaltaan tämän tavoitteen toteutumista. Hiilijalanjälkien avulla voidaan ohjata sekä kuluttajien että Liikenneviraston toimintaa. Hiilijalanjälkilaskennan avulla voidaan tunnistaa suurimmat ilmastovaikutuksia aiheuttavat toiminnot ja vertailla tien- ja radanpidon ilmastovaikutuksia. Hiilijalanjälkien avulla tullaan jatkossa seuraamaan päästömuutoksia eli sitä, miten Liikenneviraston suorittamat päästövähennystoimenpiteet vaikuttavat kyseisten sektorien hiilijalanjälkiin.

Tässä työssä laskettiin tien- ja radanpidon hiilijalanjäljet case-laskelmien avulla. Hiilijalanjäljet laskettiin eri tie- ja ratatyyppeihin jaoteltuina, ja lisäksi tulokset yleistettiin valtion maantie- ja rataverkoille. Liikenneviraston tavoitteena on laskea seuraavassa vaiheessa merenkulun hiilijalanjälki sekä maa- ja vesiliikenteen päästöt.

Työtä on Liikennevirastossa ohjannut ympäristö- ja turvallisuusyksikön päällikkö Arto Hovin vetämä ohjausryhmä, johon ovat kuuluneet hänen lisäkseen Anu Asikainen (VR Oy), Anders Jansson, Susanna Koivujärvi, Raija Merivirta, Olli Penttinen, Pekka Petäjaniemi, Mikko Räsänen, Vesa Stenvall (VR Oy) ja Tuula Säämänen. Tilaajan projektisihteerinä on toiminut Henna Teerihalme Sito Oy:stä. Konsulttina työssä on toiminut Gaia Consulting Oy, jossa työhön ovat osallistuneet Markku Hagström, Julia Illman, Aki Pesola, Juha Vanhanen ja Ylva Gilbert. Työhön on pyydetty ja saatu tietoja useilta eri asiantuntijoilta.

Helsingissä elokuussa 2011

Liikennevirasto  
Väylätekniikkaosasto  
Ympäristö- ja turvallisuusyksikkö



# Sisällysluettelo

1	JOHDANTO .....	9
1.1	Taustaa .....	9
1.2	Lähestymistapa .....	10
1.3	Toteutus .....	11
2	MENETELMÄT .....	13
2.1	Case-kohteiden hiilijalanjäljet .....	13
2.1.1	Tuotehiilijalanjälkistandardi PAS 2050 .....	13
2.1.2	PAS 2050:n sovellus tien- ja radanpitoon .....	14
2.1.3	Rajaukset .....	14
2.2	Maantieverkon ja rataverkon hiilijalanjälki .....	17
2.3	Päästökertoimet .....	17
3	TIENPIDON CASE-LASKELMAT .....	19
3.1	Tienpidon prosessit .....	19
3.2	Laskennan yleiset oletukset .....	21
3.3	Case 1: moottoritie Jutikkala–Kulju .....	23
3.3.1	Lähtötiedot, oletukset, rajaukset .....	23
3.3.2	Tulokset .....	24
3.4	Case 2: valtatie Hanko–Skogby .....	26
3.4.1	Lähtötiedot, oletukset, rajaukset .....	26
3.4.2	Tulokset .....	27
3.5	Case 3: seututie Lapinlahti–Rautavaara .....	29
3.5.1	Lähtötiedot, oletukset, rajaukset .....	29
3.5.2	Tulokset .....	30
3.6	Case 4: yhdystie Tammikosken paikallistie .....	32
3.6.1	Lähtötiedot, oletukset, rajaukset .....	32
3.6.2	Tulokset .....	32
3.7	Case-vertailu .....	34
3.7.1	Case-laskelmien tulosten vertailu .....	34
3.7.2	Herkkyyshanalyysi .....	35
3.7.3	Johtopäätökset .....	36
4	RADANPIDON CASE-LASKELMAT .....	37
4.1	Radanpidon prosessit .....	37
4.2	Laskennan yleiset oletukset .....	40
4.3	Case 1: Kerava–Lahti-oikorata .....	44
4.3.1	Lähtötiedot, oletukset, rajaukset .....	44
4.3.2	Tulokset .....	45
4.4	Case 2: Kouvola–Pieksämäki .....	47
4.4.1	Lähtötiedot, oletukset, rajaukset .....	47
4.4.2	Tulokset .....	48
4.5	Case 3: Savonlinna–Huutokoski .....	50
4.5.1	Lähtötiedot, oletukset, rajaukset .....	50
4.5.2	Tulokset .....	51
4.6	Case 4: Kontiomäki–Ämmänsaari .....	53
4.6.1	Lähtötiedot, oletukset, rajaukset .....	53
4.6.2	Tulokset .....	54
4.7	Case 5: Kemijärven ratapiha .....	55

4.7.1	Lähtötiedot, oletukset, rajaukset.....	55
4.7.2	Tulokset.....	56
4.8	Case 6: Toijalan ratapiha .....	57
4.8.1	Lähtötiedot, oletukset, rajaukset.....	57
4.8.2	Tulokset.....	58
4.9	Case 7: Tampereen ratapiha .....	60
4.9.1	Lähtötiedot, oletukset, rajaukset.....	60
4.9.2	Tulokset.....	61
4.10	Case-vertailu .....	62
4.10.1	Case-laskelmien tulosten vertailu.....	62
4.10.2	Herkkyysanalyysi.....	64
4.10.3	Johtopäätökset.....	65
5	SUOMEN TIE- JA RATAVERKON HIILIJALANJÄLKI.....	67
5.1	Tie- ja rataverkon luokittelu .....	67
5.2	Tieverkon yleistysmalli ja tulokset.....	68
5.3	Rataverkon yleistysmalli ja tulokset .....	71
5.4	Virhearviot.....	74
5.4.1	Tieverkko.....	74
5.4.2	Rataverkko .....	75
5.5	Tien- ja radanpidon hiilijalanjälkien vertailu .....	76
6	HIILIJALANJÄLJEN LASKENTATYÖKALUT .....	80
6.1	Työkalujen käyttötarkoitus ja oletuskäyttäjät.....	80
6.2	Työkalujen perusratkaisu.....	80
6.3	Tienpidon case-työkalu .....	81
6.4	Radanpidon case-työkalu.....	82
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	85
	LÄHTEET .....	87

## LIITTEET

Liite 1	Laskennassa käytetyt päästökertoimet
Liite 2	Radan materiaalien ja komponenttien eliniät

# 1 Johdanto

## 1.1 Taustaa

Vuonna 2009 kotimaan liikenteen päästöt olivat noin 13,2 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub> ekvivalenttia<sup>1</sup> eli noin 20 % Suomen kaikista kasvihuonekaasupäästöistä. Noin 90 % kotimaan liikenteen päästöistä syntyy tieliikenteessä. Rautatieliikenteen osuus päästöistä on noin prosenttien verran, lentoliikenteen noin 2 % ja vesiliikenteen noin 4 %. Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä vähennetään liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan ilmastopoliittisen ohjelman (ILPO) ja työ- ja elinkeinoministeriön energiatehokkuutta pohtineen toimikunnan mietinnön (vuodelta 2009) mukaisesti. ILPO-ohjelma linjaa liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi tarvittavat toimet, yksilöi vastuut sekä arvioi kustannukset, joita toimenpiteiden toteuttaminen hallinnonalalla aiheuttaa. Energiatehokkuustoimikunnan mietinnössä esitetään tarvittavat toimenpiteet, joiden avulla liikenteessä ja muilla päästökaupan ulkopuolisilla sektoreilla voidaan saavuttaa 37 terawattitunnin säästö energian loppukulutukseen vuoteen 2020 mennessä. (LVM, 2010)

Ratahallintokeskus teetti vuonna 2008 esiselvityksen ”Ilmastonmuutokseen sopeutuminen radanpidossa”, jonka pohjalta laadittiin Ratahallintokeskuksen ilmasto- ja energiastrategia. Strategia ulottuu vuoteen 2020. Strategiassa on määritelty tavoitteet ja toimenpiteet, joiden avulla ilmastonmuutosta voidaan hillitä, kasvihuonekaasupäästöjä vähentää ja energiatehokkuutta parantaa. Strategian tavoitteisiin kuuluvat muun muassa radanpidon energiankäytön alentaminen 10 %-lla vuoteen 2020 mennessä ja radanpidon pitkän aikavälin suunnittelun kehittäminen ohjeistamalla toimintaa energia- ja ilmastonäkökulmasta.

Liikenteen hiilidioksidipäästöt tunnetaan varsin hyvin, ja niiden pienentämiseksi on kehitetty ja otettu jo käyttöön joukko ohjauskeinoja. Sen sijaan tie- ja ratainfrastruktuurin rakentamisen ja kunnossapidon ilmastovaikutukset eivät ole tiedossa läheskään yhtä hyvin. Muun muassa tästä syystä Liikennevirastossa on nähty tarpeelliseksi selvittää tien- ja radanpidon hiilijalanjäljet. Tällä hankkeella on haettu vastauksia muun muassa seuraaviin kysymyksiin:

- Kuinka suuri rakentamisen ja kunnossapidon hiilijalanjälki on suhteessa liikenteen hiilijalanjälkeen?
- Mitkä ovat merkittävimmät päästölähteet?
- Miten päästöjä voidaan tehokkaimmin vähentää?

Lisäksi tarkoituksena on ollut verrata tien- ja radanpidon päästöjä keskenään.

---

<sup>1</sup> CO<sub>2</sub>-ekvivalentti tarkoittaa kasvihuonevaikutusta, jonka kasvihuonekaasu aiheuttaa hiilidioksiiniin (CO<sub>2</sub>) verrattuna 100 vuoden aikana. Kullakin kasvihuonekaasulla on oma kertoimensa (ilmastonlämmityspotentiaali, Global Warming Potential, GWP), jonka avulla sen kasvihuonekaasuvaikutus saatetaan yhteismitalliseksi hiilidioksidin kanssa.

## 1.2 Lähestymistapa

Keskeiset ratkaistavat määrittely- ja lähestymistapaongelmat olivat:

- Miten tien- ja radanpidon hiilijalanjäljet määritellään elinkaaren kannalta?
- Miten koko Suomen tie- ja rataverkon hiilijalanjälki saadaan arvioitua perustellusti mutta kohtuullisella vaivalla?

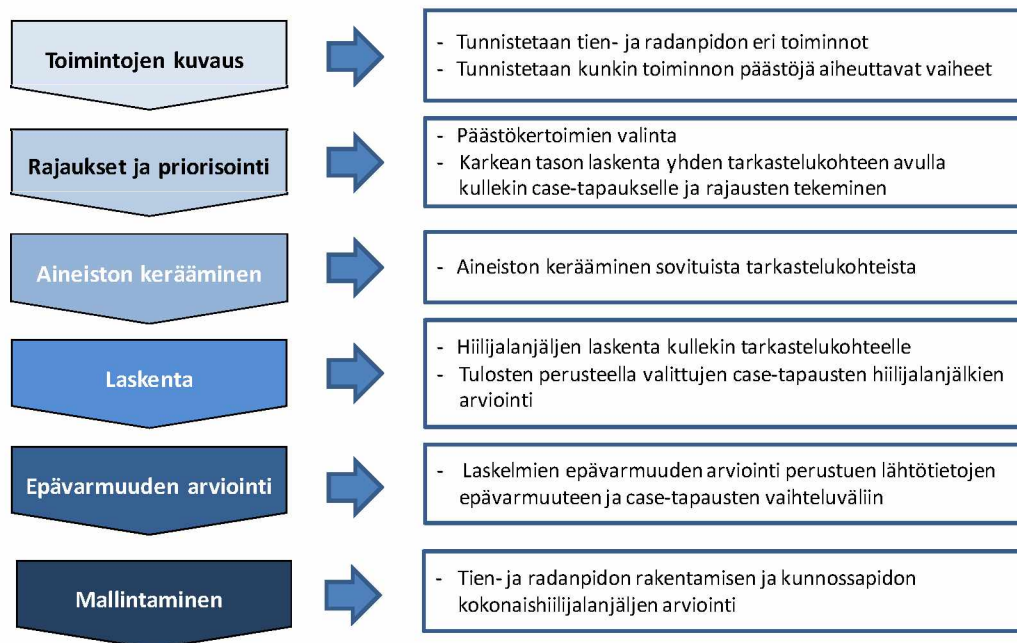
Kaikkien tuotteiden elinkaari koostuu yleisellä tasolla valmistuksesta (rakentamisesta), käytöstä, kunnossapidosta ja käytöstä poistosta tai kierrätyksestä. Tiet ja radat ovat kuitenkin hyvin pitkäikäisiä, eikä tämän tarkastelun ohjenuoraksi valitun PAS 2050<sup>2</sup>-standardin vaatima 100 vuoden aikaperspektiivi ole riittävän pitkä, jotta tie tai rata voitaisiin olettaa poistetun käytöstä 100 vuoden kuluttua rakentamisestaan. Myös elinkaaren alkupäähän liittyy ongelma, kun tarkastellaan olemassa olevan tie- ja rataverkon elinkaaripäästöjä: miten lasketaan tien tai radan rakentamisen päästöt, kun rakentaminen on tapahtunut jo kauan sitten eikä rakentamisvaiheista ja -tavasta ole tietoa?

Tässä hankkeessa tie- ja rataverkon elinkaaripäästöjen osalta oletettiin, että Suomen nykyinen tie- ja rataverkko on vastikään rakennettu sellaisiksi kuin ne tällä hetkellä ovat. Kunnossapidon päästöjä arvioitiin tästä hetkestä 100 vuotta eteenpäin. Käytöstä poistoa ei sisällytetty tarkasteluun, koska teitä ja ratoja ylläpidetään ja kunnostetaan tarpeen mukaan jopa useita satoja vuosia. Näin ollen myöskään teiden ja ratojen jäännösarvoa ei ollut tarpeen käsitellä laskelmissa.

Lähestymistapaa kokonaisuudessaan on havainnollistettu kuvassa 1.

---

<sup>2</sup> PAS 2050, Publically Available Specification 2050:2008, Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services (British Standards Institution). Lisätietoja luvussa 2.1.1.



Kuva 1. Tien- ja radanpidon rakentamisen ja kunnossapidon hiilijalanjäljen määrittäminen tuotekohtaista elinkaarihäyestymistapaa (PAS 2050) noudattaen.

## 1.3 Toteutus

Hiilijalanjäljen laskennan periaate on yksinkertainen: aktiviteetin määrä kertaa päästökerroin on yhtä kuin päästöt. Käytännön toteutus on useimmiten myös suoraviivaista: aktiviteetin määränä työkoneiden ja kuljetuskaluston osalta voivat olla esimerkiksi ajatut kilometrit tai konetyötunnit sekä rakennusmateriaalien ja maanainesten osalta esimerkiksi kg tai m<sup>3</sup>. Päästökertoimet puolestaan valitaan tilanteeseen ja tapaukseen soveltuvuuden perusteella ja luotettavista lähteistä. Jotta aktiviteetin määrän ja päästökertoimen kertolasku tuottaisi tulokseksi CO<sub>2</sub>-tonneja, lisäkertojaksi niiden väliin tarvitaan joissakin tapauksissa ominaiskulutuksen arvo (esim. litraa per tunti) tai muuntokerroin (esim. koneen käyttötunnit per tonni käsiteltävää materiaalia). Suoran energiankulutuksen osalta (sähkö ja polttoaineet) tilanne on analoginen: kulutetun polttoaineen tai sähkön määrä (l tai kWh) kertaa päästökerroin (tCO<sub>2</sub>/l tai kWh) on yhtä kuin päästöt (tCO<sub>2</sub>).

Hiilijalanjälkilaskelmien toteutuksen päävaiheet tässä selvityksessä olivat:

- hiilijalanjäljen kannalta keskeisten toimintojen hahmottaminen tien- ja radanpidossa, ts. runsaasti energiaa tai materiaaleja kuluttavat prosessit
- tiedon keruu ko. prosesseista ja päästökertoimista
- hiilijalanjälkien laskeminen erityyppisille tie- ja rataosuuksille (case-laskelmat)
- yleistysmallien laatiminen (miten yksittäistapausten avulla voidaan laskea koko maan tien- ja radanpidon hiilijalanjälki)
- koko maan tie- ja rataverkon hiilijalanjäljen määrittäminen

Yksittäistapausten ja koko maan tie- ja rataverkon hiilijalanjäljen lisäksi tässä työssä suunniteltiin ja laadittiin ensimmäiset versiot laskentatyökaluista, joiden avulla tulevia teiden ja ratojen rakennus- ja kunnossapitohankkeiden hiilijalanjälkiä voidaan arvioida. Näin voidaan priorisoida toimenpiteitä ja valita toteutusvaihtoehtoja myös ilmastovaikutusten perusteella. Laskentatyökalut tehtiin erikseen radan- ja tienpitoa varten. Kummassakin käytettiin lähtökohtana suoritettuja case-laskelmia. Laskentatyökaluissa käyttäjä voi muuttaa keskeisten parametrien arvoja ja vertailla tuloksia case-laskelmien vastaaviin.

Tämän raportin luvussa 2 on esitelty menetelmät ja luvussa 3 tienpidon case-laskelmat ja niiden vertailu. Luvussa 4 on käsitelty radanpidon case-laskelmat ja niiden vertailu. Luvussa 5 on esitetty hiilijalanjäljen laskennan yleistysmalli koko Suomen tie- ja rataverkolle sekä tien- ja radanpidon keskinäinen vertailu. Luvussa 6 on kuvattu kehitetyt laskentatyökalut tulevien tie- ja ratahankkeiden hiilijalanjälkien arvioimiseen, ja luvussa 7 on esitetty yhteenveto ja johtopäätökset.

## 2 Menetelmät

### 2.1 Case-kohteiden hiilijalanjäljet

#### 2.1.1 Tuotehiilijalanjälkistandardi PAS 2050

Tässä hankkeessa tien- ja radanpidon rakentamista ja kunnossapitoa lähestyttiin elinkaariajattelun näkökulmasta. Tien- ja radanpidon hiilijalanjälkiä lähdettiin hahmottamaan PAS 2050 -standardin (BSI, 2008) pohjalta.

PAS 2050 (Publically Available Specification) on BSI:n (British Standards Institution) laatima julkinen dokumentti, joka määrittelee tuotteiden ja palveluiden kasvihuonekaasujen elinkaaripäästöjen arviointimenetelmän. Kyseessä ei ole vielä virallinen standardi, vaan vastaus laajan yleisön ja teollisuuden tarpeeseen määritellä yhtenäinen menetelmä elinkaaripäästöjen arviointiin. PAS 2050 nojautuu pitkälti elinkaarianalyysiin ja ympäristömerkkeihin ja -selosteisiin liittyviin ISO-standardeihin sekä IPCC:n (Intergovernmental Panel on Climate Change) työhön ja raportteihin. PAS 2050:n kehitystyössä ovat olleet mukana BSI:n lisäksi muun muassa Carbon Trust (Iso-Britannia) ja Defra (Department for Environment, Food and Rural Affairs, Iso-Britannia).

PAS 2050 -arvioinnin lähtökohtana on joko niin sanotusti ”kehdosta hautaan” (koko elinkaari) tai ”kehdosta portille” (elinkaaren alusta tehtaan portille asti; tuotteen tai palvelun siirtyessä yritykseltä yritykselle). Arvioinnin pääperiaatteet ovat relevanssi, kattavuus, yhtenäisyys, johdonmukaisuus, tarkkuus ja läpinäkyvyys. Kasvihuonekaasut, joiden CO<sub>2</sub>-ekvivalenttipäästöt on arvioitava, sisältävät hiilidioksidin lisäksi metaanin, dityppioksidin, fluoratut hiilivedyt (HFC), fluoratut eetterit (HFE) ja joukon muita kasvihuonekaasuja. Arvioinnin tarkastelujakso on 100 vuotta.

PAS 2050 antaa tarkat ohjeet muun muassa seuraaviin elinkaaripäästöjen arviointiin liittyviin tehtäviin:

- miten tuote tai palvelu rajataan
- mitä kasvihuonekaasujen lähteitä on otettava mukaan tarkasteluun
- miten hiilen varastoituminen tuotteisiin otetaan huomioon
- miten analyysin yksikkö määritellään (tCO<sub>2</sub>,ekv/toiminnallinen yksikkö)
- miten päästöt kohdennetaan rinnakkaisille tuotteille tai palveluille
- miten maankäytön muutokset otetaan huomioon (maataloudessa)
- miten 100 vuoden tarkastelujakson aikana tapahtuvat päästöt painotetaan
- miten käytöstä poiston ja kierrätyksen päästöt otetaan huomioon

PAS 2050 vaatii muun muassa, että energialähteiden päästökertoimet ovat elinkaaripäästökertoimia. Se tarkoittaa, että esimerkiksi dieselin päästökertoimen on sisällettävä loppukäytön (polton) lisäksi myös muun muassa öljyn etsintä, öljynporaus, kuljetukset ja jalostus. Vastaava vaatimus pätee kaikille muillekin energialähteille ja raaka-aineille. Kirjaimellisesti sovellettuna PAS 2050 on erittäin vaativa ja kattava tuotteiden ja palveluiden elinkaaripäästöjen arviointimenetelmä.

### 2.1.2 PAS 2050:n sovellus tien- ja radanpitoon

Tämän hankkeen keskeinen osa olivat case-laskelmat. Niitä käytettiin sekä koko maantie- ja rataverkon hiilijalanjäljen mallintamiseen ja arvioimiseen että erillisten laskentatyökalujen pohjana. Case-laskelmia varten valittiin yksittäisiä tie- ja rata-osuuksia sekä ratapihoja (caset) edustamaan mahdollisimman monipuolisesti erityyppisiä teitä sekä ratoja ja ratapihoja. Kullekin tapaukselle laskettiin elinkaari-tarkasteluun perustuva ”tuotehiilijalanjälki” (case-laskelmat).

Laskelmien päätulokseksi tai analyysin yksiköksi valittiin ominaispäästöt väyläkilometriä ja vuotta kohti ( $tCO_2/km/v$ ). Kyseinen indikaattori sisältää väylän rakentamisesta aiheutuneet  $CO_2$ -päästöt ja 100 vuoden tarkastelujakson aikana syntyvät käytön ja kunnossapidon  $CO_2$ -päästöt, kaikki yhteensä jaettuna 100 vuodelle.<sup>3</sup> Tarkastelujakson pituus vaikuttaa rakentamisen ja käytön aikaisen päästöjen suhteeseen: mitä pidempi tarkastelujakso valitaan, sitä vähemmän rakentaminen vaikuttaa ominaispäästöihin. Tarkastelujakson pituus on periaatteessa mielivaltainen valinta, mutta käyttämällä PAS 2050 -standardia referenssinä voidaan olettaa saatavan kansainvälisesti vertailukelpoisia tuloksia. Tulosten esittäminen ominaispäästöjen muodossa tekee mahdolliseksi myös vertailla eri tie- ja rata-tyyppejä keskenään mielekkäällä tavalla.

### 2.1.3 Rajaukset

Rajaukset pyrittiin tekemään samalla tavalla sekä tien- että radanpidon tarkasteluissa keskinäisen vertailtavuuden säilyttämiseksi. Rajauksia tehtiin viidellä osa-alueella:

- kasvihuonekaasut
- päästökertoimet
- infrastruktuuri
- maankäyttö sekä
- tien- ja radanpidon prosessit ja komponentit

**Kasvihuonekaasut.** Koska ylivoimaisesti suurin osa tien- ja radanpitoon liittyvistä kasvihuonekaasupäästöistä on hiilidioksidia, tässä työssä tarkasteltiin vain  $CO_2$ -päästöjä. Tästä syystä pääindikaattorina on  $tCO_2/km/v$  eikä  $tCO_{2ekv}/km/v$ , kuten PAS 2050 edellyttäisi.

**Päästökertoimet.** Päästökertoimet energialle (loppukäytön osalta), kuljetuksille, työkoneille ja materiaalien valmistukselle on tutkittu ja raportoitu riittävän hyvin tämän selvityksen tarpeita varten. Esimerkiksi polttoaineille ei kuitenkaan vielä ole saatavissa kattavasti luotettavia päästökertoimia polttoaineen koko elinkaaren yli (esim. öljynporauksesta loppukäyttöön asti). Vastaavasti hyvin dokumentoituja päästökertoimia on saatavilla perusmateriaalien (esim. teräs) valmistukselle mutta ei vielä läheskään kattavasti tuotteille (esim. teräksinen valaisinpylväs). Lisäksi valtaosa tien- ja radanpidossa keskeisten tuotteiden päästöistä syntyy raaka-aineen valmistuksen aikana, jolloin jalostaminen valmiiksi tuotteeksi vastaa vain pientä osaa lopputuotteen valmistuksen päästövaikutuksesta. Näistä syistä johtuen tässä työssä

---

<sup>3</sup> Tämä on yksinkertaisempi laskentatapa kuin PAS 2050:ssa, mutta johdonmukaisesti sovellettuna se antaa PAS 2050 -laskentamallin kanssa vertailukelpoisia tuloksia.



käytettiin sähkön ja polttoaineiden loppukäyttöön perustuvia päästökertoimia elinkaarikertoimien sijaan ja materiaalipäästökertoimia tuotepäästökertoimien sijaan.

**Infrastrukturi.** Ensimmäinen merkittävä rajausta oli jättää asemat, varikot, tavaraterminaalit, parkkipaikat ynnä muut liikennöintiin liittyvät rakenteet ja toiminnot tarkastelun ulkopuolelle. Ainoastaan itse tie- ja ratainfrastruktuurin ylläpitoon ja rakentamiseen suoraan liittyvät toiminnot sisällytettiin lähtökohtaisesti tarkasteluun. Esimerkkejä tällaisista ovat asfalttiasemat tienpidossa sekä kiskohitsaamo, vaihdhallit ja kyllästämö radanpidossa. Näiden päästövaikutuksia ei kuitenkaan sisällytetty case-laskelmiin, vaan ainoastaan koko maantie- ja rataverkkoa koskeviin yleistäviin tarkasteluihin.

Liikennepaikkojen osalta radanpidossa mukaan otettiin lähtötietojen sallimissa rajoissa raiteet sekä niihin liittyvät rakenteet, laiturialueet valaistuksineen ja tekniset tilat, mutta ei asemarakennuksia, hissejä, liukuportaita tai muita suoraan ihmisten ja tavarankulkun liikkumiseen liittyviä rakenteita ja toimintoja. Tienpidon tarkastelut sisälsivät vastaavasti rampit, liittymät, risteysalueet, bussipysäkit ja levähdysalueet mutta eivät esimerkiksi huoltoasemia, linja-autoasemia tai tavaraterminaaleja.

Tie- ja rataverkko rajattiin tarkoittamaan valtion tieverkkoa eli maanteitä (valta-, kanta-, seutu- ja yhdystiet) ja valtion rataverkkoa. Kadut ja lauttareitit sekä yksityiset tiet ja radat rajattiin tarkastelun ulkopuolelle.

**Maankäyttö.** Maankäytön muutosten vaikutuksia ei sisällytetty laskelmiin, koska niitä on vaikea arvioida perustellusti varsinkin olemassa olevien väylien osalta. PAS 2050 ei myöskään tarjoa yksiselitteistä ohjeistusta laskelmien tekoon. Karkean käsityksen maankäytön muutosten vaikutuksista saa, jos olettaa uuden väylän tulevan kasvavan metsän tilalle. Metsä on hiilinielu, joka menetetään pysyvästi väylän alle. Hiilinielun suuruus ( $tCO_2/ha/v$ ) voidaan arvioida sen perusteella, kuinka paljon metsä kasvaa keskimäärin vuodessa hehtaaria kohden ( $m^3$  puuta/ha), kun puun kasvaessaan sitoma hiilen määrä (tonnia hiiltä per  $m^3$  puuta) tunnetaan. Tällä tavoin tarkasteltuina maankäytön muutokset väyliä rakennettaessa ja niiden käytön aikana muodostavat väylän hiilijalanjäljestä noin viidenneksen 60 vuoden tarkastelujaksolla (Botniabanan Ab, 2010a). Kun tarkastelujaksoa pidennetään, maankäytön muutosten suhteellinen osuus kokonaispäästöistä kasvaa.

**Tien- ja radanpidon prosessit ja komponentit.** Sekä tien- että radanpitoon liittyy suuri määrä erilaisia toimintoja, komponentteja, laitteita ja välineitä, joilla ei ole hiilijalanjäljen kannalta juuri merkitystä. Tämä johtuu siitä, että sekä tien- että radanpito on materiaali- ja energiaintensiivistä toimintaa. Tällaisessa tapauksessa vähän materiaaleja ja energiaa kuluttavien (mutta muuten tärkeiden) toimintojen merkitys hiilijalanjäljen kannalta jää vähäiseksi. Tästä syystä tarkastelun ulkopuolelle rajattiin kaikki "toimistopöydän ääressä" tapahtuvat asiat (suunnittelu, hallinto, viestintä jne.). Samoin kaikki muutkin ihmisvoimin tehtävät asiat sivuutettiin laskelmissa – esimerkiksi siltojen puisten valumuottien rakennus ja raudoitustyö sekä ratojen kävelytarkastukset.

Teiden ja ratojen *käytöstä poisto* rajattiin tarkastelun ulkopuolelle, koska teitä ja ratoja ylläpidetään ja kunnostetaan tarpeen mukaan jopa useita satoja vuosia. Toisin sanoen sadan vuoden tarkastelujakso ei välttämättä kata tien tai radan koko elinkaarta.

Kuljetus-, työ- ja kunnossapitokaluston valmistus rajattiin tarkastelun ulkopuolelle, sillä kaluston hyödyntämisen vaikutuksia koko elinkaarelta ei voida kohdentaa pelkästään tarkasteltavana olevaan tien- tai radanpitoonhankeeseen.

Tunnistettaessa ja ryhmiteltäessä tien- ja radanpidon prosesseja alan asiantuntijoiden kanssa voitiin lisäksi jo ennakolta todeta tiettyjen prosessien ja komponenttien olevan merkityksettä hiilijalanjäljen kannalta. Tällaisia olivat esimerkiksi radanpidossa kiskojen kiinnikkeet ja tienpidossa liikenteenohjauslaitteet (liikennevalot ja opasteet). Edellä sanotusta huolimatta ja toisaalta johtuen painoarvoltaan pienten prosessien suuresta määrästä laskelmiin otettiin mukaan paljon toimintoja, joiden merkitys hiilijalanjäljen kannalta ei ollut etukäteen selvä (esim. melusteet). Laskelmissa otettiin huomioon myös fyysisiä komponentteja, joiden määrä oli suhteellisen pieni mutta päästökerroin suuri (esim. routalevyt). Tällä pyrittiin siihen, ettei hiilijalanjäljen kannalta merkityksellisiä komponentteja jäisi pois tarkastelusta.

Sillan rakennuksessa käytetään jonkin verran pientä kalustoa kuten hitsaus- ja hiomakoneita. Niiden vaikutus kokonaisenergiankäyttöön on kuitenkin hyvin pieni, ja ne rajattiin siksi laskelmien ulkopuolelle. Sillanrakentamiseen käytetään betonin ja teräksen lisäksi muun muassa puuta (lauditus/muotit). Se ja muut materiaalit rajattiin tarkastelun ulkopuolelle, sillä niitä kierrätetään ja menekki betonin ja teräksen määrään suhteutettuna on pieni (Nummelin, 2011).

**Tienpidon prosessit ja komponentit.** Asfalttimassan valmistusprosessia asfalttiasemilla ei otettu huomioon tapauskohtaisissa laskelmissa. Toisin sanoen asfaltin valmistuksessa otettiin huomioon pelkästään raaka-aineiden eli bitumin ja kivimurskeen valmistuksen päästöt sekä kuumennus tien päällä (jälkimmäinen koskee ainoastaan moottori- ja valtateitä).

Liikennevalot ja muut mahdolliset sähköä kuluttavat laitteet (sadevesipumput jne.) rajattiin tarkastelun ulkopuolelle, sillä valaistus kattaa yli 95 % käyttöön liittyvien alaprosessien sähkötarpeesta (Penttinen, 2011). Valaisinten ja lamppujen valmistusta ei tarkasteltu pienen materiaalinemekin vuoksi.

Joidenkin tienpidossa käytettävien materiaalien, kuten suolan (talvihoito) ja puun (sillat) valmistusta ei otettu huomioon laskennassa, johtuen joko tiedon puutteista tai materiaalinemekin vähäisyydestä.

**Radanpidon prosessit ja komponentit.** Tasoristeykset rajattiin rakentamisen ja kunnossapidon osalta laskennan ulkopuolelle, koska niistä ollaan vähitellen luopumassa. Uusia tasoristeyksiä ei enää rakenneta uusiin paikkoihin ja olemassa olevien kunnostaminenkin on pienimuotoista, lähinnä kansien vaihtoa ja turvallisuuden parantamista. Tasoristeysten käytön aikainen sähkön kulutus sisällytettiin kuitenkin laskelmiin.

Rakennustöissä tukemiseen käytetyt tukiseinäelementit ja teräsponttiseinät rajattiin laskennan ulkopuolelle, koska niitä uusiokäytetään erilaisissa rakennushankkeissa (Nummelin, 2011). Pienimmät päällysrakennekomponentit, kuten kiskojen kiinnitysosat, jätettiin laskennan ulkopuolelle, sillä niiden vaikutus kokonaishiilijalanjälkeen on hyvin pieni, karkeasti arvioituna selvästi alle prosentin.

Turvalaitteiden osalta laskennan ulkopuolelle jätettiin komponentteja, joiden materiaaleista ei ollut saatavilla riittävän tarkkaa tietoa: esimerkiksi kyltit, raidevirtapiirit, ratalaitekaapit, sähkökääntölaitteet ja kiskokoskettimet.

Joidenkin radanpidossa käytettävien materiaalien, kuten puupölkkyjen, kivirumpujen ja valaisimien valmistusta ei otettu laskennassa huomioon, johtuen joko tiedon puutteista tai materiaalimenekin vähäisyydestä.

## 2.2 Maantieverkon ja rataverkon hiilijalanjälki

Koko maantieverkon ja valtion rataverkon hiilijalanjäljen arvioimiseksi valittiin kolmivaiheinen, yksittäistapauksista yleiseen -menetelmä:

- 1) Valittiin yksittäisiä tie- ja rataosuuksia sekä ratapihoja (caset) edustamaan mahdollisimman monipuolisesti erityyppisiä tie- ja rataosuuksia sekä ratapihoja. Kullekin tapaukselle laskettiin elinkaaritarkasteluun perustuva ”tuotehiilijalanjälki” (case-laskelmat).
- 2) Luokiteltiin tiet, radat ja ratapihat koko maantie- ja rataverkon hiilijalanjäljen arvioimisen kannalta tarkoituksenmukaisella tavalla case-laskelmien ja olemassa olevien tilastotietojen pohjalta.
- 3) Yleistettiin case-laskelmien tulokset koko Suomen tie- ja rataverkkoon.

Liikenneviraston ja VR:n asiantuntijat valitsivat case-kohteet hankkeen alussa. Keskeiseksi kriteeriksi muodostui lähtötietojen saatavuus, jonka vuoksi case-laskelmiin valittiin pääosin aiemmissa tie- ja rataMIPS-tutkimuksissa tarkasteltuja tie- ja rataosuuksia. Valituille tie- ja rataosuuksille sekä ratapihoille suoritettiin case-laskelmat edellä esitetyn (luku 2.1) menetelmän mukaisesti.

Tiet, radat ja ratapihat luokiteltiin case-laskelmien jälkeen mahdollisimman yksinkertaisella tavalla, koska case-laskelmien tulokset ja niihin liittyvät epävarmuudet eivät tukeneet moniulotteista tai monimutkaista luokittelua.

Tienpidon case-laskelmat yleistettiin kattamaan koko maantieverkko hyödyntämällä tilastotietoa tietyyppien kilometrimääristä tien leveysittäin jaoteltuna. Tavoitteena oli, että case-tieosuuksien leveyden poikkeamat tietyyppikohtaisista keskiarvoista vaikuttaisivat mahdollisimman vähän koko tieverkon hiilijalanjäljen laskemiseen.

Radanpidon case-laskelmat yleistettiin kattamaan koko valtion rataverkko luokittelamalla rataosuudet raiteiden lukumäärän ja sähköistyksen (kyllä/ei) mukaan ja ratapihat koon mukaan. Ratapihojen luokittelu kolmeen kokoluokkaan tehtiin asiantuntijavoimin, koska vastaavaa tilastointia ei ole.

## 2.3 Päästökertoimet

Laskennassa käytetyt päästökertoimet kerättiin useista lähteistä. Kertoimet lähteineen on esitetty liitteessä 1. Useat etenkin kuljetuskaluston, työkonien ja energiantuotannon ja sitä kautta myös materiaalien päästökertoimet muuttuvat 100 vuoden tarkastelujakson aikana. Tässä tarkastelussa ei tehty skenaario-oletuksia päästökertoimien muutoksista, vaan kertoimet oletettiin vakioiksi koko tarkastelu-

jakson aikana. Myös materiaalien valmistuksen päästökertoimet sisältävät epävarmuutta, joka syntyy muun muassa eroista eri maiden sähköntuotannon päästökertoimissa ja joissakin tapauksissa lähtötietojen epätasaisuudesta<sup>4</sup>. Laskennassa käytettiin sähkön päästökertoimena Suomen keskimääräistä sähköntuotannon päästökerrointa.

---

<sup>4</sup> Esimerkiksi graniitin valmistuksen (louhinta ja jalostus) päästökerroin on lähteen mukaan ”jonkin verran alhaisempi kuin betonin valmistuksen”, jolloin graniitin päästökertoimen oletettiin olevan 20 % alhaisempi kuin betonin.

## 3 Tienpidon case-laskelmat

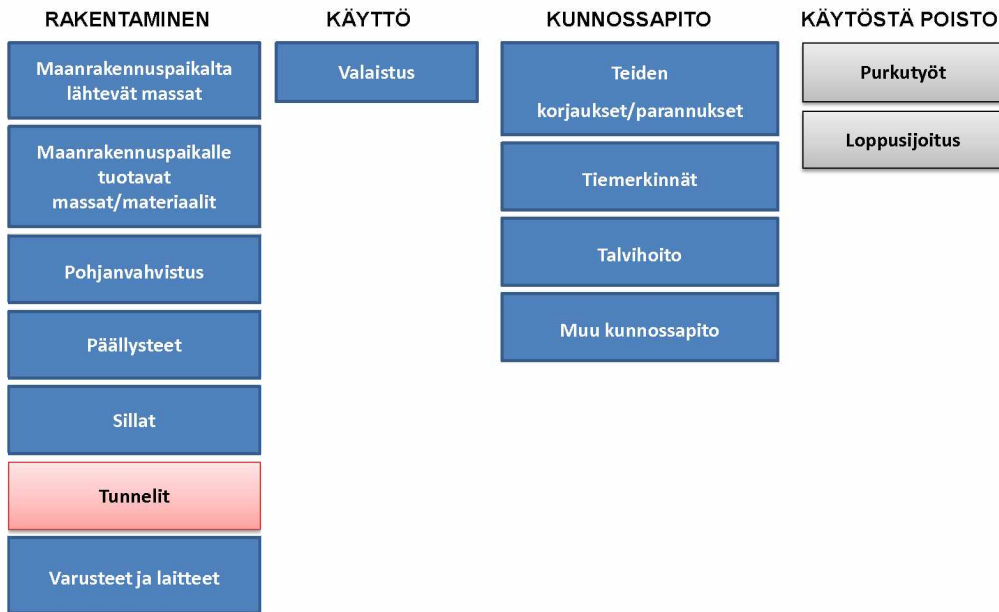
Tienpidon päästövaikutuksista ei ole aiemmin tehty kokonaisvaltaista, todellisiin esimerkkeihin perustuvaa selvitystä. Kattavimmin elinkaari päästöjä on käsitelty IVL Swedish Environmental Research Institutenin vuonna 2001 julkaisemassa raportissa (Stripple, 2001), jossa on pyritty ottamaan huomioon kaikki tien rakentamiseen, ylläpitoon ja käyttöön liittyvät päästöt elinkaariarvioinnin avulla. Myös liikenne- ja viestintäministeriön vuonna 2005 julkaisema TieMIPS-tutkimus (LVM, 2005) käsittelee aihetta laajasti, mutta sen painotus on luonnonvarojen kulutuksessa, joten myöskään tämä tutkimus ei tarjoa riittävää pohjaa erilaisten tietyyppien ilmasto-vaikutusten arviointiin.

Tienpidon case-laskelmien kohteet valittiin Tie-MIPS-tutkimuksen pohjalta. Case-kohteiksi valittiin *moottoritie* VT3 (Jutikkala–Kulju), *valtatie* VT25 (Hanko–Skogby), *seututie* 582 (Lapinlahti–Rautavaara) sekä *yhdystie* 14349 (Tammikosken paikallistie). *Kantateiden* ominaisuudet ovat vastaavat kuin valtateilla (Räsänen, 2011), joten tästä tietyypistä ei laskettu omaa case-tapausta.

Tässä luvussa esitellään tienpidon prosessit, laskennassa käytetyt yleiset oletukset sekä kohdekohtaiset lähtötiedot, oletukset, rajaukset, tulokset sekä tuloksiin liittyvä epävarmuus.

### 3.1 Tienpidon prosessit

Tienpidon prosessit jaettiin lähtökohtaisesti neljään pääryhmään elinkaaren mukaisesti: *rakentaminen*, *käyttö*, *kunnossapito* sekä *käytöstä poisto*. Pääryhmät jaettiin edelleen kuvan 2 esittämällä tavalla. Pääryhmien jaottelu on yhdenmukainen radanpidon kanssa. Tarkasteluun otettiin mukaan vain sellaiset tienpitoon liittyvät prosessit, joilla on tai voitiin etukäteen olettaa olevan merkitystä kokonais-hiilijalanjäljen muodostumisessa.



Kuva 2. Tienpidon prosessijaottelu elinkaaren yli (harmaalla merkityt prosessit rajattiin laskelmien ulkopuolelle; tunneleita ei ollut case-tieosuuksilla).

### Rakentaminen

Maanrakennus jaettiin tarkastelussa kahteen osaan, sillä tämä prosessi sisältää monta alaprosessia. **Maanrakennuspaikalta lähtevät massat** -prosessi sisältää rakennusvaiheessa irrotettavien massojen (pintamaa, päällysteet jne.) käsittelyn ja kuljetuksen sekä kallioleikkaukset ja leikkausmassojen käsittelyn. **Maanrakennuspaikalle tuotavat massat/materiaalit** -prosessi sisältää tienrakennusvaiheessa maanrakennuspaikoille tuotavien massojen ja materiaalien valmistuksen, kuljetukset ja käsittelyn (siirto, levitys, pystytys jne.). Osa tarvittavista massoista saadaan suoraan tienrakennuspaikalta maa- ja kallioleikkausmassoista. Kallioleikkausmateriaalien murskauksen vaikutukset sisältyvät **Maanrakennuspaikalle tuotavat massat/materiaalit** -prosessiin.

**Pohjanvahvistus**-prosessi sisältää nimensä mukaisesti alaprosessit, joilla vahvistetaan ja parannetaan tiealuetta (massanvaihto, paalutus jne.). Osa täyttö- ja pengermassoista saadaan tienrakennuspaikalta, kuten **Maanrakennuspaikalle tuotavat massat/materiaalit** -prosessissa. Tiealueen päällystämisen vaikutukset sisältyvät **Päällysteet**-prosessiin. Prosessi sisältää asfaltin raaka-aineiden (murske ja bitumi) valmistuksen, kuljetuksen ja käsittelyn vaikutukset. Osa tarvittavasta murskeesta saadaan tienrakennuspaikalta.

**Sillat**-prosessi sisältää siltamateriaalien (pääosin betonia ja terästä) valmistuksen, kuljetuksen ja käsittelyn. Siltatöihin sisältyy laskennassa betonin valaminen tienrakennuspaikalla. **Tunnelit**-prosessissa olisi otettu huomioon vaadittavat louhintatyöt, kuljetukset ynnä muut alaprosessit edellä mainittujen prosessien tavoin. Case-kohteissa ei ollut tunneleita, joten näiden rakentamisen, käytön ja kunnossapidon vaikutuksia ei sisälly esimerkkilaskelmiin. Mikäli myöhemmissä hiilijalanjälkiselvityksissä tutkitaan tunneleita, tulisi tuolloin ottaa huomioon vaadittavat louhintatyöt, kuljetukset ynnä muut alaprosessit edellä mainittujen prosessien tavoin.

Liikenteenohjaus- sekä valaistuslaitteiden valmistus, kuljetus sekä käsittely tienrakennuspaikalla kuuluvat **Varusteet ja laitteet** -prosessiin. Myös tarvittavat kaapelikaivannot sisältyvät tähän prosessiin.

### **Käyttö**

Pääprosessi **Käyttö** sisältää vain yhden alaproessin: **Valaistus**. Se sisältää valaistuksen sähkönkulutuksen ja sen ilmastovaikutuksen. **Käytöllä ei siis tarkoiteta tässä yhteydessä liikennettä**, vaan teiden ylläpitoon liittyviä käytönaikaisia toimintoja, jotka eivät ole kunnossapitoa.

### **Kunnossapito**

**Teiden korjaukset/parannukset** -prosessi sisältää päällysteiden ja rakenteiden korjaukset, jotka tehdään tietyypistä riippuen tietyin aikavälein. Prosessi sisältää päällystemateriaalien valmistuksen, kuljetukset sekä käsittelyn. **Tiemerkinnät**-prosessi sisältää tiemerkintöjen uusimiset. Laskennassa otettiin huomioon tiemaalien ja tiemerkintämassojen<sup>5</sup> osalta valmistuksen vaatiman energiantuotannon vaikutukset.

**Talvihoito**-prosessiin kuuluvat kunnossapitokaluston polttoaineen kulutuksen vaikutukset. Talvihoidoksi luetaan teiden auraus, hiekoitus, suolaus ja tasaus. **Muuhun kunnossapitoon** sisältyvät liikenneympäristön ja sorateiden hoito sekä varusteiden, laitteiden ja siltojen ylläpito.

## 3.2 Laskennan yleiset oletukset

Laskennassa otettiin huomioon materiaalien valmistus, kuljetukset ja käsittely tienrakennuspaikalla sekä työkoneiden ja kunnossapitokaluston energiankulutus. Laskennan yhdenmukaistamiseksi tehtiin oletuksia, joita noudatettiin kaikissa neljässä case-tapauksessa. Oletukset liittyvät muun muassa materiaalien ja massojen kuljetusetäisyyksiin ja kuljetuskalustoon, käytettyihin työkoneisiin sekä prosessien aikaisiin materiaalihävikkeihin.

**Kuljetusetäisyydet.** Tienrakennuspaikalle tuotavien materiaalien ja massojen keskimääräiseksi kuljetusetäisyydeksi oletettiin 50 km. Tienrakennuspaikalta lähtevien materiaalien ja massojen kuljetusetäisyydeksi puolestaan oletettiin 20 km. Kuljetusmatkoista ei ole dokumentoitua tietoa, ja niitä on mahdotonta arvioida jälkikäteen tarkasti. Osa materiaaleista ja massoista saadaan todennäköisesti hyvinkin läheltä tienrakennuspaikkaa, kun taas osa kovasta kiviaineksesta joudutaan mahdollisesti kuljettamaan jopa Suomen rajojen ulkopuolelta (Penttinen, 2011). Tästä johtuen kuljetusetäisyyksistä jouduttiin käyttämään arvioita tässä selvityksessä.

**Kuljetuskalusto.** Tienrakennuspaikalle tuotavien materiaalien, joita voivat olla esimerkiksi valaisinpylväät tai riista-aidat, kuljetukseen oletettiin käytettävän täysperävaunuyhdistelmää, jonka kantavuus on 40 tonnia. Massat, kuten sora ja

---

<sup>5</sup> Vilkasliikenteisillä teillä tiemerkintöjen tekemiseen käytetään maalia kestävämpää tiemerkintämassaa. Vähäliikenteisillä seutu- ja yhdysteillä merkinnät tehdään pelkällä maalilla. Lähde: Hankkeen ohjausryhmä.

murske, oletettiin tuotavan tienrakennuspaikalle maansiirtoautolla, jonka kantavuus on 19 tonnia. Myös rakennuspaikalta lähtevien massojen kuljetukseen käytettiin laskennassa vastaavaa maansiirtoautoa. Prosessikohtaisesti oletettiin, että tienrakennuspaikalle materiaaleja tai massoja tuova auto on täyteen lastattu ja sama auto poistuu rakennuspaikalta ilman lastia. Samaten tienrakennuspaikalta massoja ulos vievien autojen oletettiin hyödyntävän aina koko kantavuuskapasiteettiaan ja saapuvan takaisin tienrakennuspaikalle tyhjinä. Näitä oletuksia käyttämällä kuljetuksissa voitiin hyödyntää valmiita, luotettavia päästökertoimia. Samasta syystä oletettiin dumperin osalta, että se käsittelee jatkuvasti enimmäiskuormaa, joka vastaa tilavuudeltaan 15 kuutiota.

**Massaan sidottu kuljetustarve.** Kuten muidenkin materiaalien, myös kaivojen, putkien ja rumpujen kuljetukset sidottiin laskennassa niiden massaan, vaikka täsmällisempää olisi niiden tapauksessa arvioida kuljetustarve tilavuuden perusteella. Tämä tarkastelu olisi kuitenkin vaatinut tarkempia tietoja kappaleiden mitoista. Lisäksi kaivojen, putkien ja rumpujen kuljetusten päästöt ovat kokonaispäästöihin verrattuna vähäisiä. Näistä syistä johtuen tilavuustarkastelua ei nähty välttämättömäksi.

**Työkoneet.** Prosesseissa käytettäviä työkoneita ovat kuormaaja, kaivuri, dumperi, nosturi, erilaiset jyrät, asfaltinlevittäjä, jyrsin, kuumennin, paalutuskone, murskain sekä pyörintäsäiliöpumppu. Työkoneiden aiheuttamat päästöt laskettiin perustuen käsiteltävään massaan tai tilavuuteen, riippuen työkoneen käyttötarkoituksesta (siirtely, raivaus, nostaminen jne.). Koska työkoneiden keskinäisten käyttösuuksien täsmällinen määrittäminen ei ollut tässä hankkeessa mahdollista, ne arvioitiin karkeasti perustuen aiempaan tutkimusaineistoon (Stripple, 2001).

Betonin valamisessa käytetään pyörintäsäiliöpumppua. Muiden käytettävien työkoneiden – nostureiden ja muiden ajettavien dieseltyökoneiden – oletettiin olevan päästöiltään VTT:n LIPASTO-tietokannan (VTT, 2011) mukaisia. Näiden koneiden päästöjen määrittämiseksi arvioitiin sillanrakentamisen vaatima käyttöaika, jonka oletettiin olevan riippuvainen sillanrakennusmateriaalien määrästä.

**Maa-aineksen laatu.** Joidenkin työkoneiden polttoaineen kulutus on verrannollinen käsiteltävän maa-aineksen laatuun. Kaikissa case-laskelmissa maa-aineksen laaduksi oletettiin neliportaisessa asteikossa toiseksi vaikein maa-aines (*melko vaikea*, ks. liite 1)<sup>6</sup>.

**Materiaalihävikki.** Prosessien aikaisen materiaalihävikin oletettiin olevan niin pientä, että se voitiin rajata tarkastelun ulkopuolelle. Hävikkiä syntyy esimerkiksi murskeen valmistuksessa.

**Varovaisuusperiaate lähtötietojen päällekkäisyyksissä.** Kallioleikkauksissa, kalliomassojen murskauksessa sekä joidenkin työkoneiden käytössä on päällekkäisyyttä ainakin kiven irrotuksessa ja kuljetuksissa. Tämä johtuu ennen kaikkea käytettävissä olleiden lähtötietojen epätarkkuudesta. Kallioleikkauksen päästökertoimeen sisälty-

---

<sup>6</sup> Asteikossa *vaikea* kuvaa erittäin heterogeenista ja raskasta maa-ainesta, jota on esimerkiksi kallioleikkauksessa käsiteltäessä suhteellisesti eniten *melko helppoa* maa-ainesta, jota edustaa esimerkiksi pintamaa. Varovaisuusperiaatteen mukaisesti voidaan arvioida, että *melko vaikea* kuvaa parhaiten keskimääräistä maa-ainesta tienrakennuspaikalla.



vät louhinta/poraus, räjäytykset, rikotus, kuormaus, kuljetus, levitys, tasaus ja tiivistys. Murskausprosessi puolestaan sisältää materiaalin irrotuksen, kuljetuksen murskaimelle sekä itse murskauksen. Tämän lisäksi mursketta oletettiin käsiteltävän tienrakennuspaikalla esimerkiksi kuormaajilla. Todennäköisesti jotkin alaprosessit tulivat siis laskettua kahteen kertaan. Sillä ei kuitenkaan arvioitu olevan huomattavaa merkitystä lopputulokseen. Lisäksi päällekkäisyys on varovaisuusperiaatteen mukaisesti parempi vaihtoehto kuin jättää vaikutuksia ottamatta huomioon. Näin voisi helposti käydä, jos laskelmia tehtäisiin perustuen esimerkiksi arvioon kalliroleikkauksen alaprosessien suhteellisista osuuksista.

**Kustannusten ja päästövaikutusten korrelaatio.** Muun kunnossapidon osalta ei ollut saatavilla tarkkoja lähtötietoja, joten alaprosessien vaikutukset arvioitiin pohjautuen teiden korjausten ja talvihoidon laskettuihin päästövaikutuksiin sekä tienpidon kustannuksiin. Toisin sanoen kustannusten oletettiin korreloivan riittävässä määrin päästövaikutusten kanssa. Kun tiedetään kaikkien kunnossapidon alaprosessien kustannukset sekä teiden korjauksien/parannuksien ja talvihoidon päästövaikutukset, voidaan kustannusten jakauman ja päästöiltään tunnettujen alaprosessien avulla arvioida karkeasti muun kunnossapidon päästövaikutukset. Kustannuksista poistettiin miestyövoiman ja työmaan yhteiskustannusten osuus.

## 3.3 Case 1: moottoritie Jutikkala–Kulju

### 3.3.1 Lähtötiedot, oletukset, rajaukset

**Lähtötiedot.** Tarkasteltava moottoritieosuus on osa valtatieta 3, ja sen pituus on 22 km. Tiealueen leveys vaihtelee 60 ja 100 m:n välillä. Laskennassa tieosuuden leveydelle käytettiin näiden keskiarvoa, 80 m. Ajoradan leveys on 11,75 m. Tieosuus koostuu kahdesta ajoradasta, joten tiepäälysteen kokonaisleveys on 23,5 m. Moottoritie avattiin liikenteelle vuonna 2000. (LVM, 2005)

Tutkittu moottoritielinjaus edustaa varsin hyvin Suomen moottoriteitä, sillä moottoriteiden rakennustavat ja pohjarakenteet eivät juuri Suomen oloissa poikkea toisistaan. Moottoritielle ovat tyypillisiä useat liittymät, sillat ja rampit, kalliroleikkaukset, maaleikkaukset, täytöt, liikenteenohjauslaitteet ja erilaiset palvelualueet. (LVM, 2005). Laskennassa liittymien ja ramppien rakentaminen, käyttö ja kunnossapito sisältyivät rakentamisen prosesseihin, eikä niitä eroteltu tarkastelussa.

*Pohjanvahvistuksessa* massanvaihto tehtiin 10 %:lle tien pituudesta (LVM, 2005), jolloin tämä matka (2,2 km) tasoitettiin ja tiivistettiin maajyrällä. Vastapenkereen massa saatiin tielinjalta maa- ja kalliroleikkauksista. Laskennassa kalliroleikkauksien massan murskaus kohdennettiin pohjanvahvistukseen, mutta murskeen kuljetus ja käsittely otettiin huomioon maanrakennusprosessissa. Muun maa-aineksen käsittely jakaantui kuormaajien, kaivureiden ja dumppereiden kesken.

*Päälysteessä* on 95,5 % mursketta ja 4,5 % bitumia<sup>7</sup>. Osa asfaltinvalmistuksessa käytettävästä murskeesta saatiin tienrakennuspaikalta ja osa tuotiin ulkopuolelta.

---

<sup>7</sup> Muissa case-tapauksissa bitumin osuus oli lähtötietojen mukaan 5 %.

Päällysteen tasoitukseen ja levitykseen käytettiin asfaltinlevittäjää ja asfalttijyrää. Tiemerikintämässän valmistuksen energiankulutus koko tarkastelujaksolla oli noin 1,2 GWh.

*Siltojen* osalta lähtötiedoissa ilmoitettiin käytetyn betonin ja teräksen määrä. Valaistuksen vuotuinen sähkönkulutus tarkasteltavalla tieosuudella on hieman yli 480 MWh. *Talvihoidon* osalta moottoritillä otettiin huomioon auraus, hiekoitus ja suolaus. Niiden tekemiseen käytetään kunnossapitokalustoa, jonka yhteenlasketun vuotuisen ajomäärän on arvioitu olevan 22 000 km. (LVM, 2005)

**Oletukset.** *Maanrakennuksessa* suurin osa maa- ja kalliroleikkausmassoista (70 %) hyödynnetään tienrakennuspaikalla (pientareet, penkereet, päällysteet jne.) (ORY, 2011). Pintamaan paksuudeksi oletettiin 30 cm ja poistettavan päällysteen paksuudeksi 10 cm. Maanrakennusprosesseissa dumppereiden ajosuoritteen oletettiin vastaavan 1 %:a maansiirtoautojen suoritteesta. Oletus on Liikenneviraston arvio ja perustuu siihen, että dumppereilla käsitellään massoja pelkästään tienrakennuspaikalla, kun maansiirtoautoilla massoja siirretään pidempiä matkoja. *Pohjanvahvistus*-prosessissa dumppereiden ajosuoritteen oletettiin vastaavan 10 %:a maansiirtoautojen suoritteesta. Tässä prosessissa maansiirtoautoja käytetään poistettavan maa-aineksen kuljettamiseen jättöpaikalle.

Tienrakennuksessa käytettävät *varusteet ja laitteet* sisältävät liikenteenohjaus- sekä valaistuslaitteet, joista ainoastaan valaisinpylväät sisällytettiin laskentaan. Asennuksia varten tehdään kaapelikaivanto, jonka oletettiin olevan pituudeltaan 21 km ja halkaisijaltaan keskimäärin 30 cm.

Moottoritien päällyste uusitaan remix-tekniikkaa käyttäen kuuden vuoden välein. Remix-päällystys voidaan tehdä korkeintaan kaksi kertaa peräkkäin, minkä jälkeen ajoradalle uusitaan laattapäällyste (LTA). Uusi laattapäällyste tehdään joka 20. vuosi. (LVM, 2005) Yhteensä remix-päällystys oletetaan siis tehtävän 100 vuoden aikana 10 kertaa ja laattapäällystys viisi kertaa. Päällystysprosessissa käytetään asfaltinlevittäjän ja -jyrän lisäksi remix-uusinnan yhteydessä jyrästä 30 %:lla päällystealasta sekä kuumenninta 80 %:lla päällystealasta (Penttinen, 2011). Tiemerikinnät oletetaan uusittavan seitsemän vuoden välein eli yhteensä 14 kertaa tarkastellulla aikavälillä.

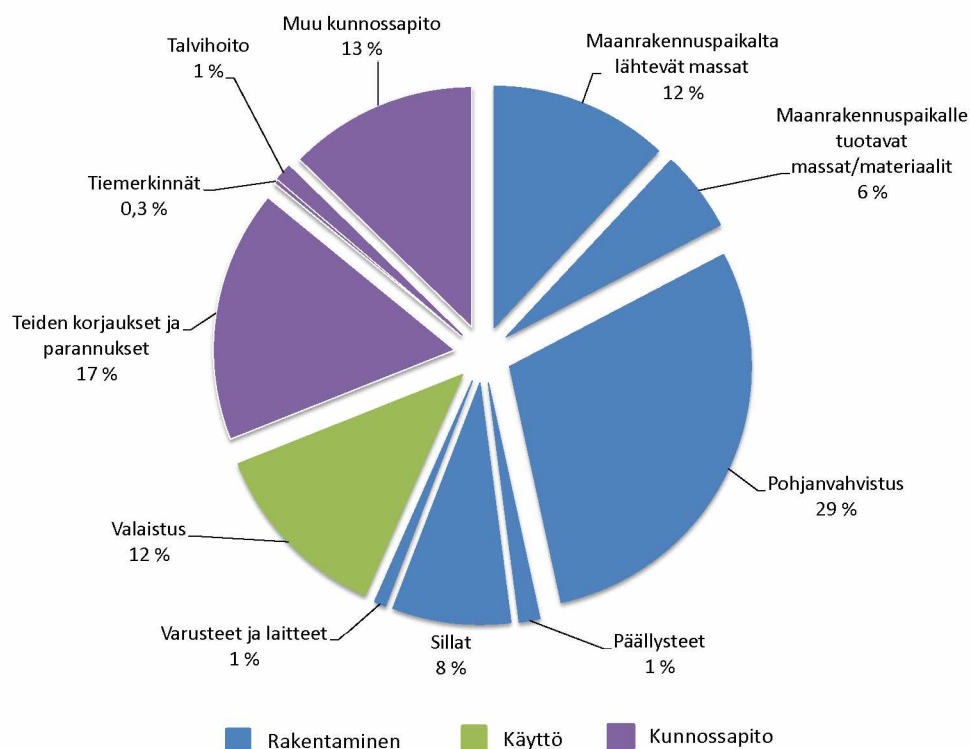
**Rajaukset.** Palvelualueet rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. Muovisia sadevesikaivoja on tarkasteltavalla tieosuudella kaksi. Niiden valmistukseen kuluneen materiaalmäärän vähäisyydestä johtuen kaivoja ei otettu huomioon laskennassa. Päällysteen saumat, liimat ja muut merkitykseltään vähäiset alaprosessit rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. *Muuhun kunnossapitoon* luettiin *liikenneympäristön hoito ja parantaminen* sekä *varusteiden, laitteiden ja siltojen ylläpito*. *Tierakenteiden korjaus, sorateiden hoito ja talvihoitoon* kuuluva *tasaus* rajattiin tarkastelun ulkopuolelle, sillä ne eivät kuulu moottoritien osalta tienpitoon.

### 3.3.2 Tulokset

Ominaispäästöt tarkastellulle moottoritieosuudelle ovat arvion mukaan noin 46 tCO<sub>2</sub>/km/v. CO<sub>2</sub>-päästöt 100 vuoden tarkastelujaksolla ovat yhteensä noin 102 000 tonnia. Kilometriä kohden päästöt ovat samalla aikavälillä noin 4 600 tonnia.

Päästöjen jakautuminen prosesseittain on esitetty kuvassa 3. Prosesseista pohjanvahvistus, teiden korjaukset ja parannukset sekä muu kunnossapito aiheuttavat 60 % tienpidon kokonaispäästöistä.

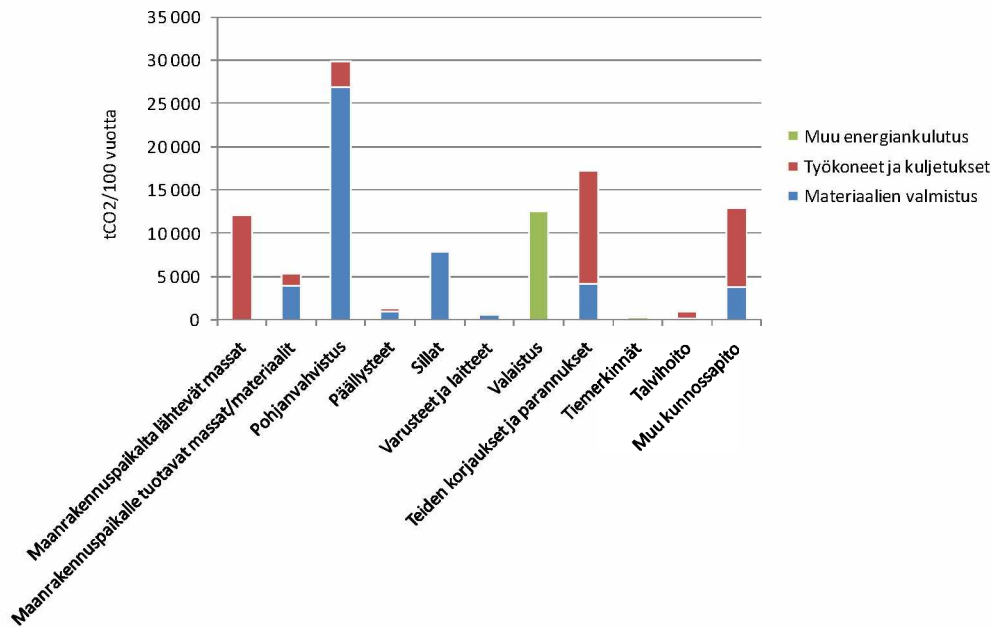
Pohjanvahvistus on tässä suurin yksittäinen päästölähde. Noin 90 % pohjanvahvistuksen päästöistä syntyy materiaalien valmistuksen aikana, ja tästä voidaan edelleen erottaa suurimmaksi tekijäksi betonin valmistus. Betonia kului tarkasteltavalla tieosuudella pengerpaaluihin ja paalulaattoihin rakennusvaiheessa suuri määrä (lähes 100 000 tonnia), mikä on tyypillistä, kun tie rakennetaan pehmeälle maalle (LVM, 2005).



Kuva 3. Päästöjen jakautuminen prosesseittain moottoritien (Jutikkala–Kulju) tienpidossa.

Elinkaaren pääprosesseittain jaoteltuna noin 57 % päästöistä syntyy rakentamisvaiheessa, noin 12 % käytössä ja noin 31 % kunnossapidossa.

Päästöt voidaan jaotella myös materiaaliperäisiin, työkonien ja kuljetusvälineiden käytöstä aiheutuviin sekä käytön aikaisesta energiankulutuksesta aiheutuviin päästöihin. Tässä jaottelussa materiaalien valmistuksen aiheuttamat päästöt kattavat 49 % kokonaispäästöistä, työkonet ja kuljetukset 39 % ja valaistus 12 %. Kokonaispäästöjen jakautuminen prosesseittain päästöjen alkuperän mukaan on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Päästöjen jakautuminen prosesseittain moottoritien (Jutikkala–Kulju) tienpidossa päästöjen alkuperän mukaan.

Tulosta verrattiin ruotsalaiseen vuonna 2001 julkaistuun tienpidon elinkaari-vaikutuksia käsitelleeseen tutkimukseen (Stripple, 2001). Siinä tarkasteltiin 13 m leveää tietä, jonka liikennemäärä oli 5000 ajoneuvoa/vrk ja tarkastelujakso 40 vuotta. Jos kyseisen tutkimuksen tuloksen muuntaa 100 vuoden jaksolle, ominaispäästökseen saadaan noin 23 tCO<sub>2</sub>/km/v. Muunnos voidaan tehdä siten, että rakentamisen päästöt (tCO<sub>2</sub>/km) käsitellään sellaisinaan ja käytön ja kunnossapidon päästöt (tCO<sub>2</sub>/km/40 v) kerrotaan aikavälien suhteella 100/40. Tulos on puolet tässä työssä lasketuista moottoritien ominaispäästöistä. Tulokset ovat samankaltaiset, kun ottaa huomioon erot teiden leveyksissä (23,5 m ja 13 m) ja liikennemäärissä, jotka ovat moottoritienellä paljon suuremmat kuin ruotsalaisen vertailulaskelman tiellä ja tarkoittavat siten muun muassa useammin tapahtuvaa päällysteen uusimista.

## 3.4 Case 2: valtatie Hanko–Skogby

### 3.4.1 Lähtötiedot, oletukset, rajaukset

**Lähtötiedot.** Valtatiet edustavat Suomessa ylintä ja vilkasliikenteisintä tieluokkaa. Tarkasteltavan valtatieosuuden (VT25) pituus on 20,7 km. Päällysteen leveys on keskimäärin 10 m. Tielinjaus on lähes koko matkaltaan I-luokan pohjavesialueella. Valtatien tierakenne käsittää tässä ennen vuotta 2000 olleen rakenteen sekä viimeisimmän, vuonna 2001 tehdyn perusparannuksen ja uudelleenlinjauksen. Samassa yhteydessä tehtiin paikallisteitä 1,4 km ja kevyen liikenteen väyliä 6,2 km sekä yksityisteitä 5,7 km. (LVM, 2005)

Pohjanvahvistuksen yhteydessä tehtiin massanvaihto 12 %:lle tien pituudesta (LVM, 2005), jolloin tämä matka (2,5 km) tasoitettiin ja tiivistettiin maajyrällä. Moottoritien rakentamisprosessista poiketen kaikki asfaltinvalmistuksessa käytetty murske tuotiin tienrakennuspaikan ulkopuolelta.

Valtatieosuudella on neljä siltaa. Lähtötiedot siltojen osalta ovat kattavammat kuin moottoritien tapauksessa. Eroteltuina ovat muun muassa päällysrakenteet, rauditus ja päällysteet. Tienrakennuksessa käytettävistä varusteista ja laitteista otettiin huomioon tässä tarkastelussa moottoritielaskennasta poiketen valaisinpylväiden lisäksi myös valaisinten ja lamppujen valmistuksen ja kuljetusten vaikutukset, koska tässä tapauksessa yksityiskohtaista tietoa oli saatavilla. Laskelman avulla varmistettiin myös oletus, jonka mukaan valaisimilla ja lampuilla ei ole merkitystä kokonaishiilijalanjäljen kannalta. Valaistuksen vuotuinen sähkönkulutus tarkastellulla tieosuudella on noin 300 MWh (LVM, 2005).

Tiemaalien ja -massojen valmistuksen energiankulutus koko tarkastelujaksolla on noin 0,5 GWh. Auraukseen, hiekoitukseen ja suolaukseen käytetään kunnossapitokalustoa, jonka yhteenlasketun vuotuisen polttoaineen kulutuksen on arvioitu olevan 480 litraa. (LVM, 2005)

**Oletukset.** Väylän leveyden oletettiin olevan kaksinkertainen päällysteen leveyteen verrattuna. *Maanrakennus*-prosessin oletukset olivat samat kuin moottoritien tapauksessa. Kaapelikaivantoja ei oletettu olevan, sillä lähtötiedoissa on oletettu kaikkien kaapeleiden olevan ilmajohtoja.

Päällyste uusitaan remix-tekniikkaa käyttäen 20 vuoden välein, mutta kuitenkin siten, että ensimmäinen remix-päällyste tehdään 10 vuoden kuluttua tarkastelujakson alkamisesta. Uusi laattapäällyste (LTA) tehdään samaten joka 20. vuosi siten, että remix ja LTA vuorottelevat (LVM, 2005). Yhteensä sekä remix- että laattapäällystys oletetaan siis tehtävän 100 vuoden aikana viisi kertaa. Kuten moottoriteiden tapauksessa, oletettiin tiemerkinnot uusittavan seitsemän vuoden välein eli yhteensä 14 kertaa tarkastellulla aikavälillä.

**Rajaukset.** Sadeveden siirtämiseen käytettävien pumppauslaitteiden valmistukseen kuluu vähän materiaalia. Siksi pumppaamoja ei otettu huomioon laskennassa. *Talvihoidon* osalta valtatiellä otettiin huomioon auraus, hiekoitus ja suolaus (ei tasausta).

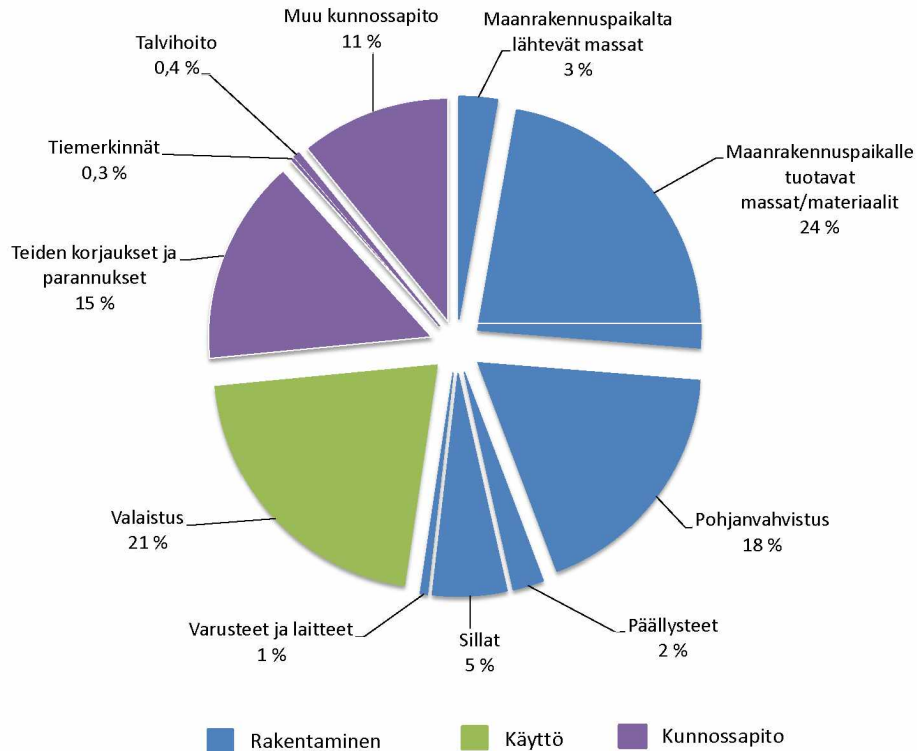
### 3.4.2 Tulokset

Ominaispäästöt tarkastellulle valtatieosuudelle ovat noin **18 tCO<sub>2</sub>/km/v**. Sadan vuoden tarkastelujaksolla hiilidioksidipäästöt ovat yhteensä noin 37 000 tonnia. Kilometriä kohden päästöt ovat samalla aikavälillä noin 1 800 tonnia.

Valtateiden osalta paikallis- ja yksityistiet voidaan erottaa valtatieen rakennuksen lähtötiedoista toisin kuin moottoritien tapauksessa, jossa näiden vaikutus kokonaisuuteen on marginaalinen. Valtatieen osalta näiden pienten teiden vaikutus on noin 3 % valtatiepidon kokonaispäästöistä. Tämä vaikutus rajattiin ulos ja vähennettiin tuloksista, jotta case-tarkasteluiden vertailukelpoisuus säilyisi.

Valtatie-casen päästöjen jakautuminen prosesseittain on esitetty kuvassa 5. Jakauma eroaa jonkin verran moottoritien vastaavasta. Esimerkiksi *maanrakennuksessa tuotavat massat/materiaalit* -prosessin merkitys korostuu, sillä pohjavedensuojaus on tällä tieosuudella tärkeä ja materiaaleja vaativa alaproessi. Myös valaistusta on tarkasteltavalla valtatiellä suhteellisesti enemmän kuin moottoritie-casen tieosuudella. Prosesseista *maanrakennuspaikalle tuotavat massat/materiaalit, pohjan-*

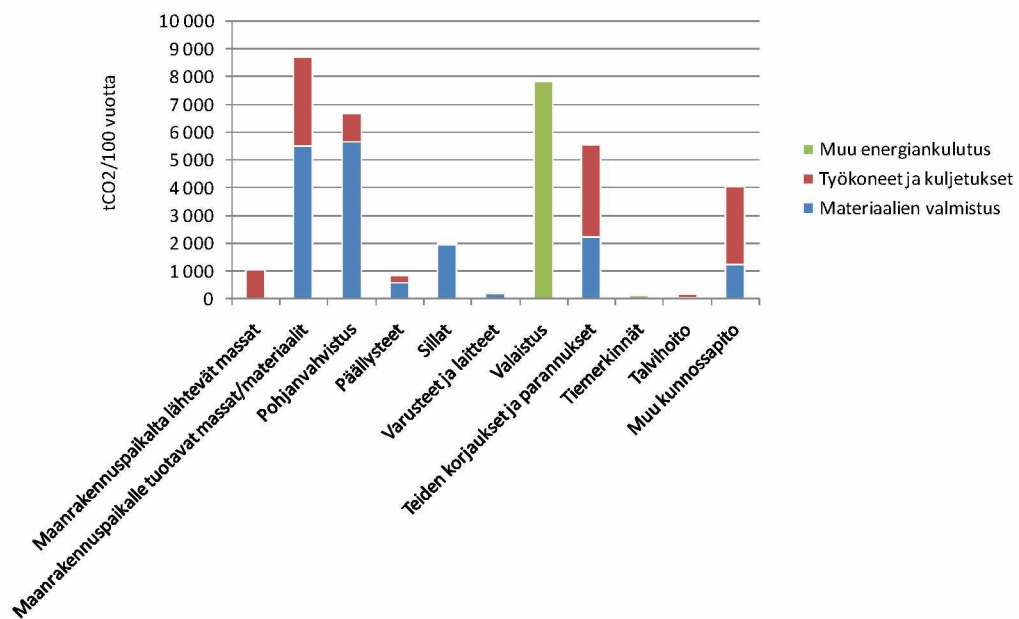
vahvistus, valaistus sekä teiden korjaukset ja parannukset aiheuttavat yli kolme neljäsosaa tienpidon kokonaispäästöistä.



Kuva 5. Päästöjen jakautuminen prosesseittain valtatie (Hanko–Skogby) tienpidossa.

Elinkaaren pääprosesseittain tarkasteltuna hieman yli puolet päästöistä syntyy rakentamisvaiheessa, noin 21 % käytöstä ja noin 27 % kunnossapidosta.

Alkuperätarkastelussa materiaalien valmistuksen aiheuttamat päästöt kattavat 47 % kokonaispäästöistä, työkoneet ja kuljetukset 32 % ja valaistus 21 %. Kokonaispäästöjen jakautuminen prosesseittain päästöjen alkuperän mukaan on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Päästöjen jakautuminen prosesseittain valtatie (Hanko–Skogby) tienpidossa päästöjen alkuperän mukaan.

## 3.5 Case 3: seututie Lapinlahti–Rautavaara

### 3.5.1 Lähtötiedot, oletukset, rajaukset

**Lähtötiedot.** Seututie on toiminnallisen tieluokituksen mukaisesti toiseksi alin tieluokka Suomessa. Tarkasteltava seututie 582 edustaa suhteellisen hyvin suomalaista seututietä ja sen rakennetta: tiellä on pehmeä asfalttikonipäällyste (PAB), tieleveys on tavanomainen ja tie poikkeaa taajamassa. Tarkasteltavan seututieosuuden pituus on 21,1 km ja päällysteen leveys keskimäärin 7,1 m. Tielinjan suuntausta (15,6 km vuonna 1983) ja rakennetta (5,5 km vuonna 1986) on parannettu. Viimeisin päällystystyö (LTA) on vuodelta 1993. Aikaisemmat toimenpiteet ajoittuvat 1960- ja 1970-luvuille. (LVM, 2005)

*Pohjanvahvistuksessa* massanvaihto tehtiin 9 %:lle tien pituudesta, jolloin tämä matka (1,9 km) tasoitettiin ja tiivistettiin maajyrällä. Seututien pohjanvahvistusprosessiin ei sisälly syvästabilointia, kuten moottoritien ja valtatie tapauksissa (LVM, 2005). Kaikki asfaltinvalmistuksessa käytetty murske tuotiin tienrakennuspaikan ulkopuolelta. Tielinjalta saatujen pengermassojen käsittely murskausta lukuun ottamatta kohdennettiin laskennassa *maanrakennuspaikalta lähtevät massat* -prosessille.

Päällystysprosessissa käytetään asfaltinlevittäjää ja asfalttijyriä. Jyrsintä tai kuumenninta ei käytetä seututeillä (Penttinen, 2011). Tiemerkinnoton tekemiseen käytettävien maalien valmistuksen energiankulutus koko tarkastelujaksolla oli noin 310 MWh (LVM, 2005).

Tarkastellulla seututieosuudella on kolme *siltaa*. Niiden osalta lähtötiedoissa ilmoitettiin käytetyn betonin, teräksen, graniitin ja mäntypuun määrät.

Kuten valtatie-casessa, *varusteiden ja laitteiden* osalta otettiin tässäkin tapauksessa huomioon sekä valaisinpylväät että valaisinten ja lamppujen valmistuksen ja kuljetuksen vaikutukset. Valaistuksen vuotuinen sähkönkulutus tarkastellulla tieosuudella on hieman yli 78 MWh. Talvihoitotoimenpiteiden tekemiseen käytetään kunnossapitokalustoa, jonka yhteenlasketun vuotuisen polttoaineen kulutuksen on arvioitu olevan noin 480 litraa. (LVM, 2005)

**Oletukset.** Väylän leveyden oletettiin olevan kaksinkertainen päällysteen leveyteen verrattuna. *Maanrakennuksessa* oletettiin, että kaikki maa- ja kallioleikkausmassat on hyödynnetty tienrakennuspaikalla (penkereet). Maanrakennusprosesseissa dumppereiden ajosuoritteiden oletettiin vastaavan 10 %:a maansiirtoautojen suoritteesta. *Pohjanvahvistuksessa* dumppereiden ajosuoritteiden oletettiin vastaavan 5 %:a maansiirtoautojen suoritteesta. Kaapelikaivantoja ei oletettu olevan, sillä lähtötiedoissa on oletettu kaikkien kaapeleiden olevan ilmajohtoja.

Päällyste uusitaan remix-tekniikkaa käyttäen 15 vuoden välein. Tierakenteen parantaminen ja uusi laattapäällyste (LTA) tehdään noin joka 30. vuosi. (LVM, 2005) Yhteensä 100 vuoden aikana oletetaan siis tehtävän neljä remix-päällystystä sekä kolme tierakenteen parannusta ja laattapäällystystä.

**Rajaukset.** Tierumpujen ja viemäröintilaitteiden valmistukseen kuluneen materiaalmäärän vähäisyydestä johtuen näitä ei otettu huomioon laskennassa. Puumateriaalien osalta (siltojen rakennus) tarkastelussa otettiin huomioon pelkästään kuljetus. *Talvihoidon* osalta seututiellä otettiin huomioon auraus, hiekoitus ja tasaus (ei suolausta).

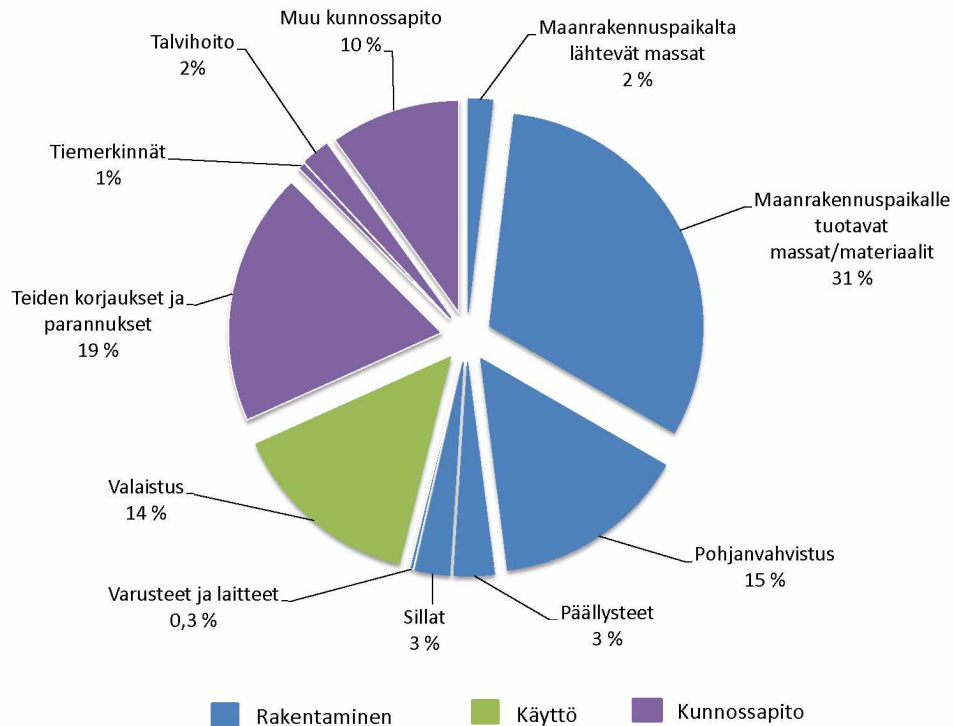
*Muuhun kunnossapitoon* luetaan *liikenneympäristön hoito ja parantaminen* sekä *varusteiden, laitteiden ja siltojen ylläpito*. *Sorateiden hoito* rajattiin tarkastelun ulkopuolelle, sillä se ei kuulu case-tapauksen osalta tienpitoon.

### 3.5.2 Tulokset

Ominaispäästöt tarkastellulle seututieosuudelle ovat noin **7 tCO<sub>2</sub>/km/v**. Sadan vuoden tarkastelujaksolla hiilidioksidipäästöt ovat yhteensä noin 14 000 tonnia. Kilometriä kohden päästöt ovat samalla aikavälillä noin 670 tonnia.

Päästöjen jakautuminen prosesseittain on esitetty kuvassa 7. Jakauma on lähempänä valtatieä kuin moottoritietä. Esimerkiksi maanrakennuksessa *tuotavat massat/materiaalit* -prosessin päästövaikutus on monin verroin *lähtevät massat* -prosessia suurempi, sillä kaikki maa- ja kallioleikkausmassat oletettiin käytettävän tienrakennuspaikalla, mikä vähentää kuljetuskaluston käyttöä. Prosesseista *maanrakennuspaikalle tuotavat massat ja materiaalit*, *pohjanvahvistus*, *valaistus* sekä *teiden korjaukset ja parannukset* aiheuttavat noin 80 % tienpidon kokonaispäästöistä.

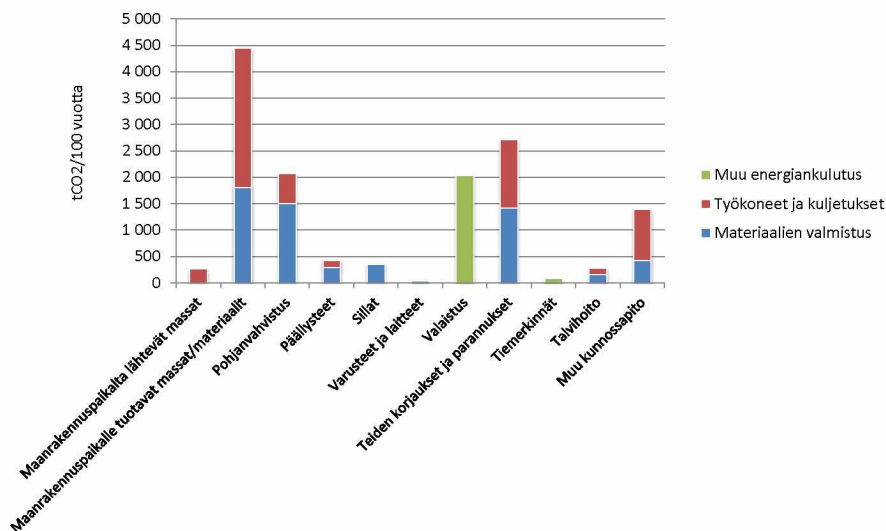




Kuva 7. Päästöjen jakautuminen prosesseittain seututien (Lapinlahti–Rautavaara) tienpidossa.

Elinkaaren pääprosesseittain tarkasteltuna noin 54 % päästöistä syntyy rakentamisvaiheessa, 14 % käytössä ja noin 32 % kunnossapidossa.

Alkuperätarkastelussa materiaalien valmistuksen aiheuttamat päästöt kattavat 41 % kokonaispäästöistä, työkoneet ja kuljetukset noin 45 % ja valaistus noin 14 %. Kokonaispäästöjen jakautuminen prosesseittain päästöjen alkuperän mukaan on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Päästöjen jakautuminen prosesseittain seututien (Lapinlahti–Rautavaara) tienpidossa päästöjen alkuperän mukaan.

## 3.6 Case 4: yhdystie Tammikosken paikallistie

### 3.6.1 Lähtötiedot, oletukset, rajaukset

**Lähtötiedot.** Yhdystie on toiminnallisen tieluokituksen mukaisesti alin tieluokka Suomessa. Tarkasteltava yhdystie 14349 edustaa rakenteensa puolesta suhteellisen hyvin suomalaista yhdystietä. Tielinjaus kulkee maastonmuotojen mukaan, ja tien rakenne on yksinkertainen. Tutkittava yhdystie on kokoojatie, joka välittää poikittaista liikennettä kahden suuremman maantien välillä. Tutkittavan yhdystien pituus on noin 8,9 km ja päällysteen leveys keskimäärin 7,1 m. Tie oli perusparantamatonta soratietä vuoteen 1999 asti. Vuosina 1999–2001 tietä parannettiin poistamalla routakohoumat, maakivet ja muut vauriot. Samalla parannettiin tien suuntausta 131 m ja tien tasausta 860 m. Tie sai samalla uuden PAB-päällysteen. (LVM, 2005)

*Pohjanvahvistuksessa* massanvaihto tehtiin 5 %:lle tien pituudesta, jolloin tämä matka (400 m) tasoitettiin ja tiivistettiin maajyrällä. Yhdystien pohjanvahvistusprosessiin ei sisälly syvästabilointia, kuten moottoritien ja valtatie tapauksissa. Kaikki asfaltinvalmistuksessa käytetty murske tuotiin tienrakennuspaikan ulkopuolelta. (LVM, 2005) Jyrsintä tai kuumenninta ei yhdystiellä käytetä (Penttinen, 2005).

*Siltoja* tarkastellulla yhdystieosuudella ei ole. Tieosuudella ei myöskään ole valaistusta eikä näin ollen maakaapeleita tai ilmajohtoja, joten tienpidolle ei muodostu käytönaikaisia päästövaikutuksia. Tiemerkitöihin käytettävien maalien valmistuksen energiankulutus koko tarkastelujaksolla oli noin 130 MWh. Talvihoitoon käytetään kunnossapitokalustoa, jonka yhteenlasketun vuotuisen polttoaineen kulutuksen on arvioitu olevan noin 80 litraa. (LVM, 2005)

**Oletukset.** Väylän leveyden oletettiin olevan kaksinkertainen päällysteen leveyteen verrattuna. Kuten seututien tapauksessa, myös yhdystiellä oletettiin, että kaikki maa- ja kalliroleikkausmassat on hyödynnetty tienrakennuspaikalla. Dumpperien ajosuoritteeseen pätevät niin ikään samat oletukset kuin seututien tapauksessa.

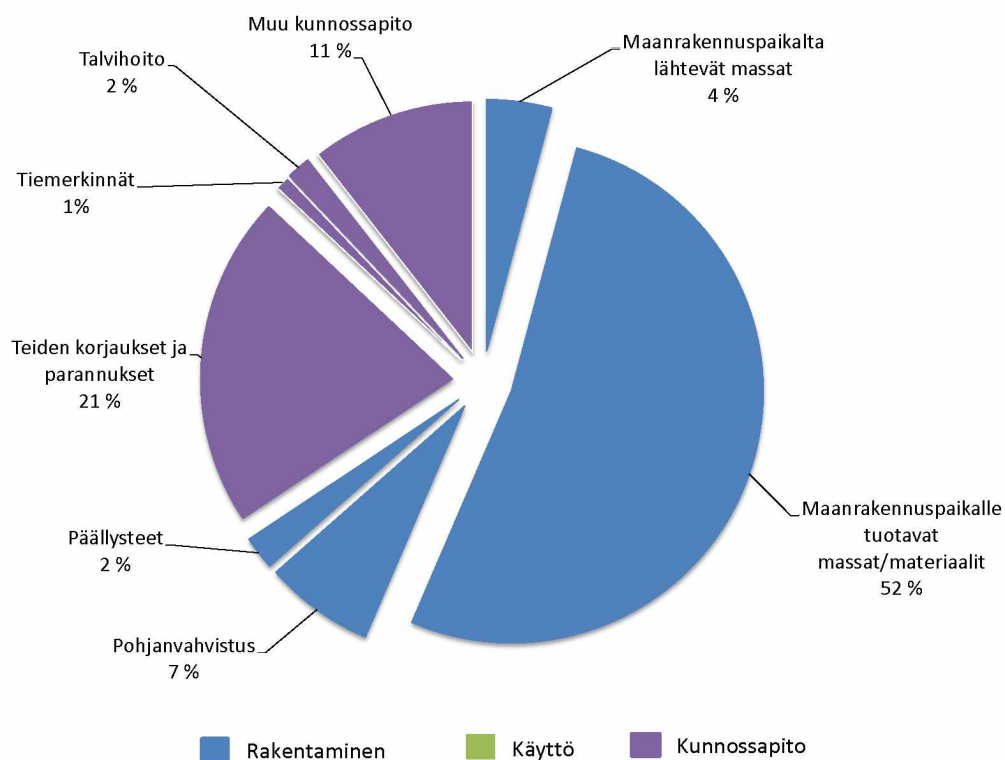
Päällyste (PAB) uusitaan 20 vuoden välein. Tierakennetta parannetaan ja uusi laattapäällyste (LTA) tehdään noin joka 40. vuosi. (LVM, 2005) Oletuksena on päällysteen uusiminen kolme kertaa sekä tierakenteen parantaminen ja laattapäällystys kaksi kertaa 100 vuoden aikana.

**Rajaukset.** Liikennemerkkejä on lähtötietojen mukaan alle 10, joten ne rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. *Talvihoito* ja *muu kunnossapito* on yhdystiellä samankaltaista kuin seututiellä.

### 3.6.2 Tulokset

Ominaispäästöt tarkastellulle yhdystieosuudelle ovat noin **4 tCO<sub>2</sub>/km/v**. Sadan vuoden tarkastelujaksolla hiilidioksidipäästöt ovat yhteensä noin 3 600 tonnia. Kilometriä kohden päästöt ovat samalla aikavälillä noin 410 tonnia.

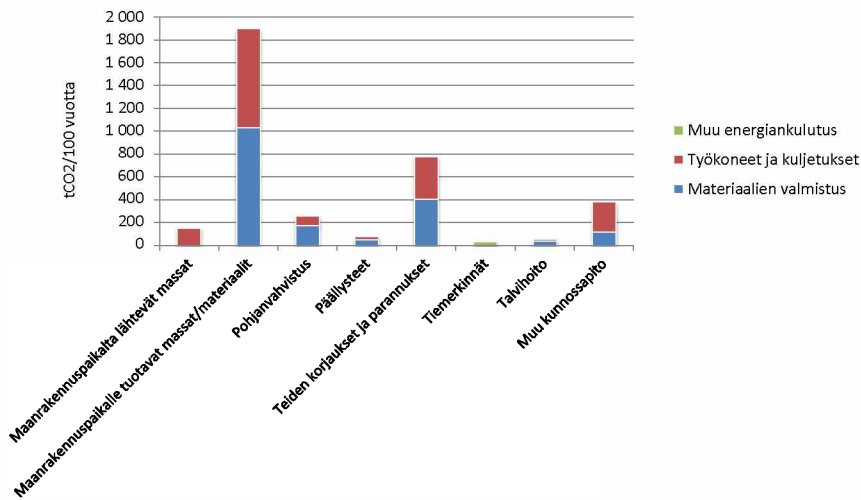
Päästöjen jakautuminen prosesseittain on esitetty kuvassa 9. Jakauma eroaa selvästi muista tarkastelun tietyyypeistä. Maanrakennusprosessit kattavat yksistään yli puolet tienpidon kokonaispäästöistä. Tämä on ominaista yhdysteille, joiden tyypillisesti alhainen käyttöaste minimoi muun muassa valaistuksen ja kunnossapidon tarpeen. Prosesseista maanrakennus sekä teiden korjaukset ja parannukset aiheuttavat noin kolme neljäsosaa tienpidon kokonaispäästöistä tarkastelun aikavälillä.



Kuva 9. Päästöjen jakautuminen prosesseittain yhdystien (Tammikosken paikallistie) tienpidossa.

Elinkaaritarkastelun pääprosesseittain jaoteltuna noin 65 % päästöistä syntyy yhdystien rakentamisvaiheessa ja 35 % kunnossapidosta. Käytönaikaisia päästöjä tienpidossa ei synny, koska tieosuus on valaisematon.

Päästöjen alkuperäjaottelussa materiaalien valmistus tuottaa noin puolet kokonaispäästöistä ja työkoneet ja kuljetukset jokseenkin saman verran. Kokonaispäästöjen jakautuminen prosesseittain päästöjen alkuperän mukaan on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Päästöjen jakautuminen prosesseittain yhdystien (Tammikosken paikallistie) tienpidossa päästöjen alkuperän mukaan.

## 3.7 Case-vertailu

### 3.7.1 Case-laskelmien tulosten vertailu

Taulukossa 1 on esitetty kaikkien tienpidon case-laskelmien tulokset koko 100 vuoden tarkastelujaksolla sekä tieosuuden pituuteen suhteutetut luvut tarkastelujaksolla ja vuotta kohti. Lisäksi taulukkoon on kerätty tiedot päästöjen jakautumisesta rakentamiseen, käyttöön ja kunnossapitoon.

Taulukko 1. Tienpidon case-laskelmien tulokset.

Tietyyppi/osuus	Elinkaari, 100v.				Päästöt per tie-km (tCO <sub>2</sub> /km)	Päästöt per vuosi (tCO <sub>2</sub> /v)	Päästöt per tie-km per vuosi (tCO <sub>2</sub> /km/v)
	Päästöt 100v. (tCO <sub>2</sub> )	Rakennus (%)	Käyttö (%)	Kunnossapito (%)			
<b>Moottoritie</b> (Jutikkala-Kulju: 22 km)	101 945	57 %	12 %	31 %	4 634	1 019	<b>46</b>
<b>Valtatie</b> (Hanko-Skogby: 20,7 km)	37 049	52 %	21 %	27 %	1 790	370	<b>18</b>
<b>Seututie</b> (Lapinlahti-Rautavaara: 21,1 km)	14 109	54 %	14 %	32 %	668	141	<b>7</b>
<b>Yhdystie</b> (Tammikosken paikallistie: 8,9 km)	3 636	66 %	0 %	34 %	410	36	<b>4</b>

Case-laskelmien ominaispäästöjä (tCO<sub>2</sub>/km/v) vertailtaessa havaitaan, että moottoritien tienpidosta aiheutuva ilmastovaikutus on selkeästi suurin: noin 2,5-kertainen valtatiehen ja yli kymmenkertainen yhdystiehen verrattuna. Tämä selittyy tien kuormituksella eli vuorokausiliikenteen määrällä: mitä suurempi kuormitus tien rakenteeseen kohdistuu, sitä järeämmäksi tie on rakennettava. Vuorokausiliikenteen määrällä on myös suora yhteys kunnossapitoon eli päällysteiden korjausten ja

uusimisten aikaväleihin sekä yleiseen liikenneympäristön hoitoon. Moottoritien suurin yksittäinen päästölähde on pohjanvahvistus ja etenkin tämän sisältämä paalutus. Paalutus aiheuttaa suuret päästöt sekä betonin valmistuksen että paalumateriaalin kuljetuksien aikana.

Tarkastellulla valtatieosuudella (Hanko–Skogby) maanrakennuksen merkitys korostuu. Pohjavedensuojaus on tällä tieosuudella tärkeä ja materiaaleja vaativa alaprosessi, sillä tielinjaus on lähes koko matkaltaan I-luokan pohjavesialueella. Muita merkittäviä päästölähteitä ovat pohjanvahvistus sekä valaistus, jonka vaikutus valtatieosuudella on suhteellisesti suurempi kuin tarkastellulla moottoritieosuudella (Jutikkala–Kulju). Muutoin valtatie ja moottoritie ovat rakenteeltaan pääosin hyvin lähellä toisiaan.

Seututiellä (Lapinlahti–Rautavaara) päästöt pääprosesseittain jakautuvat lähes samalla tavalla kuin moottoritieellä. Maanrakennuksessa *tuotavat massat/materiaalit* -prosessin päästövaikutus on monin verroin *lähtevät massat* -prosessia suurempi, sillä kaikki maa- ja kalliroleikkausmassat oletettiin käytettävän tienrakennuspaikalla, mikä vähentää kuljetuskaluston käyttöä.

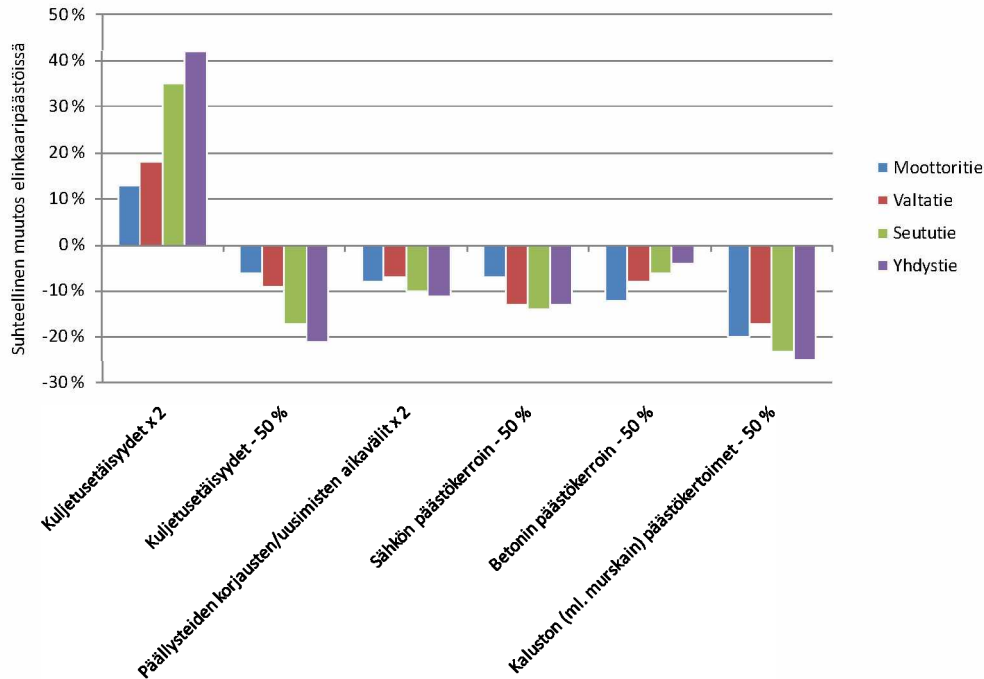
Yhdystie (Tammikosken paikallistie) eroaa selvästi muista tarkastelun tietyyypeistä, sillä yli puolet sen elinkaari päästöistä syntyy maanrakennusprosesseissa. Lisäksi tarkasteltavalla yhdystiellä ei ole lainkaan valaistusta, jolloin tienpidossa ei synny käytönaikaisia päästöjä. Tästä johtuen työkoneiden ja kuljetusten osuus päästöjen alkuperän mukaan jaotelluista kokonaispäästöistä kasvaa suuremmaksi kuin muissa tietyyypeissä ja on jotakuinkin samansuuruinen kuin materiaalien valmistuksen päästövaikutus. Tammikosken paikallistie edustaa hyvin yhdystietä, jonka tyyppillisesti alhainen käyttöaste minimoi valaistuksen ja kunnossapidon tarpeen.

### 3.7.2 Herkkyysanalyysi

Laskennassa tehtiin useita oletuksia. Oletukset, joilla voidaan olettaa olevan suurin vaikutus laskennan lopputulokseen ja joille on mielekästä tehdä herkkyysanalyysi, ovat:

- maamassojen ja materiaalien kuljetusetäisyydet
- päällysteiden korjausten ja uusimisten aikavälit
- keskeiset päästökertoimet

Kuljetusetäisyyksien osalta tarkasteltiin tilannetta, jossa kuljetusetäisyydet olivat kaksinkertaisia case-laskelmiin verrattuina, koska niiden kohdalla on täysin mahdollista, että todelliset etäisyydet olivat selvästi pidempiä kuin laskelmissa käytetyt 50 km ja 20 km. Kuvasta 11 nähdään, että kuljetusetäisyyksien sekä kaluston (kuljetuskalusto ja työkoneet) päästökertoimien muutoksilla on pääsääntöisesti suurin vaikutus kokonaispäästöihin. Kuvan perusteella voidaan todeta, että yhdystie on pääsääntöisesti herkin tietyyppi tarkasteltujen parametrien muutoksille.



Kuva 11. Ominaispäästöjen herkkyysanalyysi, tienpito.

### 3.7.3 Johtopäätökset

Tässä hankkeessa tarkasteltiin kokonaisvaltaisesti moottori-, valta-, seutu- ja yhdysteiden tienpidon prosesseja ja niiden aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä, mikä teki mahdolliseksi niiden tärkeimpien päästölähteiden tunnistamisen sekä tietyppien välisen vertailun.

Case-laskelmien tulosten ja herkkyysanalyysin perusteella voidaan todeta, että tienpidon hiilijalanjälkeen vaikuttavat eniten materiaalien valmistuksessa syntyneet päästöt. Etenkin paalujen, meluaitojen ja siltojen raaka-aineena käytetään huomattavat määrät betonia, jonka valmistus ja kuljetus tienrakennuspaikalle aiheuttavat suhteellisen suuret päästövaikutukset. Myös erilaisilla muoveilla ja esimerkiksi alumiinilla on korkea päästökerroin, mutta näiden käyttö tienpidossa on marginaalista verrattuna betoniin. Sähkön päästökerroin vaikuttaa sekä tievalaistuksen että monien materiaalien valmistuksen aiheuttamiin päästöihin. Sen suhteellinen merkitys tienpidon elinkaari päästöissä korostuu, mikäli tienrakennus ei sisällä merkittävää maanmuokkausta ja maansiirtotyötä.

Tien- ja radanpidon hiilidioksidipäästöihin voidaan vaikuttaa teoriassa tehokkaimmin materiaalivalintojen ja valmistusprosessien kehittämisen kautta. Niissä on kuitenkin niukasti helppoja ratkaisuja, sillä korvaavia materiaaleja ei juuri ole ja valmistusprosessien tehostamisessa tehdään harvoin läpimurtoja. Vaikuttamalla materiaalihankintojen kuljetusekäisyyksiin ja kunnossapidon tehostamiseen voidaan saada aikaan huomattavia päästövähennyksiä. Suurin teoreettinen potentiaali kunnossapidon tehostamiseen on päällysteiden ja rakenteiden parantamisprosesseissa ja liikenneympäristön hoidossa. Näiden vähentäminen tai keventäminen on kuitenkin suoraan verrannollinen tienkäytön turvallisuuteen, joten käytännössä mahdollisuudet vähentää tienpidon päästöjä näillä keinoilla ovat rajalliset.

## 4 Radanpidon case-laskelmat

Suomessa radanpidon päästövaikutuksia ei ole aiemmin tutkittu. RautatieMIPS-tutkimukset (Vihermaa et al., 2005) ovat luoneet pohjaa arvioinnille selvittämällä tiettyjen rataosuuksien materiaalipanoksia. Ulkomailla tutkimuksia on tehty esimerkiksi Ruotsissa Botnia Linen (Stripple ja Uppenbergh, 2010) sekä Norrbotniabanan (Phillips, 2006) päästövaikutuksista. Ranskassa on tehty Rhine–Rhone-radnan hiilijalanjälkiselvitys (Objectif Carbone, Altern Consult ja Inexia, 2009). Sveitsissä on tehty UIC:n teettämä esiselvitys suurten nopeuksien rautatiejärjestelmän päästövaikutuksista (Tuchschnid, 2009).

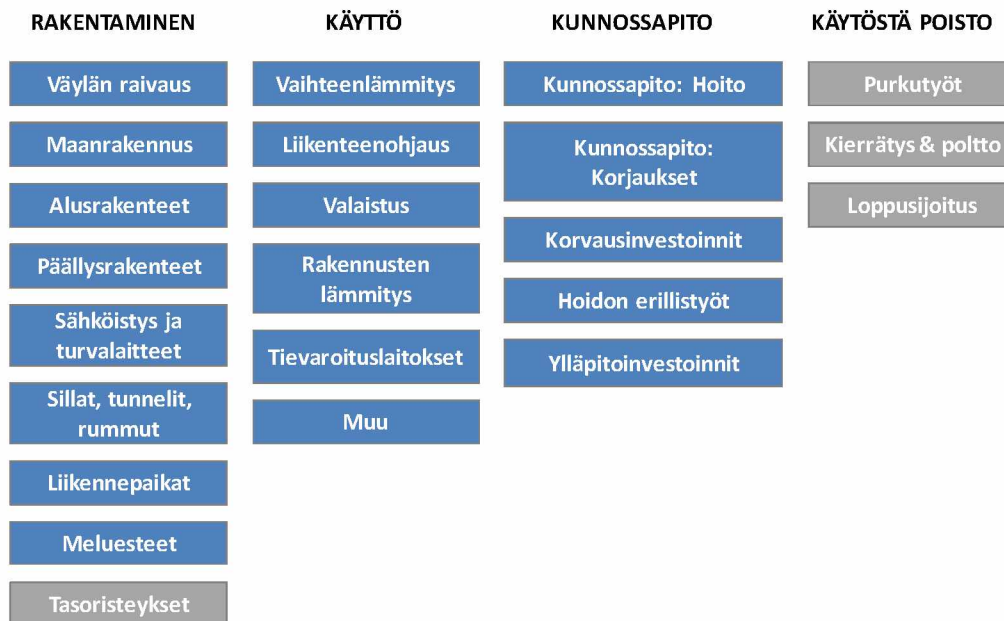
Tässä työssä käytettiin lähtötietoina RautatieMIPS-selvitystä ja vuosina 2007–2011 julkaistuja elinkaariselvityksiä (RHK, 2008a; Saastamoinen, Ahtiainen, Korhonen, 2010; Hirvaskari, 2007; Nurminiemi et al., 2011a; Nurminiemi et al., 2011b; Nurminiemi et al., 2011c, Karjalainen, Riihinen ja Riikonen, 2008). Lisäksi lähtötietoja kerättiin Liikenneviraston ja VR:n asiantuntijoita haastattelemalla.

Case-kohteiksi valittiin neljä rataosuutta ja kolme ratapihaa: Kerava–Lahti-oikorata, Kouvola–Pieksämäki, Savonlinna–Huutokoski, Kontiomäki–Ämmänsaari, Kemijärven ratapiha, Toijalan ratapiha ja Tampereen ratapiha (sisältäen sekä henkilö- että tavararatapihat). Näiden katsottiin edustavan riittävän hyvin erilaisia ratatyyppejä, eri-ikäisiä rakennustekniikoita ja ratapihojen kokoja.

Tässä luvussa esitellään radanpidon prosessit, laskennassa käytetyt yleiset oletukset sekä kohdekohtaiset lähtötiedot, oletukset, rajaukset, tulokset sekä tuloksiin liittyvä epävarmuus.

### 4.1 Radanpidon prosessit

Radanpidon prosessit jaettiin neljään pääryhmään elinkaariajattelun mukaisesti: *rakentaminen, käyttö, kunnossapito* sekä *käytöstä poisto*. Pääryhmät jaettiin edelleen kuvan 12 esittämällä tavalla. Tarkasteluun otettiin mukaan vain sellaiset radanpitoon liittyvät prosessit, joilla on tai voitiin etukäteen olettaa olevan merkitystä kokonaishiilijalanjäljen muodostumisessa.



Kuva 12. Radanpidon prosessijaottelu (harmaalla merkityt prosessit rajattiin laskelmien ulkopuolelle).

### Rakentaminen

**Väylän raivaus** -prosessi sisältää rakennusvaiheessa raivattavan puubiomassan hakkuun, käsittelyn ja kuljetuksen pois radanrakennuspaikalta. Prosessissa ei otettu huomioon päästöjä, joita aiheutuu väylän tiellä olevien rakennusten tai muiden esteiden purkutöistä tai maa- ja ilmakaapeleiden sijainnin selvityksestä ja uudelleen reitityksestä.

**Maanrakennus**-prosessissa otettiin huomioon maaleikkaukset, massanvaihdot, paalutukset, kalliioleikkaukset, kalliioleikkausmateriaalien murskaus, maapenkereiden ja louhepenkereiden rakentaminen, maisemointi ja meluvallien rakentaminen sekä huoltoteiden ja niskaojien rakentaminen.

**Alusrakenteet**-prosessi koostuu radan alusrakenteisiin tarvittavien materiaalien valmistuksesta, kuljetuksesta ja käsittelystä. Lisäksi pohjaveden suojaukseen liittyvät materiaalit (suojakankaat, bentoniittimatot) ja asennustyöt sekä routalevyt ja niiden asennus otettiin huomioon niiltä osin kuin niitä esiintyy case-rataosuuksilla.

**Päällysrakenteet**-prosessissa otettiin huomioon radan päällysrakenteen komponenteissa käytettyjen materiaalien valmistus (teräskiskot, betoni- ja puupölkyt, vaihdelementtien teräsosat ja pölkyt sekä sepelistä tai sorasta muodostuva tukikerros), komponenttien kuljetukset rakennuspaikalle sekä niiden asennus radalle sisältäen myös ratatyökoneiden polttoainekulutuksesta aiheutuvat päästöt.

**Sähköistys ja turvalaitteet** -prosessi sisältää radan sähköistämiseen liittyvien materiaalien valmistuksen, kuljetukset sekä asennukset. Tähän kuuluvat sähköistuksen vaatimien rakenteiden lisäksi myös kaapelikanavat. Sähköistys niiden rataosuuksien osalta, jotka ovat sähköistettyjä, sisältää teräspylvää, betoniset pylvään perustukset, teräksisen kääntöorren, ohjaimen, ajolangan, kannattimen, ripustimen,



M-johtimen, paalujohtimen sekä muuntajat. Turvalaitteista otettiin huomioon ainoastaan asetinlaitteet, opastimet ja baliisit.

**Sillat, tunnelit ja rummut** -prosessissa otettiin huomioon rakennusmateriaalien valmistus (pääosin betoni ja teräs), materiaalien kuljetus ja käsittely sekä rakenteiden kokoaminen. Alikulku- ja ratasillat otettiin huomioon radanpidon laskennassa; ylikulkusiltojen katsottiin kuuluvan tienpitoon.

**Liikennepaikat** käsiteltiin kokonaisuudessaan ratapihojen yhteydessä, toisin sanoen case-rataosuuksista poistettiin liikennepaikat ja niiden päästövaikutukset. Tällä rajanvedolla vältettiin päällekkäisyydet koko maan kattavissa laskelmissa, sillä ratapiha-caset kattoivat liikennepaikat kokonaisuudessaan. Ratapihojen laskelmiin sisältyivät siis sekä pää- että sivuraiteet kaikkine rakenteineen sekä laiturialueet.

**Melusteet**-prosessissa otettiin huomioon ainoastaan radanvarsiaita, eli aidan valmistaminen, kuljetus sekä asennus. Muut penkereet ja maa-aineksista rakennetut vallit otettiin huomioon *maanrakennus*-prosessissa.

### **Käyttö**

Tässä pääprosessissa otettiin huomioon eri lähteistä aiheutuva sähkönkulutus. Nämä lähteet ja niiden jaottelu perustuvat RHK:n julkaisuun Sähkön kulutus- ja kustannustilasto 2009. Tarkastellut sähkönkulutuksen lähteet olivat: *vaihteenlämmitys, liikenteenohjaus, valaistus, rakennusten lämmitys, tievaroituslaitokset ja muu sähkönkulutus*.

### **Kunnossapito**

**Kunnossapito: hoito** -prosessiin sisältyvät koneelliset tarkastukset, määräaikaishuollot, viankorjaukset sekä lumityöt. Koneellisia tarkastuksia ovat muun muassa ultraäänitarkastukset ja aukean tilan ulottuman (ATU) tarkastukset. Lumitöissä otettiin huomioon ratakuorma-auton ja lumiharjan käyttö lumenaurauskalustona. Lisäksi otettiin huomioon hoitotöissä tarvittavien materiaalien valmistus, kuljetus, käsittely ja asennus.

**Kunnossapito: korjaukset** -prosessiin sisältyvät pölkkyjen hajavaihdot, kuluneiden kaarikiskojen vaihdot, vaihteen osien vaihdot sekä järjestelmien osien uusimiset. Näissäkin otettiin huomioon materiaalien valmistus, kuljetus, käsittely ja asennus.

**Korvausinvestoinnit** ovat kunnossapitotöitä, joita tehdään, kun radan rakenteet ja komponentit ovat saavuttaneet niille määritellyt enimmäiskäyttöiät. Korvausinvestointien yhteydessä rakenteita pyritään uudistamaan nykyaikaisen tekniikan mukaisiksi. Korvausinvestointien yhteydessä voidaan tehdä myös pohjanvahvistusta ja muita perusparannustoimenpiteitä.

**Hoidon erillistyöt** sisältävät kunnossapitotöitä, joita tehdään vain korvausinvestointien viivästyessä.

**Ylläpitoinvestointeihin** luokitellaan pienet, korvausinvestointien kaltaiset toimenpiteet, joilla pyritään palauttamaan radan rakenteita alkuperäisen mukaisiksi, myös esimerkiksi kierrätyskiskoja käyttämällä.

## 4.2 Laskennan yleiset oletukset

Kunkin rakentamisen ja kunnossapidon prosessin osalta laskettiin päästöt, jotka aiheutuvat materiaalien valmistuksesta, niiden kuljetuksesta radanrakennus- tai kunnossapitotyömaalle ja niiden käsittelystä ja/tai asentamisesta mukaan lukien erilaisten työkoneneiden käyttöä.

Laskennan yhdenmukaistamiseksi tehtiin joitakin yleisiä oletuksia, joita noudatettiin kaikissa case-tapauksissa. Oletukset liittyvät muun muassa materiaalien ja massojen kuljetusetäisyyksiin ja kuljetuskalustoon, käytettyihin työkoneluihin ja prosessien aikaisiin materiaalihäviöihin.

**Rataosuuksilla olevat ratapihat.** Koska rataosuuksilla olevien ratapihojen tarkkoja kilometrimääriä ei ollut tiedossa, ratapihojen oletettiin jakautuvan tasaisesti koko rataverkolle. Tämän oletuksen avulla päästiin käyttämään valtakunnallista suhdelukua case-rataosuuksilla olevien ratapihojen pääraidepituuden arvioimiseen: ratapihojen läpi kulkeva pääraidepituus, 630 km (Kantojärvi, 2011) per pääraiteiden kokonaispituus, 5919 km (Rautatietilasto, 2010). Tämä osuus vähennettiin kunkin rataosuuden pituudesta, jotta valtakunnan tason yleistyksessä välttyttiin päällekkäisyyksiltä.

**Kuljetusetäisyydet.** RautatieMIPS-tutkimuksen (Vihermaa, 2005) oletuksia (Kerava–Lahti) mukailen tässä työssä oletettiin kaikissa case-laskelmissa seuraavat kuljetusetäisyydet: rataväylältä pois vietävä puu ja maamassat rakennuspaikalle ja -paikalta 50 km, rataväylälle tuotava raidesepeli ja sora 40 km ja hiekka 25 km.

Muiden rataväylälle tuotavien materiaalien kuljetusetäisyydeksi oletettiin laskennassa 50 km silloin, kun ei ollut tarkempaa tietoa siitä, mistä materiaaleja on hankittu. Käytännössä kaikki muut materiaalit paitsi kiskot, pölkyt ja vaihteet oletettiin kuljetettavan radanrakennuspaikalle 50 km:n etäisyydeltä. Lisäksi turvalaitteiden kuljetusetäisyydeksi oletettiin 150 km, sillä niitä ei todennäköisesti ole saatavilla yhtä läheltä kuin esimerkiksi betonituotteita.

Kiskot hankitaan ulkomailta joko Espanjasta, Saksasta tai Tšekeistä (Virtanen, 2011). Vain Kerava–Lahti-oikoradan 120 m:n kiskot oletettiin hankituiksi Duisburgista; muiden case-laskelmien osalta oletettiin, että 50 m:n kiskot hankitaan Tšekeistä. Kierrätyskiskojen osalta oletettiin, että kunnostettavaksi kelpaava radasta vapautuva kiskomateriaali toimitetaan Kaipiaisten kiskohitsaamolle kunnostettavaksi (Virtanen, 2011).

Betonipölkyt oletettiin hankittavan joko Forssasta tai Siilinjärveltä radan rakennuspaikan sijainnista riippuen (Pasanen, 2011). Puupölkyt oletettiin hankittavan Haapamäeltä (Pasanen, 2011).

Vaihteiden osalta oletettiin, että kaikki 60 kg/m<sup>3</sup>-kiskopainon vaihteet kootaan Pieksämäellä ja kaikki 54 kg/m<sup>3</sup>-kiskopainon vaihteet sekä puupölkyiset elementit kootaan Kaipiaisissa (Pasanen, 2011). Laskennassa oletettiin, että kaikki 54 kg/m<sup>3</sup>-kiskopainon vaihteiden teräsosat (kielet, risteykset, vastakiskot) tulevat autokuljetuksin Teijosta Kaipiaisiin ja kaikki 60 kg/m<sup>3</sup>-kiskopainon vaihteiden teräsosat tulevat auto- ja laivakuljetuksin Itävallan Zeltwegistä Pieksämäelle (Pasanen, 2011). Laskennassa oletettiin, että toimitus tapahtuu suoraan Kaipiaisten

tai Pieksämäen vaihdetuotannosta radalle. Vaihteiden määrät johdettiin vaihde-rekisterin tiedoista (Pasanen, 2011).

**Massaan sidottu kuljetustarve.** Kuljetukset sidottiin laskennassa materiaalien ja komponenttien massaun, vaikka joissakin tapauksissa täsmällisempää olisi ollut arvioida kuljetustarve tilavuuden perusteella. Tämä tarkastelu olisi kuitenkin vaatinut tarkkoja tietoja kappaleiden mitoista, muodoista ja pakkaustavoista, eikä laskenta-tarkkuuden paraneminen olisi ollut riittävää suhteessa tarkastelun aiheuttamaan lisätyömäärään.

**Kuljetuskalusto.** Radanrakennuspaikalta raivattavan puun kuljetukseen oletettiin käytettävän puutavara-autoa, jonka kantavuus on 32 tonnia (VTT Lipasto, 2009). Maa-ainesten kuljetuksissa oletettiin käytettävän maansiirtoautoa, jonka kantavuus on 19 tonnia (VTT Lipasto, 2009). Prosessikohtaisesti oletettiin, että käytettävät autot kuljettavat aina toiseen suuntaan täyttä lastia ja palaavat ilman lastia.

Laskennassa kiskojen kuljetuksissa oletettiin käytettävän rahtilaivaa ja ratakuorma-autoa. Pölkkyjen ja vaihteiden osalta oletettiin käytettävän ratakuorma-autoa aina, kun kuljetusreitti on ollut rataverkon varrella. Muissa tapauksissa oletettiin käytettävän Suomessa täysperävaunuyhdistelmää, jonka kantavuus on 40 tonnia (VTT Lipasto, 2009) ja muissa maissa puoliperävaunuyhdistelmää, jonka kantavuus on 25 tonnia (VTT Lipasto, 2009).

Ratakuorma-auton kantavuudeksi oletettiin 50 tonnia silloin, kun se on varustettu yhdellä Bobby-vaunulla (VR Cargo, 2003). Raidemateriaalin kuormausohjeen mukaisesti kaksiakselisista vaunuista saa muodostaa enintään neljän vaunun ryhmän (VR Cargo, 2003). Tämän pohjalta oletettiin, että neliakselisista vaunuista saa muodostaa kahdeksan vaunun ryhmän, jolloin voidaan kuljettaa 120 m:n kiskoja, kuten Kerava–Lahti-oikoradalla oli tarve tehdä. Kahdeksanvaunuinen ratakuorma-auton kantavuudeksi laskettiin 340 tonnia, jossa otettiin huomioon 85 %:n lasti (esimerkiksi kiskoja kuormattaessa kaksiakselisiin vaunuihin kuormataan enintään kaksi ja neliakselisiin kolme kerrosta). Ratakuorma-auton polttoaineen kulutuksesta oletettiin, että kahdeksanvaunuinen ratakuorma-auto kuluttaa kolminkertaisen määrän polttoainetta yksivaunuiseen verrattuna.

Sepeli oletettiin kuljetettavan ratakuorma-autolla (Pasanen, 2011). Muiden materiaalien kuljetukseen oletettiin käytettävän joko täysperävaunuyhdistelmää tai tavarajunaa, riippuen rakennuspaikan sijainnista. Esimerkiksi Kerava–Lahti-oikoradan Mäntsälän aseman rakennuksessa käytettävien materiaalien kuljetuksissa oletettiin käytettävän tavarajunaa.

**Työkoneet.** *Maanrakennus*-prosessissa käytettävät työkoneet ovat hakkuukone, kuormaaja, kaivuri, dumperi, nosturi, paalutuskone, maajyrä, murskain sekä pyörintäsäiliöpumppu. Työkoneisiin pätevät samat oletukset kuin tienpidossakin.

Selvityksen toteuttajan arvion mukaan *maanrakennus*-prosesseissa maa-aineksen käsittely jakautuu tasaisesti kuormaajien ja kaivureiden kesken. Lisäksi dumperin ajosuorituksen oletettiin vastaavan 1 %:a maansiirtoautojen suoritteesta. Maansiirto-autoa oletettiin käytettävän poistettavan maa-aineksen kuljettamiseen jättöpaikalle sekä tuomaan radalle mursketta, jota ei saada kalliioleikkausmateriaaleista.

Päällysrakenteen komponenttien asennuksessa käytetään ratatyökoneita: leimuhitsauskoneita, tukikerroksen muotoilukonetta, raidestabilisaattoria, raiteentukemiskoneita, vaihteentukemiskoneita, raiteenvaihtokoneita, vaihteenasennuskonetta ja sepelinpuhdistuskonetta. Näiden koneiden päästö määrät oletettiin voitavan laskea koneella kuljettavan kilometrimäärän perusteella (vakiokulutus työssä). Stabilisaattorin, raiteentukemiskoneen ja tukikerroksen muotoilukoneiden osalta oletettiin lisäksi, että päällysrakennetta rakennettaessa tai uusittaessa vaaditaan kolme tuentakertaa, jolloin kyseisten koneiden kilometrimäärä on kolminkertainen muihin verrattuna (Salakka, 2011). Rakennustöissä oletettiin myös tarvittavan ratakuorma-autoa, jonka oletettiin kulkevan rakennettavan rataosuuden kaksi kertaa päästä päähän.

Laskennassa otettiin huomioon myös muita työkoneita, joita käytetään kunnossapidotöissä. Sellaisia ovat sähköratojen tarkastus- ja huoltovaunu, radantarkastusvaunu ja hiontajuna. Näiden päästöt oletettiin voitavan laskea koneella kuljettavan kilometrimäärän perusteella.

Kunnossapidon lähtötietoina käytettiin eri kunnossapitoalueiden suoriteraportteja vuodelta 2009 ja 2010 (Oy VR Rata AB, 2009) niille rataosuuksille ja ratapihoille, joiden osalta tietoa oli saatavilla. Vain Kerava–Lahti-oikoradan osalta oli saatavilla riittävän tarkat tiedot lumenauraukseen käytettävien työkoneiden käyttötunneista (Ontto, 2011 ja Heinonkoski, 2011). Muiden rataosuuksien laskelmissa käytettiin lumenaurauksen päästöjen laskentaan Kerava–Lahti-oikoradan päästöjä rata-kilometriä kohden. Kerava–Lahti-oikoradan osalta lumenaurauksen toteutumat olivat vuonna 2010 poikkeuksellisen suuria (Heinonkoski, 2011). Siksi elinkaaritarkastelussa keskimääräistä vuotuista auraustarvetta arvioitiin käyttämällä korjauskerrointa 0,85 vuoden 2010 toteutumaan nähden. Ratakuorma-auton ja lumiharjan nopeudeksi oletettiin 50 km/h.

**Sähkönkulutus.** Sähkönkulutustiedot perustuvat RHK:n julkaisuun Sähkön kulutus- ja kustannustilasto 2009 sekä lisätietoihin koskien Liikenneviraston lämmitysmuuntamoja (Uusitalo, 2011). Jälkimmäisistä saatiin vuoden 2009 kulutustiedot, ja ne oletettiin keskimääräiseksi vuosittaiseksi kulutukseksi. Elinkaaritarkastelussa, jossa tarkastelujaksona on 100 vuotta, vuosittaisen kulutuksen oletettiin pysyvän samana koko tarkastelujakson ajan.

**Kreosoottiöljyn käyttö.** Puupölkkyjen kyllästämiseen käytetyn kreosoottiöljyn käyttö on hiljalleen päättymässä (Nummelin, 2011), joten laskennassa oletettiin sen käytön loppuvan vuoteen 2020 mennessä. Kreosoottiöljyn valmistuksen hiilidioksidipäästöt otettiin huomioon myös laskennassa. Öljyn menekiksi arvioitiin 135 kg pölkkykuutiometriä kohti (RHK, 2002a).

**Sadevesien johtaminen.** Laskennassa ei tarkasteltu erikseen maanrakennukseen liittyviä töitä, joita on mahdollisesti jouduttu tekemään sadeveden johtamiseksi. Niistä ei ollut saatavilla eriteltyä tietoa, ja koska ne yleensä sisältyvät maanrakennukseen ilman erillistä mainintaa, niiden oletettiin sisältyvän maanrakennukseen.

**Opastimet.** Opastimien oletettiin olevan LED-signaalein varustettuja. Niistä oli saatavilla valmiit tuotekohtaiset päästökertoimet, jotka antavat luotettavimman tiedon päästöjen suuruusluokasta, vaikka rataverkon kaikki opastimet eivät olekaan samanlaisia. Tämän oletuksen vaikutus kokonaispäästöihin on hyvin pieni, ottaen

huomioon, että turvalaitteiden ja sähköistyksen aiheuttamat päästöt yhteensä suhteessa koko radanpidon päästöihin ovat laskelmien mukaan suurimmillaan noin 3 %. Lisäksi opastimien osuus sähköistyksen ja turvalaitteiden kokonaispäästöistä on pieni.

**Materiaalihävikki.** Kuten tienpidossa, prosessien aikaisen materiaalihävikin oletettiin olevan niin vähäistä, että se voitiin rajata tarkastelun ulkopuolelle. Hävikkiä syntyy esimerkiksi murskeen valmistuksessa.

**Kiskonhionta ratapihoilla.** Liikennepaikalla kiskojen hionta yleensä päätetään liikennepaikan tulovaihteelle ja sitä jatketaan liikennepaikan toisen pään tulovaihteen jälkeen, jolloin ratapihoilla ei käytännössä tehdä kiskonhiontaa (Viitala, 2011). Tämän pohjalta oletettiin, ettei ratapihoilla hiota kiskoja.

**Varovaisuusperiaate lähtötietojen päällekkäisyyksissä.** Sama kuin tienpidossa (ks. luku 3.2).

**Korvausinvestoinnit.** *Korvausinvestointien* tarkastelu laskennassa perustuu radan rakentamisessa käytettyihin materiaaleihin ja niiden korvaustarpeisiin sekä työkoneiden käyttöön kuten rataa rakennettaessakin. Laskennassa oletettiin, että korvausinvestoinnit tehdään kaksi vuotta ennen komponentin tai materiaalin laskennallisen eliniän päättymistä. Laskennassa käytetyt eliniät eri materiaaleille ja komponenteille on esitetty liitteessä 2. Jotta laskennasta saatiin käsitys keskimääräisistä vuosittaisista päästöistä, korvausinvestoinneille laskettiin myös keskimääräiset vuosittaiset korvausinvestointien määrät.

**Ylläpitoinvestoinnit.** *Ylläpitoinvestointeja* arvioitiin lähtötietojen vähäisyyden vuoksi karkeasti. Oletettiin, että sähkörakenteiden osalta ylläpitoinvestoinnit vastaavat 20 % korvausinvestointien määrästä ja muiden rakenteiden ja komponenttien osalta 1 %, sillä sähkörakenteita joudutaan uusimaan useammin kuin radan muita rakenteita (Nummelin, 2011). Vertaamalla näitä arvioita kustannuksiin voitiin todeta, että laskennassa käytettyjen prosenttien suuruusluokka on oikea. Ylläpitoinvestointien kustannukset ovat noin 14 % korvausinvestointien kustannuksista (Liikennevirasto, 2010a). Ylläpitoinvestoinneille laskettiin keskimääräinen vuosittainen toimenpiteiden määrä, vaikka todellisuudessa ylläpitoinvestointeja ei tehdä joka vuosi kaikille rataosuksille.

**Hoidon erillistyöt.** *Hoidon erillistyöt* -prosessista ei ollut laskentaa tehtäessä käytettävissä riittävän tarkkaa tietoa, joten päästöt arvioitiin karkeasti perustuen hoidon erillistöiden kustannusten osuuteen kunnossapidon kokonaiskustannuksista. Liikenneviraston toiminta- ja taloussuunnitelmassa vuosille 2011–2014 on esitetty suunnitelmat kunnossapidon budjetista: ylläpitoinvestointeihin 17 milj. €/v, korvausinvestointeihin 124 milj. €/v ja hoitoon 135 milj. €/v (Liikennevirasto, 2010b). Hoidon kustannuksista noin 20 milj. € on arvioitu käytettävän hoidon erillistöihin (Kärkkäinen, 2011).

Eri kunnossapitotöille laskettiin kunkin case-laskelman perusteella ominaispäästöt (tCO<sub>2</sub>/milj. €). Kertomalla ominaispäästöjen keskiarvo hoidon erillistöiden kustannuksilla saatiin arvio hoidon erillistöiden päästöistä. Laskennassa oletettiin, että materiaalien osuus kustannuksista on yksi kolmasosa, materiaalien kuljetusten osuus yksi neljäsosa ja työkoneiden käytön osuus yksi neljäsosa (Kärkkäinen, 2011). Jäljelle

jäävä osuus koostuu työvoimakustannuksista (palkat ja muut työmaakulut), jotka eivät tehtyjen rajausten nojalla sisältyneet hiilijalanjälkilaskelmiin.

## 4.3 Case 1: Kerava–Lahti-oikorata

### 4.3.1 Lähtötiedot, oletukset, rajaukset

**Lähtötiedot.** Kerava–Lahti-oikorata on vuonna 2006 valmistunut kaksiraiteinen sähköistetty rataosuus, jonka kokonaispituus on 74 km. Uutta rataa tästä on 63 km, sillä Lahden päässä rata liittyy Riihimäki–Lahti-rataosaan Hollolan Hakosillassa (Vihermaa, 2005). Laskennassa rataosuuden liikennepaikattomana pituutena käytettiin 56 km. RautatieMIPS-tutkimuksessa on laskettu välittömästi ratalinjan alle jäävän maa-alan olevan 18 m<sup>2</sup>/rata-m (Vihermaa et al., 2005). Tämän perusteella rataväylän leveytenä käytettiin laskennassa 18 m. Laskennassa otettiin huomioon Kerava–Lahti-oikoradan alikulku- ja ratasillat, joiden kokonaispituus on 2,9 km (Vihermaa et al., 2005).

Kerava–Lahti-oikoradalle on asennettu betoniset ratapölkkyt ja jatkuviksi hitsatut 60E1-kiskot (Vihermaa, 2005). Kerava–Lahti-oikorata on myös case-laskelmien joukossa ainoa, jonka rakenteissa on käytetty paalulaattoja ja paalutusta, yhteensä 750 km paalua (Lounema, 2006).

Kerava–Lahti-oikoradalla alusrakenteeseen kuuluu pohjavedensuojausta, johon sisältyy salaojien kaivuuta ja muovikalvon, bentoniittimaton ja suojakankaan asennusta sekä hitsausta (Lounema, 2006). Näistä ei ollut RautatieMIPS-tutkimuksessa lähtötietoja. TieMIPS-tutkimuksessa on esitetty arvio siitä, paljonko bentoniittimattoa ja suojakangasta kuluu tiellä (Pusenius, Lettenmeier ja Saari, 2005). Saman arvion pohjalta laskettiin näiden materiaalien menekki ratakilometriä kohti. Moottoritien materiaalimenekki suhteutettiin rataväylän leveyteen.

RautatieMIPS-tutkimuksessa ilmoitettu tieto kiskojen teräsmäärästä poikkeaa tässä laskennassa käytetystä teräsmäärästä. Kun teräksen määrä lasketaan kiskoprofiilin 60E1 mukaisesti kiskojen massasta (kg terästä per metri kiskoa), saadaan tulokseksi Kerava–Lahti-oikoradalle kaksinkertainen määrä terästä verrattuna RautatieMIPS-tutkimuksen lukuihin. Kerava–Lahti-oikoradalla on 210 000 betonipölkkyä (Rekonen, 2011). Raidesepelin määrä perustuu RautatieMIPS-tutkimuksen tietoihin (Vihermaa et al. 2005).

Siltojen osalta lähtötiedot ovat peräisin RautatieMIPS-tutkimuksesta (Vihermaa, 2005). Siinä on esitetty arvio käytetyn betonin ja teräksen määrästä alikulkusiltojen alus- ja päällysrakenteissa sekä muiden siltojen kansirakenteissa, pilareissa sekä pääty-, maa- ja välituissa. Laskennassa ovat mukana myös rummut ja niiden betoni- ja teräsmäärät, jotka perustuvat rumpurekisterin tietoihin. Melusteiden lähtötietoihin kuuluu RautatieMIPS-tutkimuksen mukaan teräksinen radanvarsiaita.

Liikennevirasto on määrittänyt Kerava–Lahti-oikoradan kunnossapitotasoksi 1AA, ja laskennassa otettiin huomioon radan tarkastukset tämän tason vaatimusten mukaisesti. Esimerkiksi tarkastusvaunumittauksia 1AA-kunnossapitotason radoille vaaditaan kuusi kertaa vuodessa (RHK, 2006). Laskennassa otettiin huomioon myös sähkö- ja turvalaitteiden tarkastuksessa käytettävä mittaava vaunu Elli.

Materiaalit ja komponentit, jotka otettiin huomioon korvausinvestoinneissa, ovat kiskot, ratapölkkyt, vaihteet, tukikerros, sähköistys ja turvalaitteet sekä radanvarsiaita. Ylläpitoinvestoinneissa otettiin huomioon samat materiaalit ja komponentit kuin korvausinvestoinneissa.

**Oletukset.** RautatieMIPS-tutkimuksen mukaan Kerava–Lahti-oikoradalla suuri osa maa- ja kalliroleikkausmassoista hyödynnettiin radanrakennuspaikalla (Vihermaa et al., 2005). Tähän pohjautuen *maanrakennus*-prosessissa oletettiin, että maaleikkausmassoista 90 % hyödynnettiin radanrakennuspaikalla (maapenkereet, maisemointi ja meluvallit) ja kalliroleikkausmassoista 100 % radan rakenteissa (murskekerrokset, louhepenkereet, eristyskerros).

Paalutukseen käytetty betoni ja teräs oletettiin laskennassa kuljetetun radanrakennuspaikalle täysperävaunuyhdistelmällä. Verhoilukerroksessa käytettävän hiekan kuljetukseen oletettiin käytettävän maansiirtoautoa ja bentoniittimaton ja suojakankaan kuljetukseen täysperävaunuyhdistelmää. Alusrakenteen rakennuksessa oletettiin käytettävän kuormaajaa (murskeen levitykseen) sekä maajyrää (hiekan tiivistämiseen). Radanvarsiaidan kuljetukseen oletettiin käytettävän täysperävaunuyhdistelmää ja asennukseen nosturia.

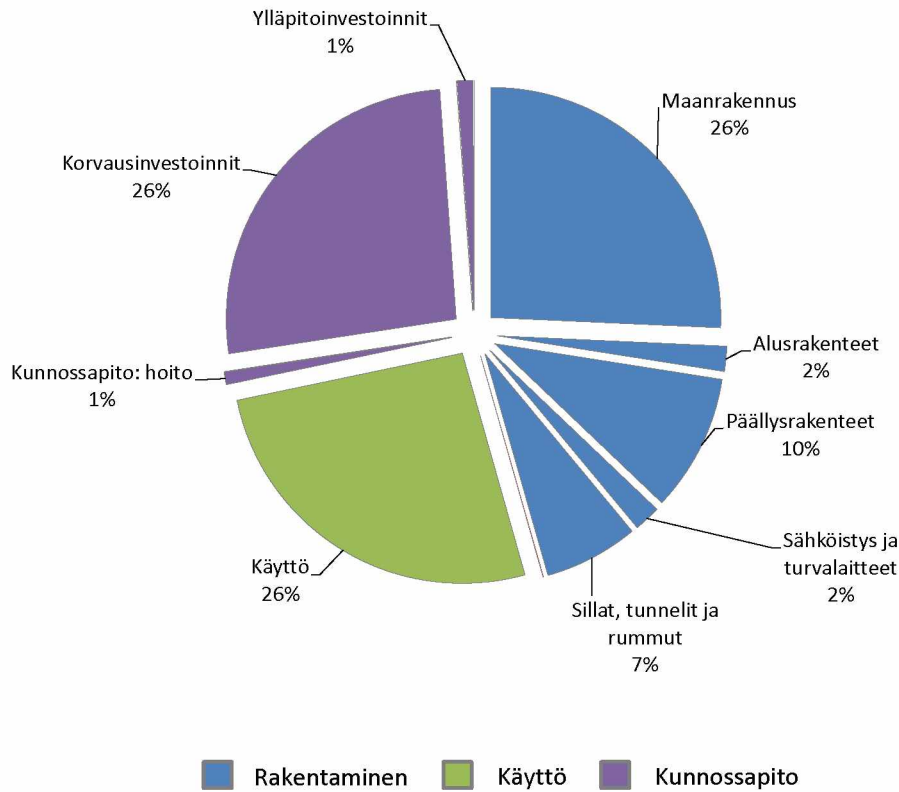
Ratakiskojen huolto otettiin huomioon laskennassa hiontajunalla tehtävän työn osalta. Hiontaa ei suoriteta joka vuosi. Tämän rataosuuden osalta oletettiin, että kiskoja hiotaan kerran kymmenessä vuodessa ja että yhtä raidekilometriä kohti vaaditaan kolme kilometriä hiontajunan ajoa perustuen historiatietoihin (Viitala, 2011).

**Rajaukset.** Kerava–Lahti-oikorata poikkeaa muista case-laskelmista nykyaikaisen radanrakennustekniikkansa vuoksi. Nykyaikaisempi rakennustekniikka näkyy muun muassa siinä, että rataa pidetään kunnossa enimmäkseen korvausinvestoinneilla, jolloin tarve tehdä pienimuotoisia korjauksia ja hoitotoimenpiteitä on tavallista pienempi (Nummelin, 2011). Myöskään vuoden 2010 toteutuneeseen kunnossapito-ohjelmaan ei sisällynyt korjaustöitä tai hoidon erillistöitä, joiden perusteella olisi voitu arvioida niiden vuosittaista tarvetta. Tästä syystä ne rajattiin laskennan ulkopuolelle.

Kerava–Lahti-oikoradalla sähköä kuluu pääosin vaihteenlämmitykseen. Lisäksi liikenteenohjaus ja muut kohteet kuluttavat sähköä. Rataosuuden valaistuksesta ei ollut saatavilla riittävän yksityiskohtaista tietoa (Uusitalo, 2011), joten sitä ei otettu huomioon laskelmissa. Rataosuudella valaistuksen osuus sähkön kokonaiskulutuksesta on pieni, koska rataosuudella ei ole tasoristeyslaitoksia eikä lämmitettäviä rakennuksia.

#### 4.3.2 Tulokset

Kerava–Lahti-oikoradan ominaispäästöt ovat noin **43 tCO<sub>2</sub>/km/v**. Radanpidossa syntyy hiilidioksidipäästöjä 100 vuoden tarkastelujaksolla yhteensä noin 313 tuhatta tonnia. Ratakilometriä kohden päästöt ovat samalla aikavälillä noin 4 200 tonnia/rata-km. Päästöjen jakautuminen prosesseittain on esitetty kuvassa 13. Prosesseista *maanrakennus*, sähkönkulutus *käytön* aikana, *korvausinvestoinnit* ja *päällysrakenteet* muodostavat suurimmat osuudet kokonaispäästöistä.

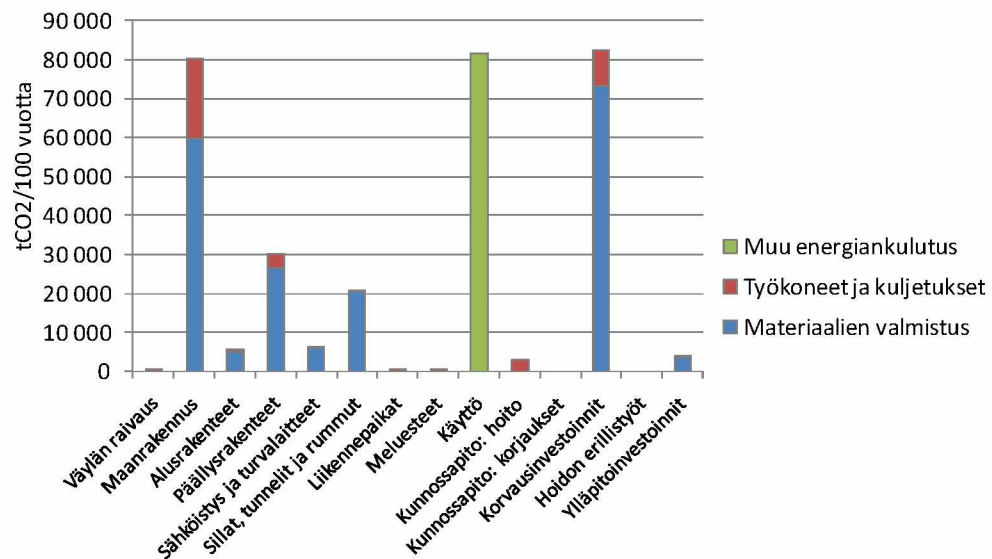


Kuva 13. Päästöjen jakautuminen prosesseittain radanpidossa (Kerava–Lahti-oikorata).

Elinkaarivaiheittain jaoteltuna noin 46 % päästöistä syntyy rakentamisvaiheessa, 26 % käytössä ja 28 % kunnossapidossa.

Päästöjen alkuperän mukaan jaoteltuna materiaalien valmistuksen aiheuttamat päästöt kattavat noin 62 % kokonaispäästöistä, työkoneiden ja kuljetusten aiheuttamat päästöt noin 12 % ja vaihteenlämmitys, liikenteenohjaus ja muu käytönaikainen energiankulutus noin 26 %. Kokonaispäästöjen jakautuminen prosesseittain päästöjen alkuperän mukaan on esitetty kuvassa 14.





Kuva 14. Päästöjen jakautuminen prosesseittain radanpidossa (Kerava–Lahti-oikorata) päästöjen alkuperän mukaan.

## 4.4 Case 2: Kouvola–Pieksämäki

### 4.4.1 Lähtötiedot, oletukset, rajaukset

**Lähtötiedot.** Kouvola–Pieksämäki-rataosuus on alun perin rakennettu 1880-luvulla, ja se on viimeksi perusparannettu vuosina 1997–2003 (RHK, 2008a). Rataosuus on yksiraiteinen, ja sen kokonaispituus on 184,5 km. Laskennassa rataosuuden liikennepaikattomana pituutena käytettiin 165 km. Radan sähköistys on valmistunut vuonna 1980 (RHK, 2008a). Laskennassa rataväylän leveytenä käytettiin 10 m (Vihermaa et al., 2005).

Perusparannuksen yhteydessä rataosuudelle asennettiin aiempaa nykyaikaisempaa radanrakennustekniikkaa. Tämän vuoksi rataa pidetään kunnossa enimmäkseen korvausinvestoinneilla, jolloin tarve pienimuotoisempien vuosittaisten korjausten ja hoitotoimenpiteiden tekoon on pienempi (Nummelin, 2011). Rataosuudelle on perusparannuksen yhteydessä uusittu päällysrakenne, joka koostuu raidesepeleistä, betonisista ratapölkkyistä ja 60E1-kiskoista (RHK, 2008a). Radalla on 106 puu- ja betonipölkkyvaihdetta. Rataosuudella on 44 tasoristeystä (RHK, 2008a).

Laskennassa otettiin huomioon rataosuuden alikulku- ja ratasillat, joita on yhteensä 0,65 km, ja kolme tunnelia, joiden yhteispituus on 0,79 km. Rataosuuden eristyskerros muodostuu soran ja maan sekoituksesta, josta osa on kierrätettyä. Välikerros on soraa. (Vihermaa et al., 2005)

RautatieMIPS-tutkimuksessa ilmoitettu tieto kiskojen teräsmäärästä poikkeaa tässä laskennassa käytetystä teräsmäärästä. Kun teräksen määrä lasketaan kiskoprofiiliin 60E1 mukaisesta kiskojen massasta (kg terästä per metri kisko), saadaan tulokseksi rataosuudelle kaksinkertainen määrä terästä verrattuna RautatieMIPS-tutkimuksen

lukuihin. Laskennassa käytetty pölkkyjen määrä perustuu elinkaariselvitykseen, jonka mukaan rataosuudella on 307 500 betonipölkkyä (RHK, 2008a). Raidesepelin määrä perustuu RautatieMIPS-tutkimuksen tietoihin (Vihermaa et al. 2005).

Siltojen osalta lähtötiedot ovat peräisin RautatieMIPS-tutkimuksesta (Vihermaa, 2005). Siinä on ilmoitettu rata- ja alikulkusiltojen kansirakenteisiin, pilareihin, pääty-, maa- ja välitukiin sekä rumpuihin käytetyn betonin ja teräksen määrä. Tunneleiden osalta lähtötietoina ovat RautatieMIPS-tutkimuksessa annetut louhitun kiven, ruiskubetonin (jota on käytetty verhoiluun) ja pultteihin käytetyn teräksen määrät sekä kovapuupölkkyjen puumäärä. Näiden puupölkkyjen osalta otettiin huomioon myös kyllästeenä käytetty kreosoottijy.

Rataosuuden sähkönkulutus koostuu vaihteenlämmityksestä, tievaroituslaitoksista, liikenteenohjauksesta ja muusta käytöstä.

Liikennevirasto on määrittänyt Kouvola–Pieksämäki-rataosuuden kunnossapitotasoksi 1-1A, ja laskennassa otettiin huomioon radan tarkastukset tämän tason vaatimusten mukaisesti. Esimerkiksi tarkastusvaunumittauksia 1-1A-kunnossapitotason radoille vaaditaan kolme kertaa vuodessa (RHK, 2006). *Kunnossapidon* alaprosessien *hoito* ja *korjaukset* lähtötiedot perustuvat kunnossapito-ohjelman toteutuneisiin työsuoritteisiin vuodelta 2009. Hoitotoimenpiteissä otettiin huomioon hiontajunalla tehtävä työ, läpituenta ja lumenauraus.

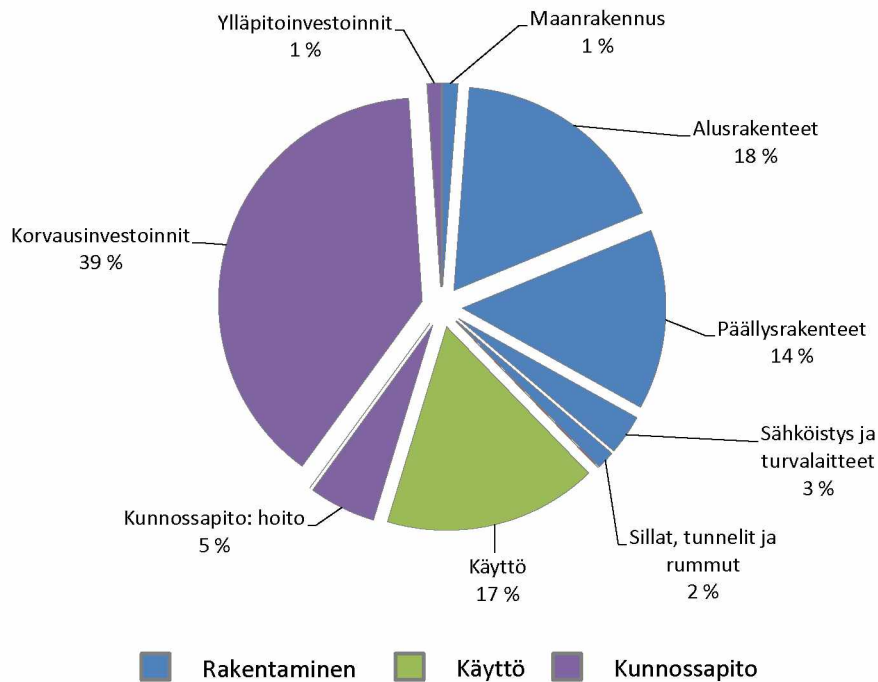
**Oletukset.** Rataosuudelle asennettujen routalevyjen oletettiin olevan 100 mm:n paksuisia suulakepuristettuja solupolystyreenilevyjä (eli XPS-levyjä) (RHK, 2002b). Maa-ainekset oletettiin kuljetetun maansiirtoautolla ja routalevyt täysperävaunuyhdistelmällä. Käsittelyn ja asennuksen työkoneiksi oletettiin kuormaaja ja maajyrä maa- ja sora-ainesten käsittelyssä ja sepelinpuhdistuskone routalevyjen asennuksessa (RHK, 1998).

Kiskoja ei hiota joka vuosi. Tämän rataosuuden osalta oletettiin, kuten Kerava-Lahti-oikoradan tapauksessakin, että kiskot hiotaan kerran kymmenessä vuodessa ja että yhtä raidekilometriä kohti vaaditaan kolme kilometriä hiontajunan ajoa perustuen historiatietoihin (Viitala, 2011). Vuonna 2009 radalla suoritettiin myös läpituenta, joka oletettiin tehdyn raiteentukemiskoneella.

**Rajaukset.** Laskennassa ei otettu huomioon Otava–Otavan satama -rataosuutta, joka on harvoin liikennöity, sähköistämätön teollisuusraide, pituudeltaan 1,8 km (RHK, 2008a). Rataosuuden valaistuksesta ei ollut saatavilla riittävän yksityiskohtaista tietoa (Uusitalo, 2011), joten sitä ei otettu huomioon laskelmissa.

#### 4.4.2 Tulokset

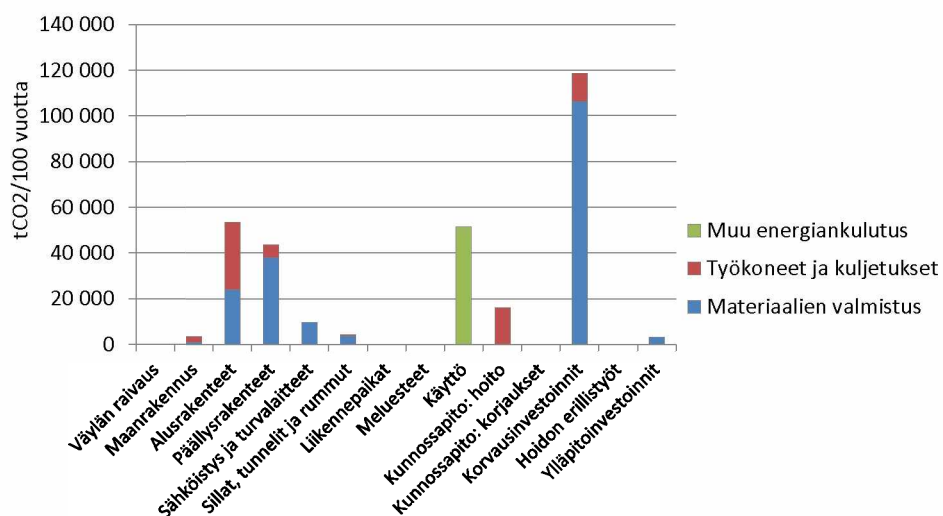
Kouvola–Pieksämäki-rataosuuden ominaispäästöt ovat noin **19 tCO<sub>2</sub>/km/v**. Radanpidossa syntyy hiilidioksidipäästöjä 100 vuoden tarkastelujaksolla yhteensä noin 304 tuhatta tonnia. Ratakilometriä kohden päästöt ovat samalla aikavälillä noin 1 900 tonnia/rata-km. Päästöjen jakautuminen prosesseittain on esitetty kuvassa 15. Prosesseista *korvausinvestoinnit*, *alusrakenteet*, *päällysrakenteet* ja sähkönkulutus *käytön* aikana muodostavat suurimmat osuudet kokonaispäästöistä.



Kuva 15. Päästöjen jakautuminen prosesseittain radanpidossa (Kouvola–Pieksämäki).

Elinkaarivaiheittain jaoteltuna noin 38 % päästöistä syntyy rakentamisvaiheessa, 17 % käytössä ja 45 % kunnossapidossa.

Päästöjen alkuperän mukaan jaoteltuna materiaalien valmistuksen aiheuttamat päästöt kattavat noin 61 % kokonaispäästöistä, työkoneiden ja kuljetusten aiheuttamat päästöt noin 22 % ja käytönaikainen energiankulutus noin 17 %. Kokonaispäästöjen jakautuminen prosesseittain päästöjen alkuperän mukaan on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Päästöjen jakautuminen prosesseittain radanpidossa (Kouvola–Pieksämäki) päästöjen alkuperän mukaan.

## 4.5 Case 3: Savonlinna–Huutokoski

### 4.5.1 Lähtötiedot, oletukset, rajaukset

**Lähtötiedot.** Savonlinna–Huutokoski-rataosuus on yksiraiteinen ja sähköistämätön rataosa, jolla liikennöidään ainoastaan tavarajunilla (Saastamoinen, Ahtiainen, Korhonen, 2010). Rataosuus (74 km) on valmistunut vuonna 1914, ja rataa on viimeksi perusparannettu vuosina 2008–2009, jolloin uusittiin tukikerros, pölkyt ja kiskot (Saastamoinen, Ahtiainen, Korhonen, 2010). Rataväylän leveytenä käytettiin laskennassa 10 m (Vihermaa et al. 2005). Rataosuuden liikennepaikattomana pituutena käytettiin tässä työssä 66 km.

Rataosuudella on 11 alikulku- ja ratasiltaa (Saastamoinen, Ahtiainen, Korhonen, 2010), joiden yhteispituus on 177 m (Siltarekisteri, 2010). Rumpuja on yhteensä 93 (Rumpurekisteri, 2010). Radalle on viimeisimmän perusparannuksen yhteydessä asennettu betoniset ratapölkyt ja 54E1-kiskot (Saastamoinen, Ahtiainen, Korhonen, 2010). Kallioleikkausten tiedot ovat peräisin kallioleikkausrekisteristä (Kallioleikkausrekisteri, 2010).

Päällysrakenteen kiskojen teräksen määrä laskettiin kiskojen ominaismassan (kg/m) perusteella, ja pölkkyjen määrä perustuu elinkaariselvityksen tietoihin (Saastamoinen, Ahtiainen, Korhonen, 2010). Kiskot ovat kierrätyskiskoja (Saastamoinen, Ahtiainen, Korhonen, 2010), joten teräksen materiaalipäästöihin sisältyvät ainoastaan vaihteiden teräsosat.

Raidesepelin määrä arvioitiin perustuen Rautatieinfrastruktuurin elinkaarikustannuslaskentaan, jonka mukaan sepelin menekki on betonipölkkyraiteessa 2,8 m<sup>3</sup>/raide-m (Tuominen, 2004). Rataosuus on sähköistämätön, joten *sähköistys ja turvalaitteet* -prosessissa laskettiin ainoastaan turvalaitteiden päästöt.

Sähköä kuluu Savonlinna–Huutokoski-rataosuudella tievaroitulaitoksiin, valaistukseen sekä liikenteenohjaukseen. Rataosuus kuuluu kunnossapitotason 2 ratoihin, ja laskennassa otettiin huomioon radan tarkastukset tämän tason vaatimusten mukaisesti. *Kunnossapidon* alaprosessien *hoito ja korjaukset* lähtötiedot perustuvat kunnossapito-ohjelman toteutuneisiin työsuoritteisiin vuodelta 2009. Hoitotoimenpiteissä otettiin huomioon hiontajunalla tehtävä työ ja lumenauraus.

**Oletukset.** Maanrakennuksesta ei ollut saatavilla kattavia tietoja, joten laskennassa oletettiin, että kaivutöitä on tehty samassa suhteessa (kg/rata-km) kuin Kerava–Lahti-oikoradalla. Tarkastelussa otettiin kuitenkin huomioon ero raiteiden lukumäärässä. Laskelmissa oletettiin kaivutöissä käsitellyn 50 % Kerava–Lahti-oikoradan maamassoista per kilometri. Esimerkiksi maaleikkausta on Kerava–Lahti-oikoradalla tehty 78 miljoonaa kiloa per ratakilometri, joten Savonlinna–Huutokoski-rataosuudella määräksi arvioitiin 39 miljoonaa kiloa per ratakilometri. Kerava–Lahti-oikoradan katsottiin olevan parempi vertailukohde suuremman ja vähemmän mäkiä sisältävän maastonsa vuoksi kuin yksiraiteisen Kouvola–Pieksämäki-rataosuuden (Nummelin, 2011). Niskaajien määrä arvioitiin samalla tavalla Kerava–Lahti-oikoradan tietojen pohjalta.

Alusrakenteiden materiaalimäärien arvioimiseksi käytettiin Kouvola–Pieksämäki-rataosuuden määräsuhteita (kg/rata-km), sillä alusrakenteiden materiaalien oletettiin olevan vanhemmilla radoilla Kouvola–Pieksämäki-rataosuuden kaltaisia sora- ja maa-aineksia. Oletettiin, ettei rataosuudella ole routalevyjä. Kiskot oletettiin kuljetetun Kaipiaisista (Virtanen, 2011).

Rataosuuden siltojen rakentamisesta ei ollut saatavissa tietoja, joten siltojen osalta lähtötiedot laskettiin suhteuttamalla Kouvola–Pieksämäki-rataosuuden siltojen teräs- ja betonimäärät siltojen pituuteen ja leveyteen. Kouvola–Pieksämäki-rataosuudella on paljon samankaltaisia siltatyyppejä kuin Savonlinna–Huutokoski-rataosuudella (mm. teräsbetonisia laattakehäsiltoja ja teräksisiä levypalkkisiltoja) (Siltarekisteri, 2010). Tällä perusteella, ja paremman tiedon puuttuessa, oletettiin teräs- ja betonimäärien per metri siltaa antavan riittävän luotettavan arvion materiaalmääristä.

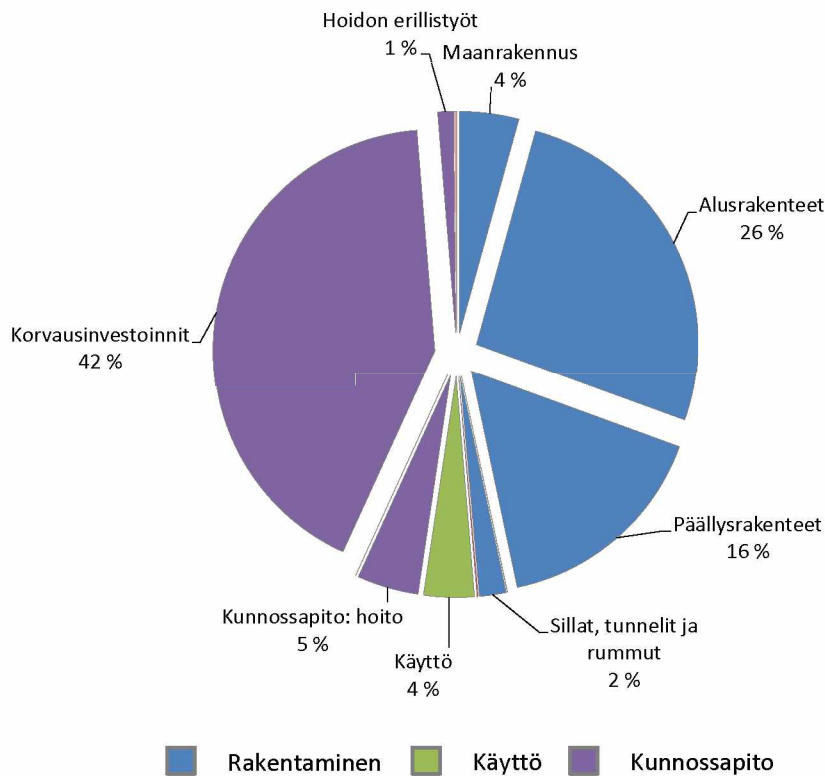
Kiskoja ei hiota joka vuosi. Tämän rataosuuden osalta oletettiin, että ne hiotaan kerran 15 vuodessa ja että yhtä raidekilometriä kohti vaaditaan viisi kilometriä hiontajunan ajoa perustuen historiatietoihin (Viitala, 2011).

Elinkaarilaskennan mukaan kiskojen arvioitu jäljellä oleva laskennallinen elinikä on 500 vuotta (Saastamoinen, Ahtiainen, Korhonen, 2010). Tämän pohjalta oletettiin, ettei kiskojen osalta tehdä korvausinvestointeja tarkastelujakson aikana.

**Rajaukset.** Ei tapauskohtaisia rajoituksia.

#### 4.5.2 Tulokset

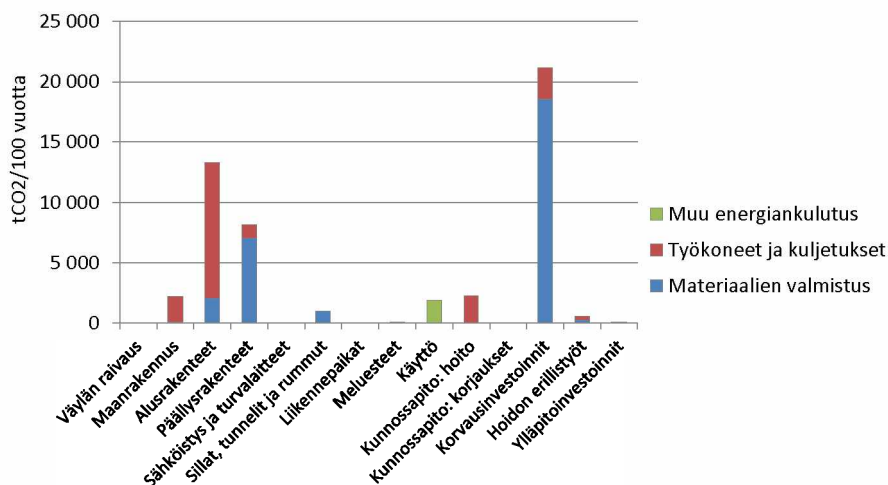
Savonlinna–Huutokoski-rataosuuden ominaispäästöt ovat noin **8 tCO<sub>2</sub>/km/v**. Radanpidossa syntyy hiilidioksidipäästöjä 100 vuoden tarkastelujaksolla yhteensä noin 51 tuhatta tonnia, ja ratakilometriä kohti päästöt ovat samalla aikavälillä noin 770 tonnia/rata-km. Päästöjen jakautuminen prosesseittain on esitetty kuvassa 17. Prosesseista *korvausinvestoinnit*, *alusrakenteet* ja *päällysrakenteet* muodostavat suurimmat osuudet kokonaispäästöistä.



Kuva 17. Päästöjen jakautuminen prosesseittain radanpidossa (Savonlinna–Huutokoski).

Elinkaaritarkastelun pääprosessieittain jaoteltuna noin 48 % päästöistä syntyy rakentamisvaiheessa, 4 % käytössä ja 48 % kunnossapidossa.

Päästöjen alkuperän mukaan jaoteltuna materiaalien valmistuksen aiheuttamat päästöt kattavat noin 57 % kokonaispäästöistä, työkoneiden ja kuljetusten aiheuttamat päästöt noin 39 % ja käytönaikainen energiankulutus noin 4 %. Kokonaispäästöjen jakautuminen prosesseittain päästöjen alkuperän mukaan on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Päästöjen jakautuminen prosesseittain radanpidossa (Savonlinna–Huutokoski) päästöjen alkuperän mukaan.

## 4.6 Case 4: Kontiomäki–Ämmänsaari

### 4.6.1 Lähtötiedot, oletukset, rajaukset

**Lähtötiedot.** Kontiomäki–Ämmänsaari-rataosuus on yksiraiteinen ja sähköistämätön rata, jolla liikennöidään ainoastaan tavarajunilla (Hirvaskari, 2007). Rataosuus on yhteensä 92 km pitkä, ja se on rakennettu vuosina 1935–1955 (Hirvaskari, 2007). Laskennassa rataosuuden liikennepaikattomana pituutena käytettiin 82 km. Rata-aväylän leveytenä käytettiin 10 m (Vihermaa et al., 2005).

Rataosuudella on 17 alikulku- ja ratasiltaa (Hirvaskari, 2007), joiden yhteispituus on 1005 m (Siltarekisteri, 2010). Rumpuja on yhteensä 70, ja radan päällysrakenteessa on naulakiinnitteistä lyhytkiskoista K30-raidetta sekä puupölkkyjä (Hirvaskari, 2007). Kalliroleikkausten tiedot ovat peräisin kalliroleikkausrekisteristä (Kalliroleikkausrekisteri, 2010).

Päällysrakenteen kiskojen teräksen määrä laskettiin kiskojen ominaismassan (kg/m) perusteella, ja pölkkyjen määrä perustuu elinkaariselvityksen tietoihin (Hirvaskari, 2007). Raidesepelin määrä arvioitiin perustuen Rautatieinfrastruktuurin elinkaarikustannus -laskentaan, jonka mukaan soran menekki on puupölkkyraiteessa 2,2 m<sup>3</sup>/raide-m (Tuominen, 2004). Rata on sähköistämätön, eikä sillä myöskään ole turvalaitejärjestelmiä (Hirvaskari, 2007).

Sähköä kuuluu Kontiomäki–Ämmänsaari-radalla tievaroituslaitoksiin, valaistukseen sekä liikenteenohjaukseen. Rataosuus kuuluu kunnossapitotason 5 ratoihin. Laskennassa otettiin huomioon radan tarkastukset tämän tason vaatimusten mukaisesti. Rataosuudella ei suoriteta kiskojen hiontaa (Viitala, 2011). Rataosan kuntoa on tulevaisuudessa tarkoitus ylläpitää 5000 hajapölkyn vaihdolla vuosittain (Hirvaskari, 2007). *Kunnossapidon* alaprosessien *hoito* (sis. lumenaurauksen) ja *korjaukset* lähtötiedot perustuvat kunnossapito-ohjelman toteutuneisiin työsuoritteisiin vuodelta 2009.

**Oletukset.** Maanrakennuksesta ei ollut saatavilla kattavia tietoja, joten laskennassa oletettiin, että kaivutöitä on tehty samassa suhteessa (kg/rata-km) kuin Kerava–Lahti-oikoradalla. Tarkastelussa otettiin kuitenkin huomioon ero raiteiden lukumäärässä. Laskelmissa oletettiin kaivutöissä käsitellyn 50 % Kerava–Lahti-oikoradan maamassoista per kilometri.

Kuten Savonlinna–Huutokoski-rataosuudellakin, alusrakenteen materiaalmäärien arvioimiseksi lähtötietoina käytettiin Kouvola–Pieksämäki-rataosuuden määräsuhteita (kg/rata-km). Oletettiin, ettei rataosuudella ole routalevyjä.

Rataosuuden siltojen rakentamisesta ei ollut saatavissa tietoja. Lisäksi siltatyypit ovat erilaisia (teräsrakenteisia ja kiviholvisiltoja) kuin muilla case-rataosuuksilla. Näin ollen laskennassa ei voitu käyttää hyväksi muiden case-laskelmien tietoja. Laskennassa siltojen lähtötiedot perustuvat siltarekisterin tietojen perusteella laskettuihin teräs- ja kiviholvisiltojen pituuksiin. Lisäksi oletettiin, että terässiltojen keskimääräinen leveys on 6 m ja kannen paksuus keskimäärin 0,5 m. Kiviholvisillan paksuudeksi oletettiin keskimäärin 3 m ja leveydeksi 6 m. Näiden oletusten perusteella arvioitiin siltojen teräs- ja kivimäärät.

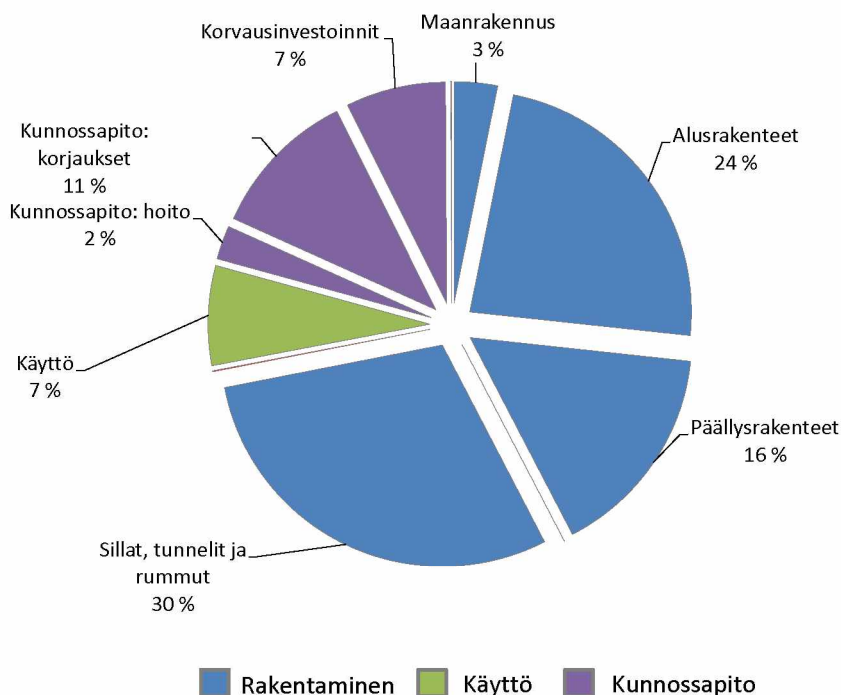
Vuonna 2007 ultraäänimittauksessa havaittiin kiskovikaatiheydeksi 7,5 kpl / raide-km (Hirvaskari, 2007). Se vastaa 4 %:a koko raidekilometrimäärästä. Tämän perusteella oletettiin, että kymmenen vuoden välein on tarpeen uusia kiskoja tuon 4 %:n osalta. Vajaa 1 % radan kiskoista oletetaan siis vaihdettavan kierrätyskiskoisiin vuosittain.

Korvausinvestointeja ja ylläpitoinvestointeja oletettiin tehtävän rataosalla ainoastaan tukikerroksen uusimisen ja teräsaidan korvauksen osalta, sillä pölkkyjä ja kiskoja ylläpidetään hajavaihdoin.

**Rajaukset.** Ei tapauskohtaisia rajoituksia.

#### 4.6.2 Tulokset

Kontiomäki-Ämmänsaari-rataosuuden ominaispäästöt ovat noin 9 tCO<sub>2</sub>/km/v. Sadan vuoden tarkastelujaksolla päästöjä syntyy yhteensä noin 70 tuhatta tonnia, ja rata-kilometriä kohti päästöt ovat noin 860 tonnia/rata-km. Päästöjen jakautuminen prosesseittain on esitetty kuvassa 19. Prosesseista alusrakenteet, päällysrakenteet, sekä sillat, tunnelit ja rummut muodostavat suurimmat osuudet kokonaispäästöistä.

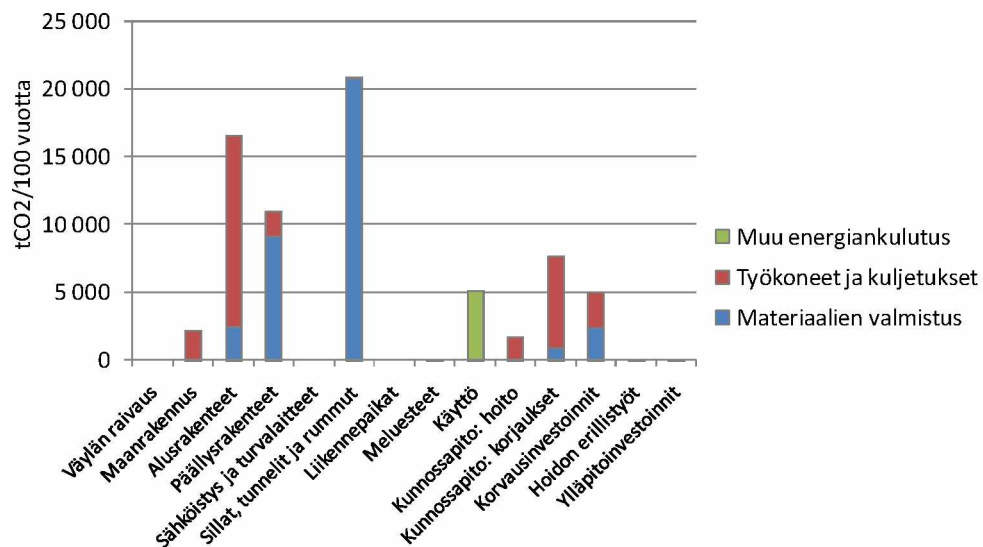


Kuva 19. Päästöjen jakautuminen prosesseittain radanpidossa (Kontiomäki-Ämmänsaari).

Elinkaaren pääprosesseittain jaoteltuna noin 73 % päästöistä syntyy rakentamisvaiheessa, 7 % käytössä ja 20 % kunnossapidossa.

Päästöjen alkuperän mukaan jaoteltuna materiaalien valmistuksen aiheuttamat päästöt kattavat noin 51 % kokonaispäästöistä, työkoneiden ja kuljetusten aiheuttamat päästöt noin 42 % ja käytönaikainen energiankulutus noin 7 %. Kokonaispäästöjen jakautuminen prosesseittain päästöjen alkuperän mukaan on esitetty kuvassa 20.





Kuva 20. Päästöjen jakautuminen prosesseittain radanpidossa (Kontiomäki-Ämmänsaari) päästöjen alkuperän mukaan.

## 4.7 Case 5: Kemijärven ratapiha

### 4.7.1 Lähtötiedot, oletukset, rajaukset

**Lähtötiedot.** Kemijärven ratapiha edustaa case-laskelmissa rataverkolla olevia pieniä ratapihoja (Nummelin, 2011). Ratapihan raiteiden yhteenlaskettu pituus on 5,30 raidekilometriä (Karjalainen, Riihinen ja Riikonen, 2008). Ratapiha on otettu käyttöön 1930-luvun puolivälissä, ja uudistuksia on tehty viimeksi vuonna 2008 (Karjalainen, Riihinen ja Riikonen, 2008).

Päälysrakenteiden materiaalianokset arvioitiin ratapihan elinkaariselvityksessä eri kiskoprofiileille, pölkkytyypeille sekä tukikerrosmateriaaleille eriteltyjen raidepituuksien perusteella. Sepelin menekiksi on arvioitu 2,8 m<sup>3</sup>/raide-m ja soran puolestaan 2,2 m<sup>3</sup>/raide-m (Tuominen, 2004). Ratatyökoneiden käyttömäärät arvioitiin raiteiden yhteispituuden perusteella.

Ratapihan laiturielementtien materiaalianokset arvioitiin ratapihan henkilölaitureiden yhteispituuden (Karjalainen, Riihinen ja Riikonen, 2008) ja laiturielementtituotteiden mittojen (Rudus, 2011) perusteella. Kemijärven ratapihalla sähköä kuluu valaistukseen, vaihteenlämmitykseen ja liikenteenohjaukseen.

**Oletukset.** Ratapihan rakentamisesta ei ollut saatavilla tarkempia tietoja, joten maanrakennuksen osalta oletettiin 50 % Kerava–Lahti-oikoradan kaivutöiden määrästä per raide-km. Alusrakenteiden osalta arvioitiin materiaalien tarpeen olevan 50 % Kouvola–Pieksämäki-rataosuuden vastaavista. Arvio pohjautuu siihen, että ratapihoilla raiteet rakennetaan vieri viereen, jolloin alusrakenteet eivät ole yhtä leveitä per raide kuin pääraiteilla muualla. Tätä samaa oletusta käyttäen arvioitiin raiteen ”väylän” leveydeksi 5 m, joka on puolet siitä, mitä yksiraiteisilla rataosuuksilla oletettiin näissä laskelmissa.

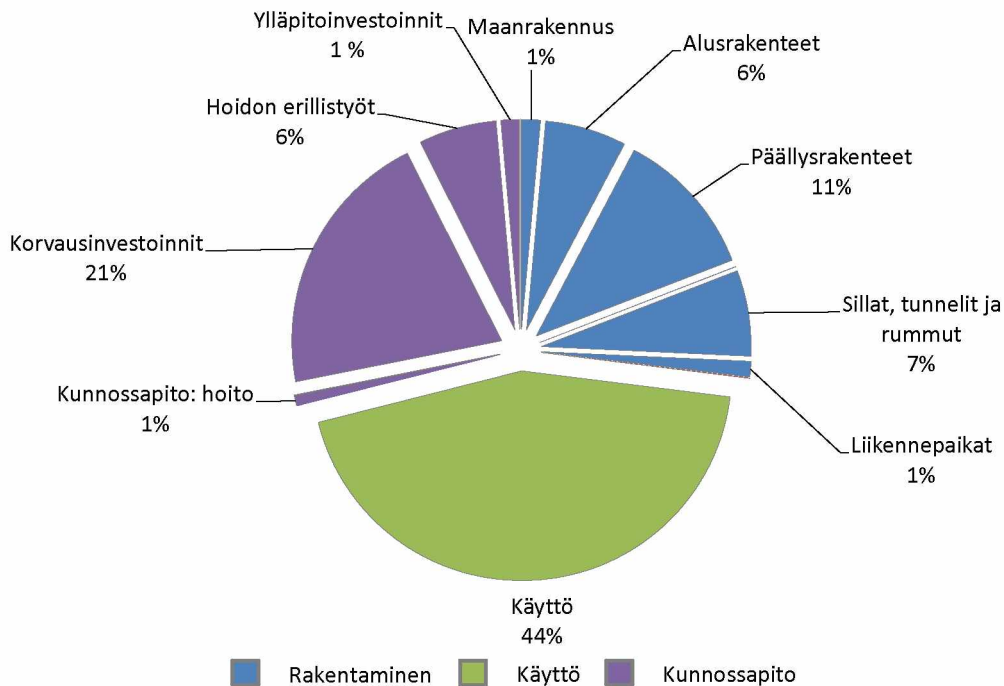
Oletettiin, että sähköistyksen rakenteisiin vaadittavia materiaaleja on Kemijärven ratapihalla 50 % (kg/rata-km) yksiraiteiseen Kouvola–Pieksämäki-rataosuuteen verrattuna. Esimerkiksi pylviä ja muita rakenteita ei asenneta joka raiteen väliin ja sama kaapeli ylittää useita raiteita, ennen kuin se johdetaan takaisin maahan. Tämän vuoksi myös kaapelikanavaa oletettiin olevan vain puolella sivuraiteiden kokonais-pituudesta.

Ratapihan siltojen rakentamisesta ei ollut saatavissa tietoja. Sen osalta lähtötiedot laskettiin suhteuttamalla Kouvola–Pieksämäki-rataosuuden siltojen teräs- ja betonimäärät siltojen pituuteen. Siltojen leveyksistä ei ollut saatavilla tietoa.

Rajaukset. Liikennepaikan rakenteista oli saatavilla tietoa ainoastaan laiturielementeistä, joten kaikki muut mahdolliset edellä mainitsemattomat rakenteet jätettiin laskelmien ulkopuolelle. Kunnossapidon osalta otettiin huomioon vain radan koneelliset tarkastukset kunnossapitotasolle 3 sekä lumenauraus, sillä tarkempia ratapihan kunnossapito-ohjelman tietoja ei ollut saatavilla.

#### 4.7.2 Tulokset

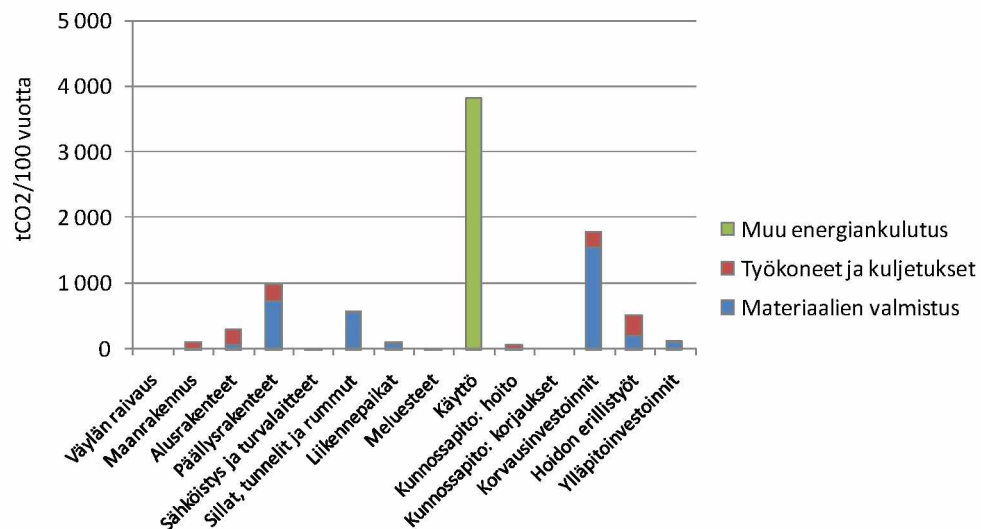
Kemijärven ratapihan ominaispäästöt ovat noin **19 tCO<sub>2</sub>/raide-km/v**. Sadan vuoden tarkastelujaksolla päästöjä syntyy yhteensä noin 9 tuhatta tonnia. Raidekilometriä kohti päästöt ovat samalla aikavälillä noin 1 600 tonnia/raide-km. Rataosuuksien ja ratapihojen tuloksia vertailtaessa täytyy ottaa huomioon, että ratapihojen päästöt laskettiin raidekilometriä eikä ratakilometriä kohti. Päästöjen jakautuminen prosesseittain on esitetty kuvassa 21. Prosesseista käytönaikainen energiankulutus (käytännössä sähkönkulutus) on ylivoimaisesti suurin yksittäinen päästöjen lähde.



Kuva 21. Päästöjen jakautuminen prosesseittain radanpidossa (Kemijärven rata piha).

Elinkaaren pääprosesseittain jaoteltuna noin 44 % päästöistä syntyy käytönaikaisesta energiankulutuksesta (käytännössä sähkönkulutuksesta), noin 29 % kunnossapidosta ja vain noin 27 % rakentamisesta.

Päästöjen alkuperän mukaan jaoteltuna materiaalien valmistuksen aiheuttamat päästöt ovat noin 39 % kokonaispäästöistä, työkoneiden ja kuljetusten noin 17 % ja käytönaikaisen energiankulutuksen noin 44 %. Kokonaispäästöjen jakautuminen prosesseittain päästöjen alkuperän mukaan on esitetty kuvassa 22.



Kuva 22. Päästöjen jakautuminen prosesseittain radanpidossa (Kemijärven ratapiha) päästöjen alkuperän mukaan.

## 4.8 Case 6: Toijalan ratapiha

### 4.8.1 Lähtötiedot, oletukset, rajaukset

**Lähtötiedot.** Toijalan ratapiha edustaa case-laskelmissa rataverkolla olevia keskikokoisia ratapihoja (Nummelin, 2011). Laskennan lähtötiedot perustuvat Riihimäki–Tampere-rataosuuden elinkaariselvitykseen, jossa Toijalan ratapiha on kuvattu yhtenä liikennepaikkana. Ratapihasta ei ollut saatavilla tarkempia tietoja sen enempää sen iästä kuin rakentamisen vaiheistakaan. Raiteiden yhteenlaskettu pituus on 16 raide-km (Nurminiemi et al., 2011a).

Arvio päällysrakenteiden materiaalipanoksista laskennassa perustui Riihimäki–Tampere-rataosuuden elinkaariselvityksessä eriteltyyn raidepituuteen eri kisko-profiileille, pölkkytyypeille sekä tukikerrosmateriaaleille. Sepelin menekki ja ratatyökoneiden käyttö laskettiin samalla tavalla kuin Kemijärven ratapihan tapauksessa.

Ratapihan laiturielementtien materiaalipanokset arvioitiin ratapihan henkilö-latureiden yhteispituuden (Nurminiemi et al., 2011a) ja laiturielementtituotteiden mittojen (Rudus, 2011) perusteella.

Toijalan ratapihalla sähköä kuluu valaistukseen, rakennusten lämmitykseen, vaihteenlämmitykseen, tievaroitulaitoksiin, liikenteenohjaukseen sekä muuhun määrittämättömään tarkoitukseen. Näistä vaihteenlämmityksen osuus on suurin.

**Oletukset.** Kuten Kemijärven ratapihankin osalta, *maanrakennus*-prosessissa oletettiin 50 % Kerava–Lahti-oikoradan kaivutöiden määrästä per raide-km ja alusrakenteiden materiaalien tarpeen arvioitiin olevan 50 % Kouvola–Pieksämäki-rataosuuden vastaavista. Väylän leveydeksi arvioitiin 5 m.

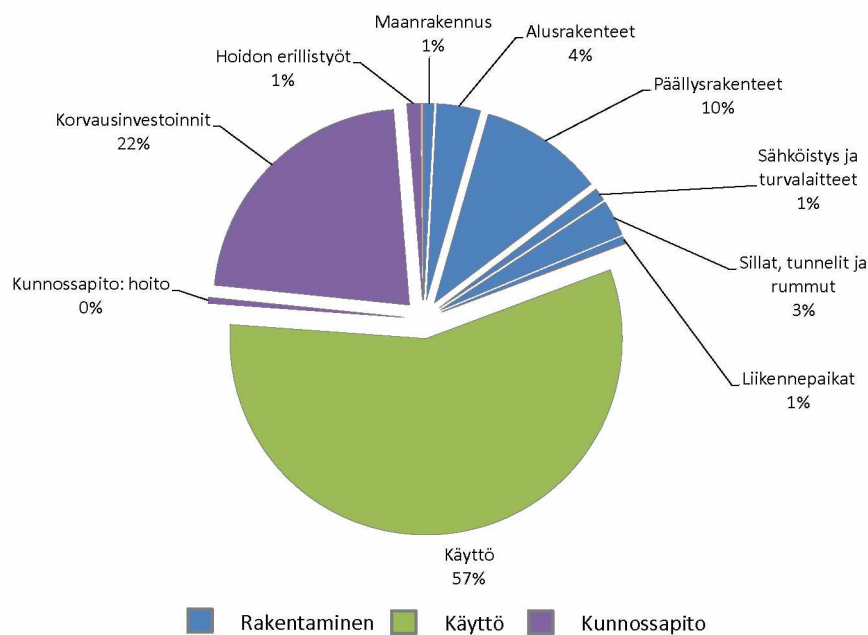
Sähköistyksen rakenteisiin vaadittavia materiaaleja arvioitiin Toijalan ratapihalla samoin oletuksin ja periaattein kuin Kemijärven ratapihan laskennassa eli 50 % (kg/rata-km) yksiraiteiseen Kouvola–Pieksämäki-rataosuuteen verrattuna. Vastaa- vasti kaapelikanavaa oletettiin olevan vain puolella sivuraiteiden kokonaispituudesta.

Ratapihan yhden alikulkusillan rakentamisesta ei ollut saatavissa tietoja, joten sen osalta lähtötiedot laskettiin samalla tavalla kuin Savonlinna–Huutokoski-rata- osuudella: suhteuttamalla Kouvola–Pieksämäki-rataosuuden siltojen teräs- ja betoni- määrät alikulkusillan pituuteen ja leveyteen. Ratapihan teräsbetoninen laattakehä- silta on yleinen siltatyypin Kouvola–Pieksämäki-rataosuudella (Siltarekisteri, 2010), joten sieltä saatujen materiaalien ominaistarpeiden voitiin olettaa antavan riittävän luotettavan arvion materiaalmäärästä.

**Rajaukset.** Liikennepaikan rakenteista oli saatavilla tietoa ainoastaan laiturielementeistä, joten kaikki muut mahdolliset edellä mainitsemattomat rakenteet jätettiin laskelmien ulkopuolelle. Kunnossapidon osalta otettiin huomioon vain radan koneelliset tarkastukset kunnossapitotasolle 1A sekä lumenauraus, sillä tarkempia Toijalan ratapihan kunnossapito-ohjelman tietoja ei ollut saatavilla.

#### 4.8.2 Tulokset

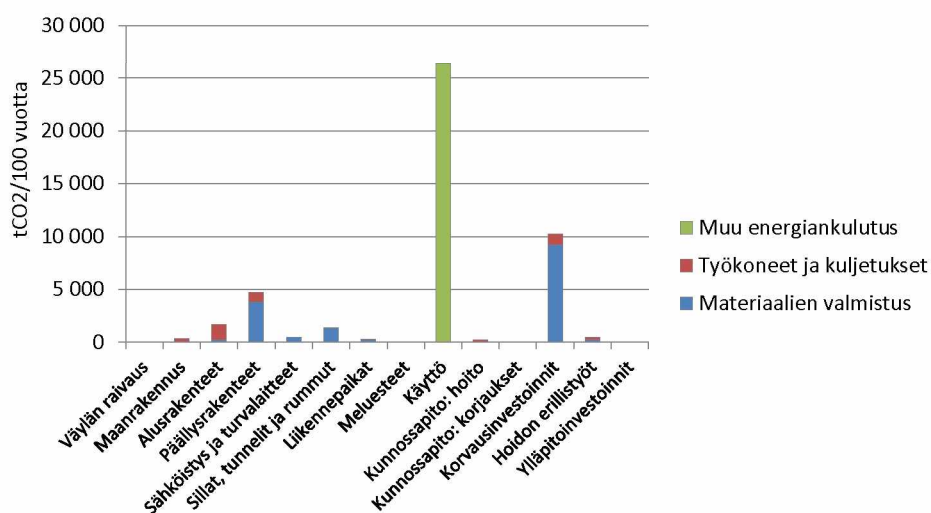
Toijalan ratapihan ominaispäästöt ovat noin **30 tCO<sub>2</sub>/raide-km/v**. Sadan vuoden tarkastelujaksolla päästöjä syntyy yhteensä noin 46 tuhatta tonnia. Raidekilometriä kohti päästöt ovat samalla aikavälillä noin 2 800 tonnia/raide-km. Päästöjen jakautuminen prosesseittain on esitetty kuvassa 23. Prosesseista käytönaikainen energiankulutus (käytännössä sähkönkulutus) on ylivoimaisesti suurin päästöjen lähde. Seuraavina tulevat korvausinvestoinnit ja päällysrakenteet.



Kuva 23. Päästöjen jakautuminen prosesseittain radanpidossa (Toijalan ratapiha).

Elinkaaren pääprosessieittain jaoteltuna noin 57 % päästöistä syntyy käytönaikaisesta energiankulutuksesta (käytännössä sähkönkulutuksesta), 24 % kunnossapidosta ja vain 19 % rakentamisesta.

Päästöjen alkuperän mukaan jaoteltuna materiaalien valmistuksen aiheuttamat päästöt ovat noin 34 % kokonaispäästöistä, työkoneiden ja kuljetusten noin 9 % ja käytönaikaisen energiankulutuksen noin 57 %. Kokonaispäästöjen jakautuminen prosesseittain päästöjen alkuperän mukaan on esitetty kuvassa 24.



Kuva 24. Päästöjen jakautuminen prosesseittain radanpidossa (Toijalan ratapiha) päästöjen alkuperän mukaan.

## 4.9 Case 7: Tampereen ratapiha

### 4.9.1 Lähtötiedot, oletukset, rajaukset

**Lähtötiedot.** Tampereen ratapiha edustaa case-laskelmissa rataverkon suuria ratapihoja. Laskennassa otettiin huomioon sekä Tampereen tavara- että henkilöratapiha. Laskennan lähtötiedot perustuvat tavara- ja henkilöratapihojen elinkaariselvityksiin. Laskennassa otettiin huomioon Liikenneviraston raiteet vaihteineen.

Tampereen tavararatapiha on pääsolmuratapiha/keskusjärjestelyratapiha, joka on otettu käyttöön 1980-luvulla. Ratapiha sisältää myös Viinikan automatisoidun laskumäen. Tavararatapihalla on sivuraiteita yhteensä hieman yli 52 raide-km, joista suurin osa on puupölkkyisiä, 54E1-kiskoilla varustettuja raiteita. (Nurminiemi et al., 2011b)

Tampereen henkilöratapiha sai alkunsa vuonna 1876, jolloin rakennettiin alkuperäinen Tampereen asematalo. Nykyinen asemarakennus on peräisin vuodelta 1936. Henkilöratapiha toimii keskusliikenneasemana, jolla on nykyään kolme laituria. Sivuraiteita on yhteensä hieman yli 17 raide-km. Raiteet ovat lähes kokonaan betonipölkkyisiä raiteita, joilla on 60E1-kiskot. (Nurminiemi et al., 2011c)

Tampereen tavara- ja henkilöratapihojen yhteenlaskettu raiteiden pituus on 70 raide-km. Siltoja on yhteensä 29. Niiden yhteenlaskettu pituus on 545 m. Suurin osa silloista on henkilöratapihan puolella (Nurminiemi et al. 2011b ja c).

Tampereen ratapihoilla sähköä kuluu valaistukseen, rakennusten lämmitykseen, vaihteenlämmitykseen, tievaroituslaitoksiin, liikenteenohjaukseen sekä muuhun määrittämättömään tarkoitukseen.

Ratapihat ovat kunnossapitotasoa 1A. Laskennassa otettiin huomioon radan tarkastukset tämän tason vaatimusten mukaisesti. Lisäksi hoitotoissa otettiin huomioon lumenauraus. Kunnossapitotoissa otettiin huomioon pölkkyjen hajavaihtoja, joita toteutettiin vuonna 2009 kunnossapito-ohjelman mukaan 1 100 kpl (Oy VR-Rata Ab, 2009).

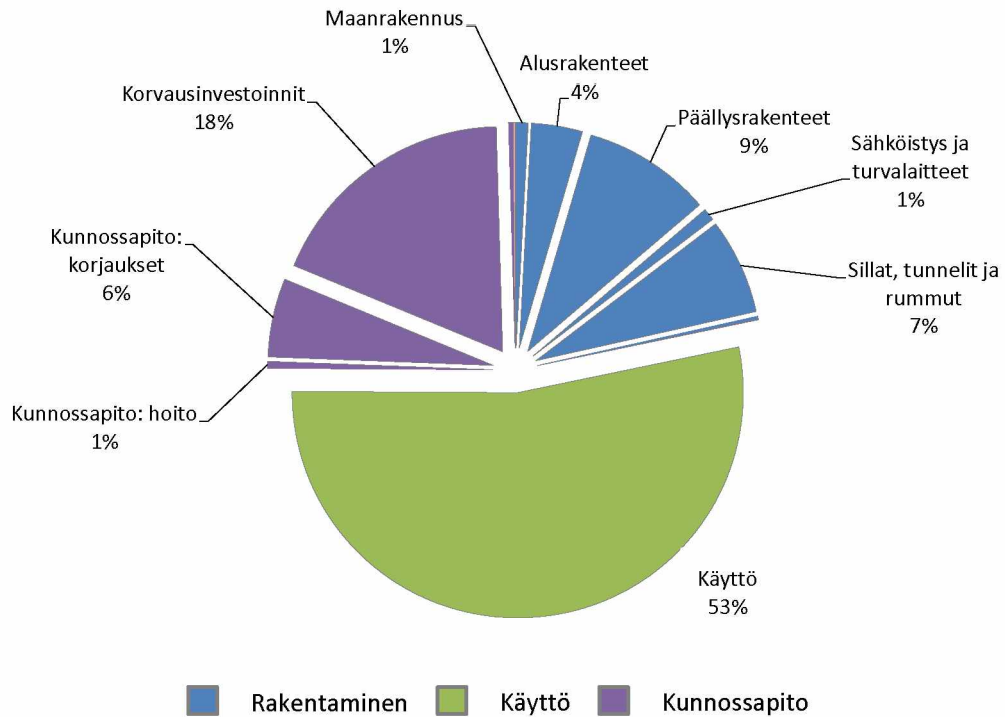
**Oletukset.** Maanrakennuksen, alusrakenteiden, päällysrakenteiden ja ratatyökoneiden osalta käytettiin samoja oletuksia kuin muiden ratapihojen laskelmien yhteydessä. Sähköistyksen rakenteisiin tarvittavien materiaalien tarpeen (kg/rata-km) oletettiin olevan 40 % yksiraiteisen Kouvola–Pieksämäki-rataosuuden vastaavista. Määrä arvioitiin pienemmäksi kuin muiden ratapihojen kohdalla (50 %), koska vain osa tavararatapihan raiteista on sähköistettyjä (Nurminiemi et al., 2011b).

Ratapihan siltojen rakentamisesta ei ollut saatavissa tietoja, joten siltojen osalta tarvittu materiaalmäärät arvioitiin samoin kuin Toijalan ratapihan kohdalla. Laiturielementtien materiaalipanokset arvioitiin samalla tavalla kuin muidenkin ratapihojen laskennoissa.

**Rajaukset.** Liikennepaikan rakenteista oli saatavilla tietoa ainoastaan laiturielementeistä, joten kaikki muut mahdolliset edellä mainitsemattomat rakenteet jätettiin laskelmien ulkopuolelle.

#### 4.9.2 Tulokset

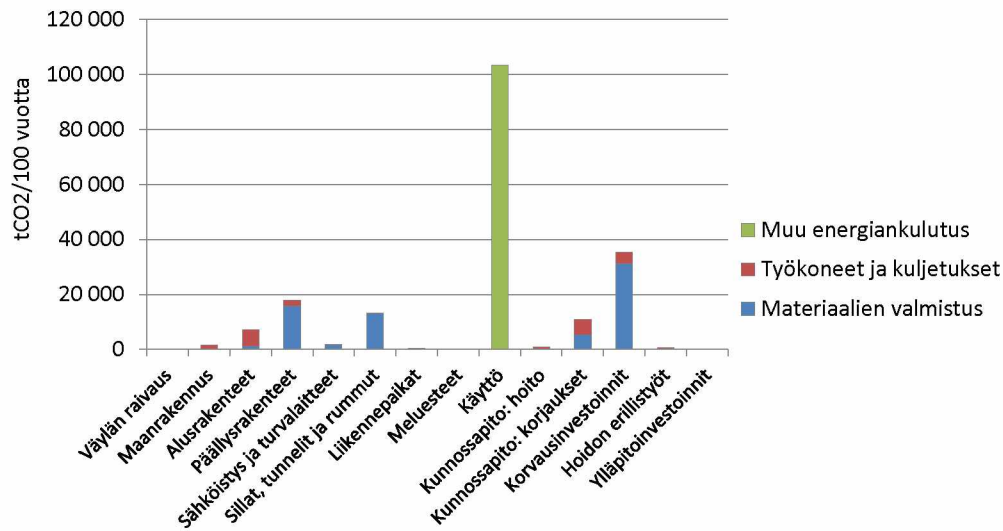
Tampereen ratapihan ominaispäästöt ovat noin 30 tCO<sub>2</sub>/km/v. Sadan vuoden tarkastelujaksolla päästöjä syntyy yhteensä noin 194 tuhatta tonnia, ja raidekilometriä kohhti päästöt ovat noin 2 800 tonnia/raide-km. Päästöjen jakautuminen prosesseittain on esitetty kuvassa 25. Prosesseista käyttö (käytännössä sähkönkulutus) on ylivoimaisesti suurin päästöjen lähde. Seuraavina tulevat korvausinvestoinnit ja päällysrakenteet.



Kuva 25. Päästöjen jakautuminen prosesseittain radanpidossa (Tampereen ratapiha).

Elinkaaren pääprosesseittain jaoteltuna noin 53 % päästöistä syntyy käytönaikaisesta energiankulutuksesta (käytännössä sähkönkulutuksesta), noin 25 % kunnossapidosta ja vain noin 22 % rakentamisesta.

Päästöjen alkuperän mukaan jaoteltuna materiaalien valmistuksen aiheuttamat päästöt kattavat noin 36 % kokonaispäästöistä, työkoneiden ja kuljetusten noin 11 % ja käytönaikaisen energiankulutuksen noin 53 %. Kokonaispäästöjen jakautuminen prosesseittain päästöjen alkuperän mukaan on esitetty kuvassa 26.



Kuva 26. Päästöjen jakautuminen prosesseittain radanpidossa (Tampereen rata-piha) päästöjen alkuperän mukaan.

## 4.10 Case-vertailu

### 4.10.1 Case-laskelmien tulosten vertailu

Taulukossa 2 on esitetty kaikkien case-laskelmien tulokset koko 100 vuoden tarkastelujaksolle sekä rataosuuden pituuteen suhteutetut luvut tarkastelujaksolle ja vuotta kohden. Lisäksi taulukkoon on kerätty tiedot päästöjen jakautumisesta rakentamiseen, käyttöön ja kunnossapitoon.

Taulukko 2. Radanpidon case-laskelmien tulokset.

Case	Elinkaari, 100v.				Päästöt per rata-km (tCO <sub>2</sub> /r-km)	Päästöt per vuosi (tCO <sub>2</sub> /v)	Päästöt per rata-km per vuosi (tCO <sub>2</sub> /r-km/v)
	Päästöt (tCO <sub>2</sub> )	Rakennus (%)	Käyttö (%)	Kunnossapito (%)			
<b>Kerava-Lahti-oikorata</b> (56 km)	313 000	46%	26%	28%	4 200	3 200	<b>43</b>
<b>Kouvola-Pieksämäki</b> (165 km)	304 000	38%	17%	45%	1 900	3 100	<b>19</b>
<b>Kontiomäki-Ämmänsaari</b> (82 km)	70 400	72%	7%	21%	860	750	<b>9</b>
<b>Savonlinna-Huutokoski</b> (66 km)	51 000	49%	4%	48%	770	520	<b>8</b>
					Päästöt per raide-km (tCO <sub>2</sub> /rd-km)	Päästöt per vuosi (tCO <sub>2</sub> /v)	Päästöt per raide-km per vuosi (tCO <sub>2</sub> /rd-km/v)
<b>Kemijärven ratapiha</b> (5 rd-km)	8 700	27%	44%	29%	1 600	100	<b>19</b>
<b>Toijalan ratapiha</b> (16 rd-km)	46 400	19%	57%	24%	2 800	490	<b>30</b>
<b>Tampereen ratapiha</b> (70 rd-km hrp ja trp)	194 000	22%	53%	22%	2 800	2 100	<b>30</b>



Rataosuuksien case-laskelmien ominaispäästöjä ( $\text{tCO}_2/\text{r-km}/\text{v}$ ) vertailtaessa havaitaan selkeä kolmijako: sähköistetty, kaksiraiteinen Kerava–Lahti-oikorata on hiilijalanjäljeltään selvästi raskain, seuraavana on sähköistetty, yksiraiteinen Kouvola–Pieksämäki ja kolmantena sähköistämättömät, yksiraiteiset Savonlinna–Huutokoski ja Kontiomäki–Ämmänsaari. Kerava–Lahti-oikoradan ominaispäästöt ovat yli kaksinkertaiset Kouvola–Pieksämäkeen verrattuina, mitä selittää osaltaan Kerava–Lahti-oikoradan merkittävä paalutus. Suurin yksittäinen päästölähde on paalutukseen ja paalulaattoihin käytetyn betonin valmistus, joka muodostaa noin 17 % Kerava–Lahti-oikoradan kokonaispäästöistä.

Kouvola–Pieksämäki-rataosuudella nousevat esiin maa-ainesten kuljetuksesta aiheutuvat päästöt. Tämä korostuu siksi, ettei maaleikkauksessa kaivettua maata oletettu voitavan hyödyntää radanrakennuspaikalla samassa määrin kuin esimerkiksi Kerava–Lahti-oikoradalla. Muita merkittäviä päästölähteitä ovat routalevyt sekä päällysrakenteen materiaalit (kiskot ja betonipölkkyt). Elinkaaren aikana kunnossapidon päästöt Kouvola–Pieksämäki-rataosuudella muodostavat suuremman osuuden kokonaispäästöistä kuin Kerava–Lahti-oikoradalla. Tämä johtuu muun muassa kevyemmästä rakentamisesta (ei paalutusta) ja suhteessa pienemmästä käytönaikaisesta energiankulutuksesta (erityisesti vaihteenlämmitys).

Savonlinna–Huutokoski- sekä Kontiomäki–Ämmänsaari-rataosuuksilla on Kerava–Lahti-oikorataan ja Kouvola–Pieksämäki-rataosuuteen verrattuna vanhemmat päällysrakenteet. Merkittävin päästöjen lähde Savonlinna–Huutokoski-radalla on maa-ainesten kuljetus. Kontiomäki–Ämmänsaari-rataosuudella suurimpia päästöjen lähteitä ovat maa-ainesten kuljetuksen lisäksi teräsrakenteiset sillat. Kontiomäki–Ämmänsaari-rataosuudella myös kunnossapidon osuus päästöistä on pienempi kuin muilla yksiraiteisilla radoilla, koska radan kuntoa ylläpidetään lähinnä pölkkyjen ja kiskojen hajavaihoilla, jolloin korvausinvestoinnit jäävät pieniksi verrattuna muihin rataosuuksiin.

Savonlinna–Huutokoski- ja Kontiomäki–Ämmänsaari-rataosuuksien suurimmat suhteelliset erot johtuvat silloista: Kontiomäki–Ämmänsaari-rataosuudella siltatiheys (8,7 m siltaa/km rataa) on suurempi kuin Savonlinna–Huutokoski-rataosuudella (2,4 m siltaa/km rataa). Lisäksi ensin mainitun rataosuuden siltojen (terästä) päästökerroin on suurempi kuin jälkimmäisen siltojen (enimmäkseen teräsbetonia).

Radan sähköistys näkyy tuloksissa lähinnä käytönaikaisen energiankulutuksen päästöissä, jotka ovat sähköistetyillä rataosuuksilla 17–26 % kokonaispäästöistä ja sähköistämättömillä 4–7 %. Sähköistyksen vaatiman infrastruktuurin rakentaminen ei puolestaan vaikuta merkittävästi päästöihin: sähköistetyillä rataosuuksilla tämän osuus kokonaispäästöistä on vain muutaman prosentin luokkaa. Sähköistämättömillä rataosuuksilla (Kontiomäki–Ämmänsaari ja Savonlinna–Huutokoski) korostuu puolestaan rakentaminen, jonka osuus on noin puolet kokonaispäästöistä tai enemmän.

Case-laskelmissa oli mukana kolme erikokoista ratapihaa, joiden laskentatulokset osoittavat, että hiilijalanjäljen osalta ratapihan kokoon suhteutetut päästöt ovat hyvin lähellä toisiaan, kun puhutaan keskisuurista ja suurista ratapihoista. Ero pieniin ratapihoihin verrattuna on selvä. Pienet ratapihat ovat päästöiltään samaa luokkaa yksiraiteisten sähköistettyjen pääratojen kanssa.

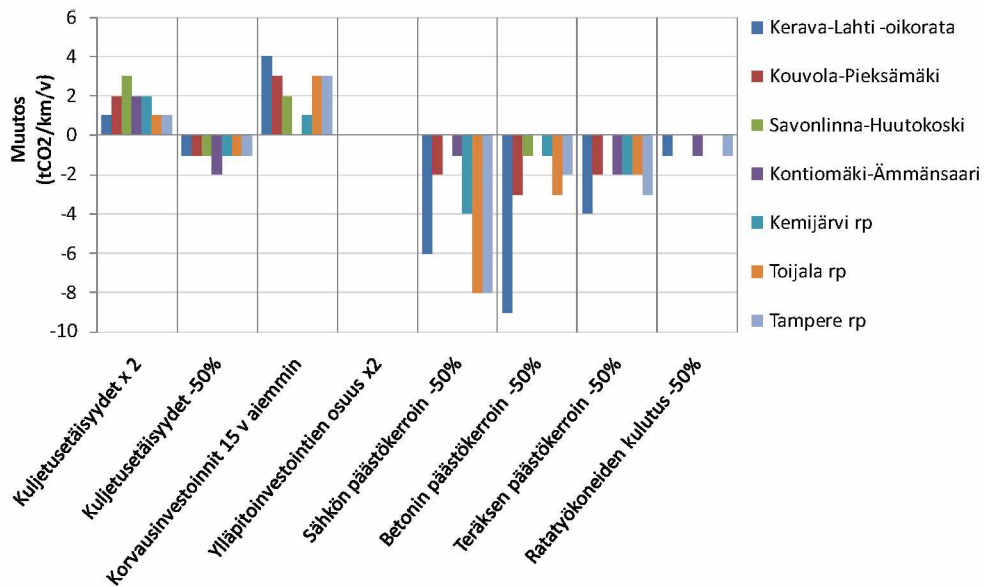
Lähtötietojen vähäisyyden vuoksi monissa case-laskelmissa johdettiin laskentaan tarvittavat tiedot useassa prosessissa muiden case-laskelmien pohjalta. Kerava–Lahti-oikoradan *maanrakennus*-prosessin ja Kouvola–Pieksämäki-rataosuuden *alusrakenteet, sähköistys ja turvalaitteet, sillat tunnelit ja rummut* sekä *melusteet*-prosessien lähtötietoja hyödynnettiin muissa case-laskelmissa, esimerkiksi Kontiomäki–Ämmänsaari-rataosuuden laskelmissa. Lisäksi lumenaurausta koskevat laskelmat pohjautuvat täysin Kerava–Lahti-oikoradan tietoihin. *Alusrakenteet*-prosessiin kohdistuvilla oletuksilla on laskennan kannalta merkittävimmät vaikutukset hiilijalanjälkeen. Sekä Savonlinna–Huutokoski- että Kontiomäki–Ämmänsaari-rataosuudella alusrakenteiden päästöt muodostavat noin 25 % koko hiilijalanjäljestä. Muiden prosessien osalta lähtötietojen lainaamisen vaikutukset jäävät pienemmiksi. Ratapihojen laskelmissa vaikutukset ovat myös suhteellisen pieniä, sillä niiden osalta käytönaikaisella sähkönkulutuksella on hallitseva merkitys hiilijalanjäljen kannalta.

#### 4.10.2 Herkkyysanalyysi

Laskennassa tehtiin useita oletuksia. Oletukset, joilla voitiin olettaa olevan suurin vaikutus laskennan lopputulokseen ja joille sen vuoksi tehtiin herkkyysanalyysi, ovat:

- maa-ainesten ja materiaalien kuljetusetäisyydet (pois lukien kiskot, pölkyt ja vaihteet)
- korvausinvestointien tiheys
- ylläpitoinvestointien osuus korvausinvestoinneista
- keskeiset päästökertoimet

Herkkyysanalyysin tulokset on koottu kuvaan 27, josta nähdään, että keskeisillä päästökertoimilla (tässä sähkö ja betoni) on yleisesti ottaen merkittävin vaikutus päästöihin. Sähkön päästökerroin vaikuttaa eniten ratapihojen päästöihin, sillä niillä sähkönkulutus on yli puolet kokonaispäästöistä. Betonin päästökerroin vaikuttaa puolestaan eniten Kerava–Lahti-oikoradan päästöihin johtuen paalutuksesta. Korvausinvestointien tiheyden kasvattaminen lisää päästöjä siinä suhteessa, kuinka suuri merkitys korvausinvestoinneilla on case-laskelman kokonaispäästöihin nähden. Herkkyysanalyysistä nähdään myös, ettei ratatyökoneiden polttoaineen kulutuksen vähentämisellä ole suurta vaikutusta kokonaispäästöihin. Ylläpitoinvestointien arviointiin käytetyillä oletuksilla ei ole havaittavaa vaikutusta kokonaispäästöihin.



Kuva 27. Ominaispäästöjen herkkyyshanalyysi, radanpito.

#### 4.10.3 Johtopäätökset

Case-laskelmien tulosten ja herkkyyshanalyysin perusteella voidaan todeta, että rataverkon hiilijalanjälkeen vaikuttavat lähes kaikissa prosesseissa eniten materiaalien valmistuksessa syntyneet päästöt. Teräksen päästökerroin on suurempi kuin betonin, mutta radan rakenteissa on suhteessa paljon enemmän betonia kuin terästä. Myös erikoisilla materiaaleilla, kuten routalevyillä ja kreosoottiöljyllä, on suhteellisen korkeat päästökertoimet. Niitä on case-rataosuuksilla kuitenkin vain pieniä määriä verrattuna betoniin ja teräkseen.

Sähköistyksen merkitys on monitahoinen. Sähköistyksen infrastruktuurin rakentamisen päästövaikutus on vähäinen, mutta infrastruktuurin olemassaololla on merkittävä vaikutus ratainfrastruktuurin käytön aikaisiin päästöihin, kun käytetään sähkölle nykyistä, keskimääräistä päästökertointa. Nämä käytön aikaiset päästöt korostuvat ratapihoilla. Kokonaisuuden kannalta merkittävämpää on kuitenkin sähköistyksen edullinen vaikutus liikennöinnin päästöihin, kun dieselveturit voidaan korvata sähkövetureilla.

Hiilidioksidipäästöihin voi periaatteessa vaikuttaa eniten materiaalien valintojen kautta. Käytännössä kuitenkin valinnanvaraa on niukalti johtuen ratateknisistä määräyksistä ja vaatimuksista: turvallisuus- ja muut standardit asettavat tiukat normit rakenteille, erityisesti pölkyille ja kiskoille. Paalutuksen välttäminen on tehokas keino minimoida uuden radan hiilijalanjälkeä, mutta se edellyttää asian ottamista huomioon ratalinjauksen suunnittelussa riittävän ajoissa. Materiaalihankintojen kuljetusestäisyyksien pienentämisellä ja kunnossapidon optimoinnilla voidaan saada aikaan pieniä säästöjä. Kunnossapidon optimointi voisi tarkoittaa esimerkiksi sitä, että korvausinvestoinnit tehdään mahdollisimman myöhään ja tarvetta pienempiin korjauksiin minimoidaan.

Sähkönkulutuksen pienentäminen tai siirtyminen uusiutuvaan energiaan sähkön- tuotannossa tai -hankinnassa auttaa merkittävästi hiilijalanjäljen pienentämisessä

etenkin sähköistetyillä rataosuuksilla ja ratapihoilla. Laskennassa käytettiin sähkön päästökertoimena Suomen keskimääräistä sähköntuotannon päästökerrointa, mutta esimerkiksi tällä hetkellä vaihteenlämmitykseen hankitaan jo uusiutuvaa energiaa (ORY, 2011).

Tässä hankkeessa pyrittiin ensimmäistä kertaa Suomessa hahmottamaan radanpidon päästövaikutuksia. Sitä mukaa kun tietopohja laajenee ja käytettävissä olevan tiedon laatu paranee, laskentaa pitäisi tarkentaa lähtötietojen ja oletusten osalta. Uusien hankkeiden yhteydessä rakentamisen vaatimista materiaalipanoksista ja prosesseista on saatavilla tarkempia tietoja kuin vanhoilta, olemassa olevilta rataosuuksilta. Tämä näkyi tässäkin hankkeessa siinä, että Kerava–Lahti-oikoradasta oli saatavilla paljon tarkemmat tiedot kuin vanhemmista rataosuuksista. Erityisesti kunnossapitotöiden määrästä ja niihin liittyvien materiaalipanosten määrästä pitäisi saada nykyistä tarkempaa tietoa, jotta hiilijalanjätkilaskennan tulosten laatua voidaan parantaa.

## 5 Suomen tie- ja rataverkon hiilijalanjälki

### 5.1 Tie- ja rataverkon luokittelu

Tie- ja rataverkko on luokiteltava tarkoitukseen soveltuvalla tavalla koko maantie- ja rautatieinfrastruktuurin hiilijalanjäljen arvioimiseksi. Ollakseen käyttökelpoinen luokituksen tulee perustua yhtäältä olemassa olevaan tilastotietoon, toisaalta case-laskelmien avulla hankittuun näkemykseen suurimmista hiilijalanjälkeen vaikuttavista tekijöistä. Lisäksi luokittelun on oltava mahdollisimman yksinkertainen mutta perusteltu. Tie- ja rataverkolla tarkoitetaan tässä yhteydessä valtion tie- ja rataverkkoa, ei siis katuja, lauttareittejä, yksityisteitä eikä -ratoja.

Analyysin tuloksena tieverkon hiilijalanjälkiluokittelun perustaksi otettiin:

- 1) tietyyppi (moottoritie, valtatie, kantatie, seututie, yhdystie)
- 2) tien leveys (Liikenneviraston tieluokituksen mukaisella jaotuksella)

Tien leveys korreloi suoraan rakentamisen hiili-intensiivisyyden kanssa. Tietyyppi puolestaan heijastelee sekä rakentamisen että käytön ja kunnossapidon hiili-intensiivisyyttä. Työssä tunnistettiin muitakin mahdollisia (lisä)luokitteluperusteita, kuten liikennemäärät. Niitäkin voitaisiin käyttää luokittelussa ja saavuttaa samankaltaisia lopputuloksia, mutta luokittelu ja sen pohjalta suoritettava laskenta olisi huomattavasti työläämpää eikä lopputulos silti olisi välttämättä yhtään tarkempi kuin tällä yksinkertaisella tavalla toteutettuna.

Analyysin tuloksena rataverkon hiilijalanjälkiluokittelun perustaksi otettiin:

- 1) raiteiden lukumäärä (yksiraiteinen, kaksi- tai useampiraiteinen)
- 2) sähköistys (on/ei)

Raiteiden lukumäärä on analoginen luokitteluparametri tien leveyden kanssa. Vastaavasti rataosuus joko on tai ei ole sähköistetty, joten luokitteluparametrit ovat radanpidossa yksinkertaisemmat kuin tienpidossa. Kunnossapitotaso, joka heijastelisi rataosuuden liikenne- ja tonnimääriä, voisi myös olla yksi luokitteluparametri. Koska case-laskelmat eivät tukeneet tällaista ratkaisua ja koska kunnossapidon eräistä osa-alueista saatavilla ollut tieto oli epävarmaa, puuttuvaa tai hyvin yleisellä tasolla (euromääräistä), luokittelumallin monimutkaistaminen ei olisi ollut perusteltua.

Ratapihat luokiteltiin koon perusteella kolmeen luokkaan:

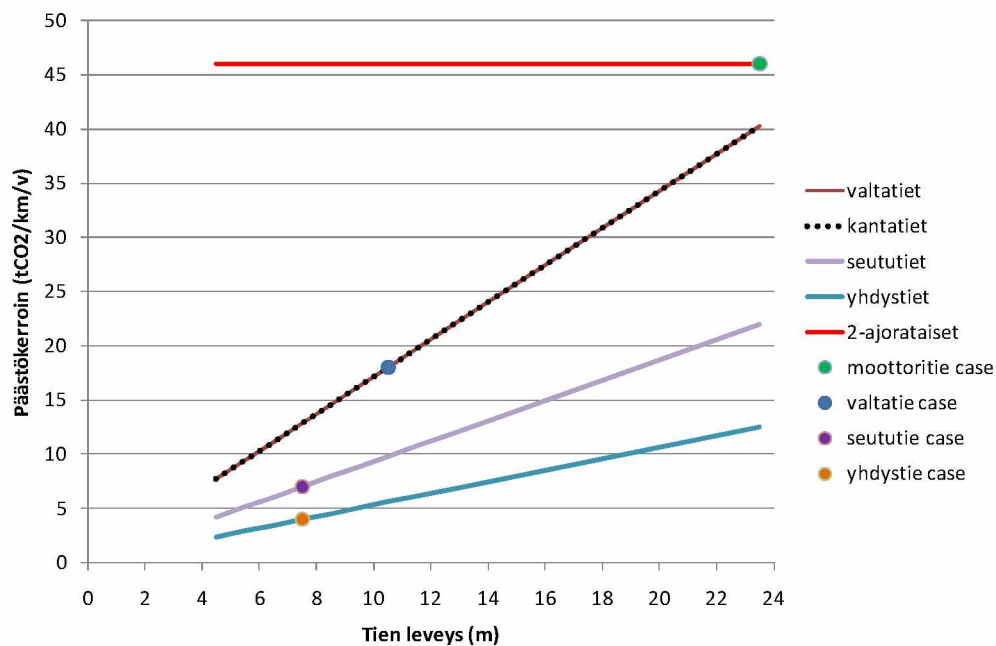
- 1) suuret
- 2) keskisuuret
- 3) pienet

Suomen ratapihat jaettiin yllä mainittuihin suuruusluokkiin, ja kuhunkin luokkaan kuuluvien ratapihojen raidekilometrimäärät laskettiin asiantuntijatyönä.

## 5.2 Tieverkon yleistysmalli ja tulokset

### Yleistysmalli

Case-laskelmat tehtiin neljälle tietyypille (moottoritie, valtatie, seututie, yhdystie) viidestä, eli muille kuin kantatielle. Kunkin case-laskelman oletettiin kuvaavan riittävällä tarkkuudella kyseisen tietyypin hiili-intensiivisyyttä ( $\text{tCO}_2/\text{km/v}$ ). Case-laskelmien pohjalta todettiin, että tietyypin lisäksi tien leveys vaikuttaa suoraan hiilijalanjälkeen. Tämän perusteella muodostettiin yleistysmalli, jossa kunkin tietyypin hiilijalanjälki riippuu lineaarisesti tien leveydestä ja kunkin tietyypin case-laskelma määrittää riippuvuuden voimakkuuden (suoran kulmakertoimen). Yleistysmalli on havainnollistettu kuvassa 28.



Kuva 28. Tienpidon hiilijalanjäljen yleistysmalli.

Kantatie rinnastettiin mallissa valtatiehen, koska niiden välillä ei ole eroa rakentamisessa eikä kunnossapidossa (ORY, 2011). Kaksiajorataisia teitä (1127 km) ei ole tilastoinnissa luokiteltu leveyden mukaan, mutta suurin osa niistä on moottoritieitä (765 km) ja moottoriliikenneteitä (110 km) (Liikennevirasto, 2010). Varovaisuusperiaatteella kaikkien kaksiajorataisten teiden ominaispäästökseen oletettiin sama kuin moottoritien case-laskelmassa tien leveydestä riippumatta ( $46 \text{ tCO}_2/\text{km/v}$ ).

Tietilastossa 2009 Suomen maantiet on jaettu tietyypin ja tien leveyden mukaan taulukon 3 (Liikennevirasto, 2010) mukaisesti.

Taulukko 3. Ote Tietilastosta 2009 (Liikennevirasto, 2010).

ELY-keskus ELY-central Regional centre (ELY)	Leveys – Bredd – Width m										2-ajorataiset Vägar med 2-körbanor Dual car- riageways	Yht. Summa Total 1.1.2010
	-4,9	5,0-5,9	6,0-6,9	7,0-7,9	8,0-8,9	9,0-9,9	10,0-10,9	11,0-11,9	12,0-	km		
<b>Lappi – Lapland</b>	<b>1 841</b>	<b>1 745</b>	<b>2 738</b>	<b>1 680</b>	<b>643</b>	<b>208</b>	<b>164</b>	<b>7</b>	<b>25</b>	<b>37</b>	<b>9 087</b>	
Valtatiet – Riksvägar	-	-	160	399	363	179	110	1	18	35	1 265	
Kantatiet – Stamvägar	-	6	205	649	123	3	31	2	3	1	1 021	
Seututiet – Regionvägar	129	204	1 195	450	127	22	13	2	2	-	2 143	
Yhdystiet – Förbindelsevägar	1 712	1 535	1 178	182	31	5	10	2	2	1	4 658	
<b>Koko maa – Hela landet –</b>	<b>4 145</b>	<b>14 249</b>	<b>27 480</b>	<b>16 414</b>	<b>7 896</b>	<b>2 574</b>	<b>3 270</b>	<b>323</b>	<b>684</b>	<b>1 127</b>	<b>78 161</b>	
Valtatiet – Riksvägar	-	-	182	619	2 770	1 162	2 222	177	494	943	8 568	
Kantatiet – Stamvägar	-	6	357	1 463	1 879	435	360	74	78	108	4 760	
Seututiet – Regionvägar	131	355	3 678	5 819	2 047	768	534	47	97	61	13 537	
Yhdystiet – Förbindelsevägar	4 014	13 888	23 262	8 514	1 200	208	155	25	15	15	51 295	

Tieverkon hiilijalanjälkilaskentaa varten Tietilaston leveysvälit korvattiin kunkin välin keskiarvolla ja kapeimman leveysvälin (alle 4,9 m) alarajaksi oletettiin 4,0 m ja leveimmän (yli 12,0 m) ylärajaksi oletettiin 13,9 m. Näin saatiin diskreetit laskentapisteen kullekin taulukon 4 solulle.

Taulukko 4. Suomen maantiet (km) leveyden mukaan jaoteltuna.

Tietyyppi	Tien leveys (m)									Yhteensä
	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	13	
valtatiet	0	0	182	619	2770	1162	2222	177	494	7626
kantatiet	0	6	357	1463	1879	435	360	74	78	4652
seututiet	131	355	3678	5819	2047	768	534	47	97	13476
yhdystiet	4014	13888	23262	8514	1200	208	155	25	15	51281
2-ajorataiset										1127
<b>Koko maa</b>										<b>78162</b>

Ominaispäästökertoimet kullekin tietyypille ja kullekin taulukon 4 tien leveydelle määriteltiin kuvassa 28 havainnollistetun lineaarisen mallin mukaisesti. Päästökertoimet on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Ominaispäästökertoimet (tCO<sub>2</sub>/km/v) tietyypeittäin ja tienleveysittäin (case-tulokset merkitty punaisella).

Tietyyppi	Tien leveys (m)									
	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	13	23,5
valtatiet	7,71	9,43	11,14	12,86	14,57	16,29	<b>18,00</b>	19,71	22,29	40,29
kantatiet	7,71	9,43	11,14	12,86	14,57	16,29	18,00	19,71	22,29	40,29
seututiet	4,20	5,13	6,07	<b>7,00</b>	7,93	8,87	9,80	10,73	12,13	21,93
yhdystiet	2,40	2,93	3,47	<b>4,00</b>	4,53	5,07	5,60	6,13	6,93	12,53
2-ajorataiset	46	46	46	46	46	46	46	46	46	<b>46</b>

Koko Suomen maantieverkon hiilijalanjälki laskettiin kertomalla taulukoiden 4 ja 5 vastaavat solut keskenään ja laskemalla näin saadut tietyyppi- ja tienleveyskohtaiset vuosipäästöt yhteen.

## Tulokset

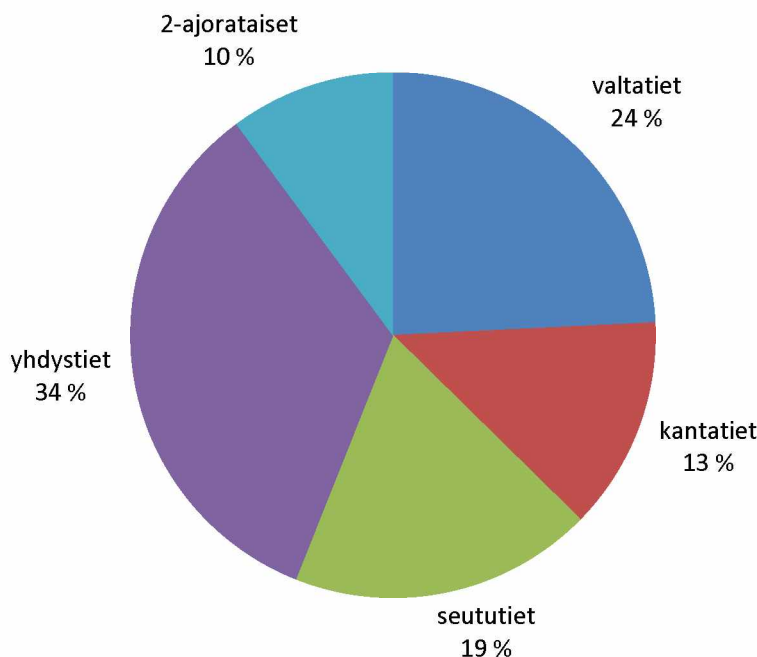
Taulukossa 6 on esitetty tietyyppi- ja tienleveyskohtaiset vuosipäästöt (hiilijalanjälki) sekä koko Suomen maantieverkon hiilijalanjälki. Vuositasolla hiilijalanjäljeksi saatiin noin 511 000 tCO<sub>2</sub>/v. Ominaispäästöjen keskiarvot vaihtelivat tietyypeittäin välillä 3–46 tCO<sub>2</sub>/km/v.

Taulukko 6. Suomen maantieverkon hiilijalanjälki.

Hiilijalanjälki (tCO <sub>2</sub> /v)											
Tietyyppi	Tien leveys (m)									Yhteensä	Keskiarvo (tCO <sub>2</sub> /km/v)
	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	13		
valtatie	0	0	2028	7959	40363	18924	39996	3489	11009	<b>123768</b>	16
kantatie	0	57	3978	18810	27380	7084	6480	1459	1738	<b>66986</b>	14
seututie	550	1822	22313	40733	16240	6810	5233	504	1177	<b>95382</b>	7,1
yhdystie	9634	40738	80642	34056	5440	1054	868	153	104	<b>172689</b>	3,4
2-ajorataiset										<b>51842</b>	46
<b>Koko maa</b>										<b>510667</b>	

Kuvassa 29 on esitetty hiilijalanjäljen jakautuminen tietyypeittäin. Tietyyppien erilaisista ominaispäästökertoimista huolimatta kilometrimäärät ovat kokonaisuuden kannalta ratkaisevat. Yhdysteillä on pienimmät ominaispäästökertoimet mutta kilometrejä ylivoimaisesti eniten. Siksi yhdysteillä on myös suurin yhteenlaskettu hiilijalanjälki: noin 34 % koko maantieverkon hiilijalanjäljestä. Kaksiajorataisilla teillä puolestaan on selvästi suurin ominaispäästökerroin mutta pienestä kilometrimäärästä johtuen kuitenkin pienin kokonaishiilijalanjälki (noin 10 %).

Valtateiden, kantateiden ja yhdysteiden keskiarvoistettu ominaishiilijalanjälki (tCO<sub>2</sub>/km/v) on hieman pienempi kuin vastaavan case-laskelman, koska kyseisten tietyyppien keskimääräinen tien leveys on hieman pienempi kuin case-tieosuuksilla.



Kuva 29. Suomen maanteiden hiilijalanjäljen jakauma tietyypeittäin.



## 5.3 Rataverkon yleistysmalli ja tulokset

### Yleistysmalli

Rataverkon yleistyslaskelmat perustuvat Suomen rautatietilastoon 2010 (Liikennevirasto, 2010), asiantuntijatyöhön ja case-laskelmiin. Yleistysmallissa erotettiin ratapihaton rataverkko ja ratapihat toisistaan, jotta yleistyslaskelmat voitiin tehdä laskemalla yhteen rataosuuksien ja ratapihojen hiilijalanjäljet. Tähän ratkaisuun päädyttiin, koska ratapihoilla ei pystytty erottelemaan sivuraiteiden materiaali- ja energiatarpeita pääraiteiden vastaavista. Asiantuntijatyönä laskettiin ratapihojen raidekilometrimäärät kokoluokittain (Taulukko 7) sekä ratapihojen läpi kulkevat pääraidekilometrit (630 km). Ratapihojen kaikkien raiteiden – pääraiteiden, sivuraiteiden, turvuraiteiden ja vaihdekujien – pituus on yhteensä noin 2 400 raidekilometriä (Kantojärvi, 2011).

Rautatietilastossa rataverkon ratakilometrit on luokiteltu yksiraiteisiin ja kaksi- tai useampiraiteisiin sekä sähköistettyyn ja sähköistämättömään rataan. Näiden rataluokkien tilastoiduista ratakilometreistä vähennettiin ratapihojen pääraidekilometrit päällekkäisyyksien välttämiseksi. Kustakin rataluokasta vähennettiin kilometrejä suhteessa kyseisen rataluokan osuuteen koko rataverkon ratakilometreistä. Toisin sanoen ratapihojen oletettiin olevan tasaisesti jakautuneita koko rataverkolle, ratatyypistä riippumatta. Ratapihattomat ratakilometrit ratatyypeittäin on esitetty Taulukossa 7.

Taulukko 7. Rataluokitus, liikennepaikattomat ratakilometrit ja ratapihojen raidekilometrit.

Rataluokka	Ratakilometrit (r-km)	Osuus rataverkosta
Yksiraiteinen	4 780	90 %
Yksiraiteinen, sähköistämätön	2 548	48 %
Yksiraiteinen, sähköistetty	2 231	42 %
Kaksi/useampiraiteinen	509	10 %
Kaksi/useampiraiteinen, sähköistetty	509	10 %
<b>Ratapihaton rataverkko</b>	<b>5 289</b>	
Ratapiha	Raidekilometrit (rd-km)	Osuus ratapihoista
Pieni	1 460	61 %
Keskisuuri	400	17 %
Suuri	540	23 %
<b>Kaikki ratapihat</b>	<b>2 400</b>	

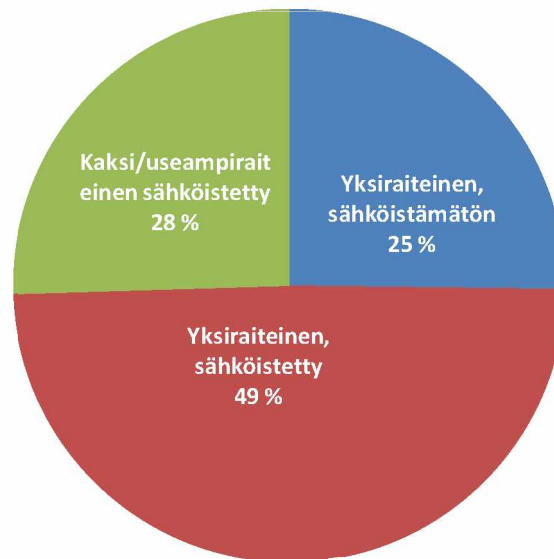
Case-laskelmista saatiin ominaispäästökertoimet niin rataluokille ( $\text{tCO}_2/\text{r-km/v}$ ) kuin ratapihoille ( $\text{tCO}_2/\text{rd-km/v}$ ) (Taulukko 8). Yksiraiteisten sähköistämättömien ratojen ominaispäästökertoimena käytettiin Savonlinna–Huutokoski- ja Kontiomäki–Ämmänsaari-rataosuuksien keskiarvoa. Rataluokkakohtaiset hiilijalanjäljet saatiin sitten kertomalla kunkin rataluokan ratakilometrit vastaavalla ominaispäästökertoimella; samoin ratapihojen kertomalla raidekilometrimäärä asianomaisen kokoluokan (casen) ominaispäästökertoimella. Koko rataverkon hiilijalanjälki saatiin laskemalla luokkakohtaiset hiilijalanjäljet yhteen.

Taulukko 8. Ominaispäästökertoimet rataluokille ja ratapihoille.

Rataluokka	Ratakilometrit (r-km)	Osuus rataverkosta (%)	Case-laskelma	Päästökerroin ( $\text{tCO}_2/\text{r-km/v}$ )
Yksiraiteinen	5 780	90 %		
Yksiraiteinen, sähköistämätön	2 548	48 %	Savonlinna–Huutokoski	8
			Kontiomäki–Ämmänsaari	9
Yksiraiteinen, sähköistetty	2 231	42 %	Kouvola–Pieksämäki	19
Kaksi/useampiraiteinen	509	10 %		
Kaksi/useampi- raiteinen, sähköistetty	509	10 %	Kerava–Lahti- oikorata	43
<b>Ratapihaton rataverkko</b>	<b>5 289</b>			
Ratapiha	Raidekilometrit (rd-km)	Osuus ratapihoista	Case-laskelma	Päästökerroin ( $\text{tCO}_2/\text{rd-km/v}$ )
Pieni	1 460	61 %	Kemijärvi	19
Keskisuuri	400	17 %	Toijala	30
Suuri	540	23 %	Tampere	30
<b>Kaikki ratapihat</b>	<b>2 400</b>			

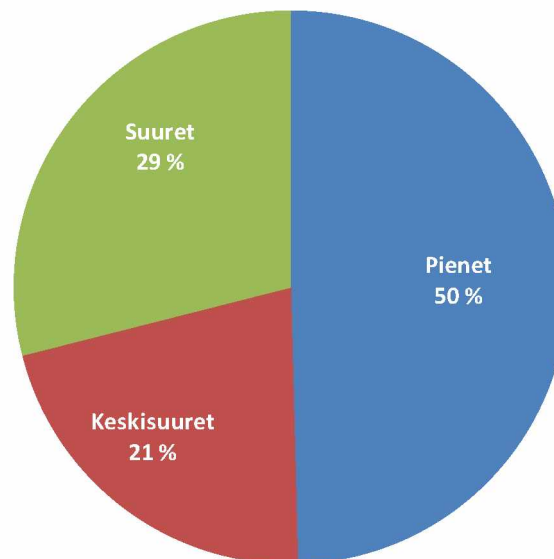
## Tulokset

Rataverkolle sovelletun luokituksen ja laskentamallin pohjalta saatiin liikennepaikattoman rataverkon hiilijalanjäljeksi noin 86 000  $\text{tCO}_2/\text{v}$ . Ratapihojen hiilijalanjäljeksi saatiin noin 56 000  $\text{tCO}_2/\text{v}$ . Yhteensä radanpidon hiilijalanjäljeksi saatiin noin 142 000  $\text{tCO}_2/\text{v}$ . Ratapihattoman rataverkon päästöt muodostavat noin 61 % koko rataverkon hiilijalanjäljestä ja ratapihat noin 39 %. Kuvassa 30 on esitetty liikennepaikattoman rataverkon hiilijalanjäljen jakautuminen rataluokittain.



Kuva 30. Suomen rataverkon (ilman ratapihoja) hiilijalanjäljen jakautuminen rataluokittain.

Kuvassa 31 on esitetty ratapihojen päästöjen jakautuminen erikokoisille ratapihoille.



Kuva 31. Suomen rataverkon ratapihojen hiilijalanjäljen jakautuminen ratapihan koon mukaan.

## 5.4 Virhearviot

### 5.4.1 Tieverkko

Koko maantieverkon hiilijalanjäljen arvioimiseen case-laskelmien pohjalta liittyy sekä case-laskelmiin että yleistysmalliin liittyviä virhelähteitä. Case-laskelmista johtuvia virhelähteitä ovat:

- epätarkat ominaispäästökertoimet ( $\text{tCO}_2/\text{km/v}$ ) case-tieosuuksilla
- case-tieosuuksien edustavuus koko maantieverkon kannalta

Yleistysmallista johtuvia virhelähteitä ovat:

- kapeimpien ja leveimpien teiden käsittely yleistysmallissa
- tien leveydestä riippumaton ominaispäästökerroin kaksiajorataisilla teillä
- hiilijalanjäljen riippuvuus tien leveydestä (lineaarinen vs. epälineaarinen)

**Epätarkat ominaispäästökertoimet.** Case-laskelmat eivät tuottaneet tarkkoja hiilijalanjälkiä monesta syystä, esimerkiksi puuttuvien ja epätarkkojen lähtötietojen vuoksi. Epävarmojen lähtötietojen takia jouduttiin tekemään paljon oletuksia, joiden paikkansapitävyyttä ei voitu tarkistaa. Toiseksi elinkaaritarkasteluihin liittyy epävarmuutta johtuen pitkästä tarkasteluaikavälisestä (100 vuotta): sekä energian että materiaalien päästökertoimet muuttuvat tarkastelujakson aikana eivätkä muutokset ole kovin hyvin ennakoitavissa. Kolmanneksi on syytä muistaa, että case-laskelmista puuttui asfalttiasemien vaikutus, joten ainakin siltä osin voidaan todeta laskettujen ominaispäästökertoimien olevan eräänlaisia vähimmäisarvoja.

Case-laskelmien herkkyydestä tarkastelujen pohjalta voidaan arvioida karkeasti, että lasketut ominaishiilijalanjäljet tietyypeittäin saattavat poiketa 100 vuoden aikana toteutuvista jopa 50 %. Case-laskelmien ominaispäästöjen muutokset heijastuvat suoraan samansuuruisina (%) koko maantieverkon ominaispäästöihin.

**Case-tieosuuksien edustavuus.** Toinen case-laskelmiin liittyvä virhelähde on case-tieosuuksien edustavuus. Case-tieosuudet kattavat alle promillen koko maantieverkon pituudesta. Voidaan kysyä, kuinka hyvin näin pieni otos edustaa koko maata. Miten esimerkiksi case-tieosuuksien siltatiheys (metriä siltaa per kilometri tietä), tunnelitiheys (metriä tunnelia per kilometri tietä), paalutustiheys (metriä paalua per kilometri tietä) tai todelliset liikennemäärät (ajoneuvoa/vrk) ja sitä kautta kunnossapidon tarve suhteutuvat kyseisellä tietyypillä Suomessa keskimäärin esiintyviin?

Tällaisiin kysymyksiin tämä hanke ei pysty vastaamaan täsmällisesti, mutta viitteitä hiilijalanjälkien mahdollisen aliarvioinnin suuntaan antaa esimerkiksi se, ettei yhdelläkään case-tieosuudella ollut yhtään tunnelia. Toisaalta edellä mainittujen tekijöiden merkitystä tietyppien keskimääräisen hiilijalanjäljen kannalta on vaikea arvioida. Tiedot esimerkiksi silloista ja tunneleista ovat sellaisessa muodossa tai niitä ei ole kootusti edes olemassa, että mainittujen silta- ja tunnelitiheyksien määrittäminen ei ole kohtuullisella työllä mahdollista. Lisäksi koko maan yleistäviä laskelmia varten tarvittaisiin tietoa muun muassa siltojen materiaalmäärästä (tonnia betonia ja terästä per siltametri tai silta). Nämä tiedot olisivat saatavilla, jos hiilijalanjäljen kannalta relevantti tieto kaikista tiesilloista sijainteineen olisi

koottuna yhteen rekisteriin. Numeerista arviota mahdollisesta edustavuuden puutteesta johtuvalle virhelähteelle ei pystytty tässä työssä antamaan.

**Kapeimpien ja leveimpien teiden leveys.** Kapeimpien ja leveimpien teiden käsittely on yleistysmallista johtuva virhelähde. Tietilastot eivät määrittele alarajaa kapeimpien teiden (alle 4,9 m) leveysluokalle eivätkä ylärajaa leveimpien (yli 12,0 m) teiden leveysluokalle. Mikä on todellinen leveyskeskiarvo näissä avoimissa leveysluokissa? Kapeimpien teiden luokassa keskiarvo tuskin on kovin kaukana 4,5 metristä, mutta leveimpien teiden luokassa virhe voi olla merkittävä. Tietyyppien ominaishiilijalanjälkiin näillä virhelähteillä ei kuitenkaan ole juurikaan vaikutusta, koska kyseisiin leveysluokkiin kuuluvia teitä on kilometrimääräisesti vähän.

Kapeimman leveysluokan keskiarvoleveydellä ei ole vaikutusta maanteiden keskimääräiseen ominaispäästökertoimeen kahden merkitsevän numeron tarkkuudella. Leveimmän leveysluokan mahdollisesti virheellisen keskiarvoleveyden tuottama virhe maanteiden keskimääräiseen ominaispäästökertoimeen on korkeintaan luokkaa + 0,1 tCO<sub>2</sub>/km/v.

**Kaksiajorataiset tiet.** Tien leveydestä riippumaton ominaispäästökerroin kaksiajorataisilla teillä on toinen yleistysmallista johtuva virhelähde. Suurin osa kaksiajorataisista teistä on moottori- ja moottoriliikenneteitä, joten case-tieosuuden (moottoritie Jutikkala–Kulju) leveys edustaa tietyypin keskimääräistä leveyttä todennäköisesti varsin hyvin. Lisäksi kyseistä tietyyppiä on vain noin 1,4 % Suomen maanteistä. Tästä yleistysmallin yksinkertaistuksesta johtuvan virheen maanteiden keskimääräisessä ominaispäästökertoimessa voidaankin arvioida olevan hyvin pieni.

**Hiilijalanjäljen lineaarinen vs. epälineaarinen riippuvuus tien leveydestä.** Kyseinen riippuvuussuhde ei välttämättä ole lineaarinen. Jos se poikkeaa siitä, kumpaan suuntaan? Tähänkään kysymykseen ei tässä hankkeessa pystytty vastaamaan, joten todettiin lineaarisen mallin olevan toistaiseksi paras arvio.

**Yhteenveto.** Selkeästi merkittävin arvioitavissa olevista virhelähteistä ovat case-laskelmien epätarkat ominaispäästökertoimet, joiden vaikutus voi olla jopa luokkaa 50 % lopputuloksissa. Tieosuuksien edustavuus saattaa olla myös merkittävä virhelähde, joskaan ei yhtä merkittävä kuin case-laskelmien epätarkkuus. Yleistysmalliin liittyvät virhelähteet ovat edellisten rinnalla merkityksettömiä.

#### 5.4.2 Rataverkko

Rataverkon hiilijalanjäljen arvioimisen case-laskelmista johtuvia virhelähteitä ovat epätarkkuudet ominaispäästökertoimissa sekä case-rataosuuksien edustavuus, samoin kuin tienpidossa. Ominaispäästöjen epätarkkuuksien analysointiin rataverkolla pätevät pääosin samat argumentit kuin tienpidossa: lähtötietojen epätarkkuus, lukuisat oletukset, joita ei voitu tarkistaa, tarkasteluaikevälin pituus sekä muutokset päästökertoimissa. Herkkyystarkastelujen pohjalta voidaan karkeasti arvioida, että ominaishiilijalanjäljet saattavat näistä syistä johtuen poiketa 100 vuoden tarkastelujaksolla toteutuvista jopa 50 %.

**Määrällinen ja laadullinen edustavuus.** Case-rataosuuksien määrällinen edustavuus on parempi kuin tienpidon vastaavien: case-rataosuudet kattoivat pääradoista 7 % ja ratapihojen raiteista 4 %. Toisaalta rataverkolla laadullinen edustavuus on todennäköisesti heikompaa kuin maanteillä, sillä radalla eroja rakenteellisissa

ominaisuuksissa on huomattavasti enemmän (erilaiset alusrakenteet, pölkyt, kiskoprofiilit, vaihdetyypit, turvalaitetyypit, sähköistys, erilaisten kunnossapitotöiden määrä jne.). Myöskään radanpidossa numeerista arviota edustavuuden puutteesta johtuvalle virhelähteelle ei pystytty tässä työssä antamaan.

**Vähintään kolmiraiteiset rataosuudet.** Radanpidossa yleistysmallista johtuva virhelähde on eri rataluokkien käsittely. Rautatietilasto ei erittele rataverkkoa muuten kuin sähköistuksen ja raiteiden lukumäärän suhteen. Raiteiden lukumäärä eritellään ainoastaan kahteen luokkaan: yksiraiteisiin ja kaksi- tai useampiraiteisiin. Tässä työssä jälkimmäisen luokan päästökertoimena käytettiin kaksiraiteisen rataosuuden päästökerrointa, jolloin vähintään kolmiraiteisten rataosuuksien hiilijalanjälki aliarvioidaan mallissa. Suomen rataverkossa tosin kaksi- ja useampiraiteisten ratojen osuus on alle 10 % ja näistä vähintään kolmiraiteisia lienee pieni osa. Tässä rataluokassa yleistysmallista johtuvan virheen voidaan siksi arvioida olevan suhteellisen pieni.

**Tilastoinnin karkeus.** Yksiraiteisten sähköistämättömien ratojen välillä ei tilastojen perusteella ole mahdollista tehdä tarkempaa erittelyä. Case-laskelmien pohjalta olisi ollut teoriassa mahdollista eritellä ratoja päällysrakenteen perusteella, sillä Savonlinna–Huutokoski-rataosuudella on uudempi kiskoprofiili, betonipölkyt ja tukikerroksena sepeli, kun taas Kontiomäki–Ämmänsaari-rataosuudella päällysrakenne koostuu vanhemmasta K30-kiskosta, puupölkyistä ja soratukikerroksesta. Näiden kahden case-rataosuuden ominaispäästökertoimissa ei kuitenkaan ollut suurta eroa, joten näiden rakenteellisten erojen huomiotta jättämisestä aiheutuva virhe tuskin on merkittävä.

Radanpidossa voidaan todeta, kuten tienpidossakin, että yleistysmalliin liittyvät virheet ovat pieniä verrattuna case-laskelmien ominaispäästökertoimien epätarkuuksiin ja edustavuuteen liittyviin virheisiin.

## 5.5 Tien- ja radanpidon hiilijalanjälkien vertailu

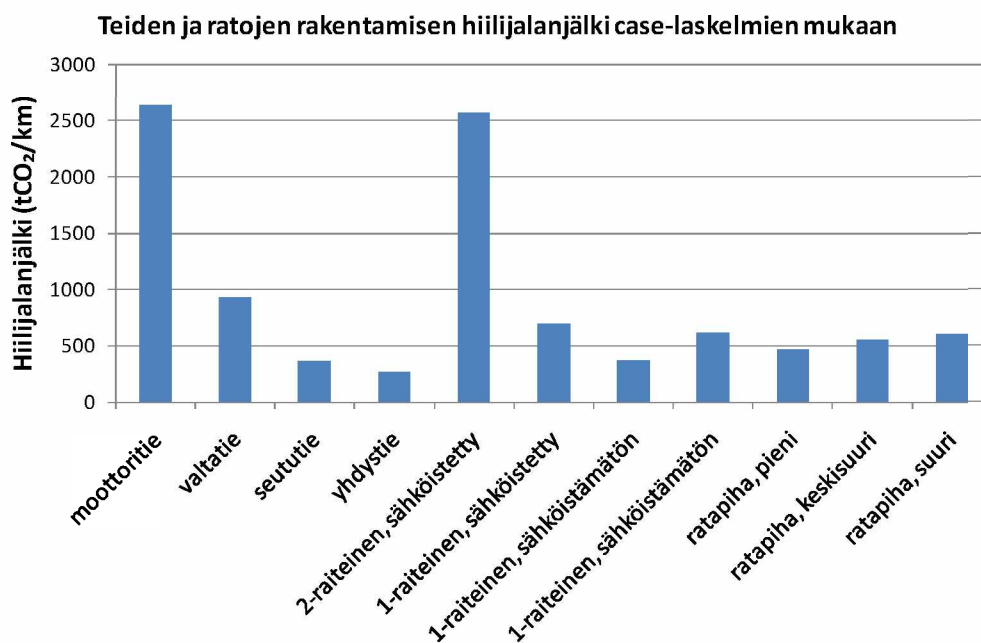
Tien- ja radanpidon hiilijalanjälkiä Suomen koko tie- ja rataverkon osalta on vertailtu taulukossa 9. Suomen koko maantieverkon hiilijalanjälki on miltei nelinkertainen rataverkon hiilijalanjälkeen verrattuna. Tämä johtuu pääasiassa maanteiden 13-kertaisesta yhteispituudesta rataväylien yhteispituuteen verrattuna. Väyläkilometriä kohti lasketut keskimääräiset tie- ja ratatyypikohtaiset ominaishiilijalanjäljet riippuvat suuresti tie- ja ratatyypistä, mutta ne ovat vaihteluväliltään lähes samat. Kuvissa 32 ja 33 on tarkasteltu tarkemmin erojen syitä.

Taulukko 9. Tien- ja radanpidon hiilijalanjälkien vertailu.

Tunnusluku	Maantieverkko	Rataverkko
Kokonaishiilijalanjälki (tCO <sub>2</sub> /v)	511 000	142 000
Ominaishiilijalanjäljet (tCO <sub>2</sub> /km/v)*	3,4–46	8–43

\* tie- ja ratatyypikohtaiset keskiarvot

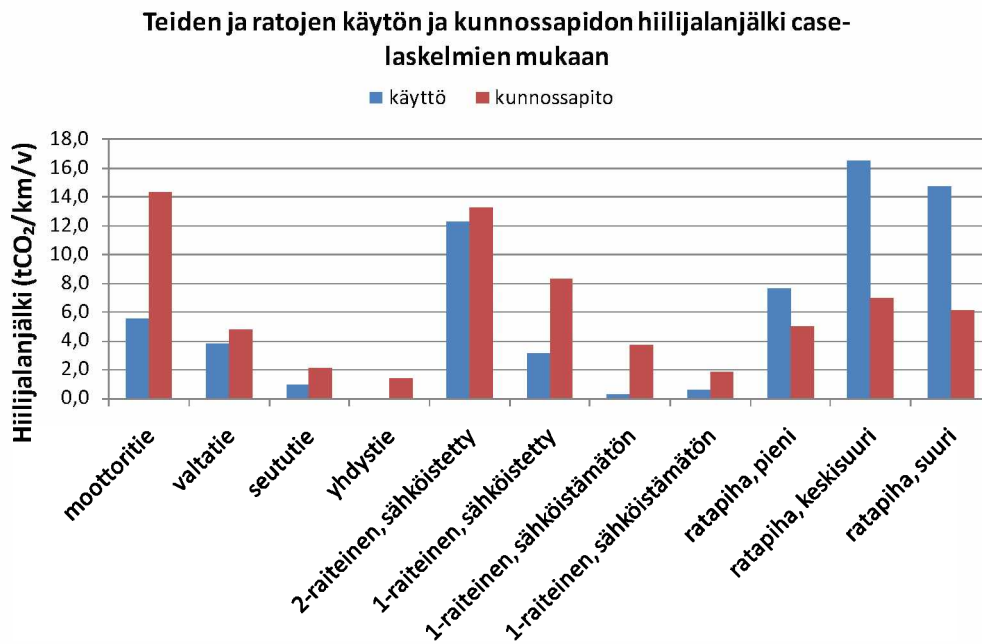
Kuvasta 32 nähdään, että rakentamisen osalta tien- ja radanpidon päästöissä ei ole ratkaisevaa eroa: uudenaikaisen kaksiraiteisen sähköistetyn radan (kuten Kerava–Lahti-oikorata) rakentaminen on lähes yhtä hiili-intensiivistä kuin moottoritien rakentaminen. Pienemmissä teissä ja radoissa on jonkin verran eroja, mutta erot eivät ole kovin suuria kilometriä kohti laskettuna.



Kuva 32. Teiden ja ratojen rakentamisen hiilijalanjälki case-laskelmien mukaan.

Suomen maanteistä on yhdysteitä noin 66 % ja seututeitä noin 17 %. Rataverkosta puolestaan noin 90 % on yksiraiteista, ja siitä on lähes yhtä paljon sähköistettyä kuin sähköistämätöntä. Kuvasta 33 nähdään, että yleisimpien tie- ja ratatyypien kunnossapidon päästöissä on merkittävä ero. Radanpidossa erityisesti korvausinvestoinnit ovat hiilijalanjäljen suhteen raskaita betonin (ratapölkkyt) ja teräksen (kiskot) suuren tarpeen vuoksi. Bitumin (tienpito) ja betonin (radanpito) päästökertoimet ovat jokseenkin samat, mutta betonia tarvitaan radanpidossa 100 vuoden aikana huomattavasti enemmän (esim. Kouvola–Pieksämäki: noin 1400 t/km/100 v) kuin bitumia tienpidossa (esim. Hanko–Skogby: noin 500 t/km/100 v). Bitumin suhteellisesti pieni määrä selittyy sillä, että tiepäällysteessä on bitumia vain 4,5–5 %. Teräksen vaikutus ratojen kunnossapidon päästöihin on betonia pienempi mutta silti merkittävä. Tienpidossa puolestaan murskeen merkitys

kunnossapidon hiilijalanjäljen muodostuksessa on suhteessa pienempi kuin teräksen radanpidossa, mutta asfaltin kuumennus tuottaa merkittävät päästöt.



Kuva 33. Teiden ja ratojen käytön ja kunnossapidon ominaishiilijalanjälki case-laskelmien mukaan.

Case-laskelmien tulosten perusteella yksiraiteisten ratojen kunnossapidon päästöjen välillä on myös melko suuria eroja. Tämä johtuu siitä, että Kouvola–Pieksämäki-rataosuudella (yksiraiteinen, sähköistetty) kunnossapito perustuu ensisijaisesti korvausinvestointeihin, kun sen sijaan sähköistämättömillä rataosuuksilla tehdään paljon pienempiä korjaustoimenpiteitä, joista ei kerry yhtä suurta kunnossapidon hiilijalanjälkeä pitkälläkään aikavälillä.

Toinen koko rataverkon hiilijalanjälkeä kohottava tekijä ovat ratapihojen raiteet, joita on noin 45 % pääratojen pituudesta. Niiden käytön ja kunnossapidon ominaispäästöt ovat varsin suuret pääraiteisiin verrattuna. Syynä tähän on, että ratapihoilla kuluu energiaa vaihteenlämmitykseen, valaistukseen ja liikenteenohjaukseen paljon enemmän kuin pääradoilla liikennepaikkojen ulkopuolella.

### Tien- ja radanpidon tuotantolaitokset

Case-laskelmissa ei ollut mukana tien- ja radanpidon tuotantolaitoksia: asfaltti-asemia tienpidossa sekä kiskohitsaamoja, kyllästämöä ja vaihdehalleja radanpidossa. Jotta niiden merkityksestä tien- ja radanpidon hiilijalanjäljen kannalta saatiin suuntaa-antava käsitys, niitä tarkasteltiin karkealla tasolla erikseen.

Radanpidon tuotantolaitosten hiilidioksidipäästöt laskettiin yllä mainittujen laitosten sähkön ja polttoaineiden kulutustietojen (Asikainen, 2010) perusteella. Tulokseksi saatiin noin 1500 tCO<sub>2</sub>/v, eli pääraiteille jaettuna noin 0,25 tCO<sub>2</sub>/rata-km/v, mikä vastaa noin 0,5 %:a Kerava–Lahti-oikoradan ominaispäästöistä ja noin 2 %:a sähköistämättömien yksiraiteisten rataosuuksien ominaispäästöistä. Radanpidon



tuotantolaitosten merkityksen todettiin olevan vähäinen radanpidon hiilijalanjäljen kannalta.

Asfalttiasemista ei ole olemassa valtakunnallista rekisteriä eikä muutakaan tietoa kootusti, koska asemat ovat yritysten omistamia ja niiden koot ja sijainnit ovat yrityksille kilpailutekijä. Kestopäällysteasemia on Suomessa noin 80 ja kevytpäällysteasemia alle 20. (Jämsä, 2011) Suomessa tuotettiin asfalttia (hot mix asphalt) 6,0 milj. tonnia vuonna 2008 (EAPA, 2011). Karkean käsityksen asfalttiasemien aiheuttamasta hiilijalanjäljestä saa olettamalla kestopäällysteasemien sähkötarpeeksi keskimäärin 500 kW (9 kk yhtäjaksoisesti ja talvella seisokki) ja raskaan polttoöljyn kulutukseksi 6 kg/t valmista asfalttimassaa (Hagström, 2011). Näillä oletuksilla kestopäällysteasemien sähkön kulutuksen hiilijalanjälki on noin 68 000 tCO<sub>2</sub>/v ja raskaan polttoöljyn noin 113 000 tCO<sub>2</sub>/v, eli yhteensä noin 180 000 tCO<sub>2</sub>/v.

Tässä on otettava huomioon, että yllä oleva arviolaskelma sisältää kaiken Suomessa tuotetun (ja käytetyn) hot mix -asfaltin eli myös kaduilla, parkkipaikoilla, lentokentillä, pihoilla ja niin edelleen käytetyn, kun puolestaan tässä hankkeessa tarkasteltiin vain maanteiden tienpitoa. Joka tapauksessa on selvää, että asfalttiasemilla on vaikutusta tienpidon hiilijalanjälkeen ja sen suuruutta olisi jatkossa selvitettävä tarkemmin.

#### **Tien- ja radanpidon päästöjen suhteuttaminen liikenteen päästöihin**

Suomen maantieliikenteen liikennesuorite VTT:n LIISA-laskentajärjestelmän mukaan vuonna 2009 oli noin 35 870 miljoonaa auto-km ja CO<sub>2</sub>-päästöt noin 7,0 miljoonaa tonnia (Mäkelä ja Auvinen, 2010). Liikenteen hiilidioksidipäästöt olivat noin 14-kertaiset verrattuina tässä työssä laskettuihin maanteiden tienpidon vuosipäästöihin (noin 511 000 tCO<sub>2</sub>/v). Vertailun vuoksi todettakoon, että katujen ja yksityisteiden, jotka eivät sisältyneet tähän tarkasteluun, liikennesuorite vuonna 2009 oli noin 17 480 miljoonaa auto-km ja CO<sub>2</sub>-päästöt noin 4,3 miljoonaa tonnia (Mäkelä ja Auvinen, 2010).

Rautatieliikenteen CO<sub>2</sub>-päästöt vuonna 2009 olivat VTT:n RAILI-laskentajärjestelmän mukaan noin 230 000 tCO<sub>2</sub>/v (Mäkelä & al., 2010). Tämä on samaa suuruusluokkaa kuin tässä työssä lasketut radanpidon vuosipäästöt (noin 142 000 tCO<sub>2</sub>/v). Jos rautatieliikenteessä käytetään sähkölle tässä työssä käytettyä päästökerrointa (0,26 tCO<sub>2</sub>/MWh) VTT:n laskelmissa käytetyn 10 vuoden tuotantokeskiarvon (0,217 tCO<sub>2</sub>/MWh) sijaan, saadaan rautatieliikenteen vuosipäästöiksi noin 258 000 tCO<sub>2</sub>/v (sähköjunaliikenne 165 000 ja dieseljunaliikenne 93 000 tCO<sub>2</sub>/v). Jos puolestaan oletetaan liikennöintiin käytettävän sähkön olevan nollapäästöistä, dieseljunaliikenteen päästöt kattavat rautatieliikenteen kaikki CO<sub>2</sub>-päästöt.

## 6 Hiilijalanjäljen laskentatyökalut

### 6.1 Työkalujen käyttötarkoitus ja oletuskäyttäjät

Tässä työssä kehitettyjä laskentatyökaluja on tarkoitus käyttää tie- ja rata-infrastruktuurin rakentamisen ja kunnossapidon suunnittelun ja toimenpiteiden priorisoinnin apuvälineenä. Tällaisia työkaluja ei ole Suomessa aiemmin kehitetty. Työkalujen avulla on mahdollista lisätä tie- ja ratasuunnittelijoiden ymmärrystä erilaisten toimenpiteiden ja suunnitteluratkaisujen merkityksestä hiilijalanjäljen kannalta ja löytää kustannustehokkaita keinoja pienentää tien- ja radanpidon CO<sub>2</sub>-päästöjä.

Työkalut on suunnattu erityisesti tie- ja ratakkeiden suunnittelijoille kaikissa suunnittelun vaiheissa – esi-, yleis-, tie-/rata- ja rakennussuunnittelussa. Kussakin vaiheessa suunnittelua tehdään päätöksiä, joilla on vaikutusta lopputuloksen hiilijalanjälkeen. Tällä tavoin on kunkin suunnitteluvaiheen päätöksentekoon mahdollista saada yksi ulottuvuus lisää tarkastelemalla eri ratkaisuvaihtoehtojen hiilijalanjälkiä muiden tärkeiden parametrien ohella.

### 6.2 Työkalujen perusratkaisu

Tässä hankkeessa luotiin ensimmäiset perusversiot työkaluista, joilla voidaan tarkastella karkealla tasolla tien- ja radanpidon hiilijalanjälkeä elinkaarinäkökulmasta. Monessa kohtaa käytettiin keskiarvoistavaa lähestymistapaa ja yksinkertaisia (lineaarisia) malleja tarkemman tiedon puuttuessa. Erityisesti tienpidossa on lisäksi huomattava, että laskentatyökalu perustuu maantietarkasteluihin, joten se ei sovellu katuhankkeiden hiilijalanjälkilaskentaan. Sekä tien- että radanpidon työkalujen perusratkaisu on seuraava:

- Laskelmien pohjana ovat tässä raportissa aiemmin selostetut case-laskelmat ja maanteiden ja ratojen luokittelu (joka tehtiin koko maan yleistäviä laskelmia varten).
- Työkalun käyttäjä valitsee ensiksi tietyyppin tai rataluokan. Sen perusteella työkalu määrittää case-laskelman, johon pohjautuen suunniteltava tai tarkasteltava tie-/ratahanke käsitellään. Oletustulostuksena annetaan kyseisen case-laskelman keskeiset tulokset.
- Tämän jälkeen käyttäjä voi muuttaa tiettyjen parametrien arvoja vastaamaan omaa tie-/ratakkeitaan ja tehdä vaihtoehtolaskelmia (esim. eri tienjauksista) ja herkkyytarkasteluja (esim. materiaalien kuljetusetäisyyksien suhteen).
- Erilliset työkalut tien- ja radanpidolle toteutettiin taulukkolaskentaohjelmalla (Excel), ja ne toimitettiin Liikennevirastolle käyttöopastuksen kera. Työkalujen dokumentointi toteutettiin ensisijaisesti suoraan työkalujen sisään ja toissijaisesti tähän raporttiin (case-laskelmat ja tämä luku). Erillistä käyttöohjedokumenttia ei laadittu.

Laajoja ja monimutkaisia kokonaisuuksia, kuten tien- tai radanpitoa mallintavien laskentatyökalujen kehittäminen on pitkä, interaktiivinen prosessi. Siksi työkalujen jatkokehittäminen on välttämätöntä, kun pyritään saamaan aikaan monipuoliset, tarkat, käyttäjäystävälliset ja helposti päivitettävät työkalut.

## 6.3 Tienpidon case-työkalu

Tienpidon työkalun pohjana ovat luvussa 3 esitetyt case-laskelmat, jotka kattoivat kaikki muut maantietyyppit paitsi kantatiet. Ne on työkalussa rinnastettu valtateihin, samoin kuin koko maan yleistävissä laskelmissakin (luku 5). Käyttäjän muunneltavissa olevat parametrit on työkalussa ryhmitelty sen mukaisesti, mihin tienpidon pääprosessiin ne liittyvät:

- rakentaminen:
  - tieosuuden pituus
  - väylän leveys
  - päällysteen leveys
  - sillat (yhteispituus)
  - tunnelit (yhteispituus & poikkileikkauksen pinta-ala)
  - paalutus (yhteispituus)
  - maanrakennuspaikalla hyödynnettävien maa- ja kalliroleikkauksmassojen osuus
  - kuljetusetäisyydet
- käyttö:
  - valaistusteknologia & valaistuksen säätö
- kunnossapito:
  - liikennemäärä
- päästökertoimet

Laskentatyökalussa yllä mainittujen parametrien vaikutusta hiilijalanjälkeen on mallinnettu seuraavasti:

**Rakentamisen parametreista** väylän leveys vaikuttaa lineaarisesti *maanrakennuksen* ja *pohjanvahvistuksen* hiilidioksidipäästöihin. Päällysteen leveys vaikuttaa niin ikään lineaarisesti *päällysteet*-prosessin päästöihin sekä siltojen rakentamisen päästöihin. Sillat otetaan huomioon karkealla tasolla: tieosuudelle suunniteltujen siltojen yhteispituudella kerrotaan case-laskelmien perusteella laskettu tietyppikohtainen *rakentamisen* ominaispäästökerroin  $tCO_2/m$  siltaa. Tämän lisäksi siltojen rakentamisen päästöt suhteutetaan siltojen leveyteen, jota arvioidaan päällysteen leveyden perusteella. Siltojen käyttö ja kunnossapito oletetaan tulleen otetuksi huomioon koko tieosuuden *käyttö*- ja *kunnossapito* -prosesseissa, eli silloista ei katsota tulevan erillistä lisävaikutusta niihin. Paalutuksen päästövaikutus on suoraan verrannollinen paalujen yhteispituuteen, ja sen vaikutus näkyy *pohjanvahvistus*-prosessissa.

Tunnelit otetaan huomioon samankaltaisesti: tunnelin *rakentamiselle* käytetään radanpidon tavoin Bothnia Linen (uusi rataosuus, Ruotsi) tunnelien keskimääräistä ominaispäästökerrointa  $tCO_2/m^2/m$ , jossa  $m^2$  viittaa louhitun tunnelin poikkileikkauksen pinta-alaan ilman tasoituksia, täyttöjä ja päällysrakenteita ja  $m$  tunnelin pituuteen. Tunnelin *käytössä* energiankulutus koostuu ja päästövaikutus muodostuu ilmanvaihdosta ja valaistuksesta, joiden yhteenlaskettu ominaispäästökerroin on noin  $0,34 tCO_2/v/m$  tunnelia (Väisänen, 2011). *Kunnossapitoa* ei tässä yhteydessä

tarkastella tunnelille erikseen, koska hiilijalanjäljen kannalta suurin osa tunnelin kunnossapidosta on samaa kuin muunkin tien (päällysteen uusimista ym.) ja koska tunnelitien kunnossapito sisältyy jo koko tarkasteltavan tieosuuden kunnossapitoon.

Tienrakennuspaikalla hyödynnettävien maa- ja kalliroleikkausmassojen osuus on moottori-, valta- ja kantateillä oletusarvoisesti 70 % kummallekin massatyypille, ja se vaikuttaa luonnollisesti *maanrakennuksen* kuljetuksista aiheutuviin päästöihin. Seutu- ja yhdysteillä hyödyntämisyhteisö on oletusarvoisesti 100 %. Kuljetusvälineet materiaaleille (terästuotteet, betoni ja päällystemateriaalit) sekä maamassoille vaikuttavat niin ikään kuljetusten päästöihin, ja vaikutus näkyy useimmissa rakentamisen prosesseissa (*pohjanvahvistus, sillat, tunnelit, päällysteet, varusteet ja laitteet*) kuten myös kunnossapidossa (*teiden korjaukset/parannukset*).

Tieosuuden pituus otetaan huomioon muutettavissa olevista parametreista viimeisenä. Sen avulla lasketaan koko tieosuuden hiilijalanjälki ja toisaalta saadaan myös uusi ominaispäästökerroin ( $tCO_2/km/v$ ), kun muun muassa paalutuksen, siltojen ja tunneleiden vaikutukset on ensin otettu huomioon.

**Käytön parametreista** valaistusteknologia (SpNa/LED) ja valaistuksen säätömahdollisuus vaikuttavat ainoastaan kyseiseen prosessiin, mutta kumpikin suunnitteluvalinta vaikuttaa osaltaan käytönaikaiseen energiankulutukseen ja siten päästöihin. Työkalussa voidaan myös valita, kuinka suurta osaa tieosuuden valaistuksesta voidaan säätää ja mikä on oletettu energiansäästön määrä (%). Valaistusteknologia määrittää valaistuksen ominaistehontarpeen (kW/km), ja säätömahdollisuudesta valaistustarpeen mukaan hyvitetään vakio-osuus (oletusarvoisesti 35 %) vuotuisesta sähkönkulutuksesta.

**Kunnossapitoon** vaikuttava parametri on liikennemäärä. Käyttäjän antamaa liikennemäärää (ajoneuvoa/vrk) käytetään työkalussa tien rakenteen ja päällysteen uusimisvälien määrittämiseen: mitä enemmän liikennettä, sitä useammin tietä korjataan (Penttinen, 2011). Näin ollen liikennemäärän vaikutus heijastuu prosessiin *kunnossapito* ja siinä alaprosessiin *teiden korjaukset/parannukset*.

Työkalussa käytettäviä **päästökertoimia** on lähes 50 (energialle, työkoneille, materiaaleille). Käyttäjän ei tarvitse muokata näitä parametreja, ellei hänellä ole laadukasta, tuoreempaa ja ennen kaikkea tapauskohtaista tietoa, joka poikkeaa työkalussa olevasta. Päästökertoimille jätettiin kuitenkin muokausmahdollisuus, jotta tulevat muutokset energiantuotannossa, työkoneiden käyttämissä polttoaineissa ja materiaalien valmistuksen ominaispäästöissä voitaisiin ottaa laskelmissa huomioon. Päästökertoimien vaikutukset laskennassa ulottuvat yleisesti kaikkiin prosesseihin.

## 6.4 Radanpidon case-työkalu

Radanpidon työkalu käyttää lähtökohtana ratojen luokittelua, jota käytettiin myös yleistävissä laskelmissa (luku 5): useampiraiteinen, sähköistetty; yksiraiteinen, sähköistetty; yksiraiteinen, sähköistämätön. Laskentatyökalussa yksiraiteiset ja sähköistämättömät radat on mahdollista vielä erottaa kiskoprofiilin mukaisesti niin, että 60E1- ja 54E1-kiskoprofiilin mukaiset radat käyttävät lähtötietonaan Savonlinna–Huutokoski-case-laskelmaa ja vanhempien kiskoprofiilien radat (K43 ja K30) käyttävät lähtötietonaan Kontiomäki–Ämmänsaari-case-laskelmaa.

Parametrit, joita käyttäjä voi työkalussa muuttaa, on luokiteltu elinkaaren perusteella samoihin pääryhmiin kuin case-laskelmissa. Muunneltavat parametrit ovat:

- Ominaisuudet:
  - rataosuuden pituus
  - pinta-alan tarve
- Rakentaminen:
  - etäisyys maa-aineksen jättopaikalle
  - päällysrakennekomponenttien kuljetusetäisyydet
  - paalujen yhteenlaskettu pituus
  - sillat (yhteispituus)
  - tunnelit (yhteispituus)
  - uudet asemat
- Käyttö:
  - vaihteenlämmitys
- Kunnossapito:
  - päällysrakennekomponenttien korvausaikavälit
- Päästökertoimet

**Rataosuuden pituus** vaikuttaa työkalussa kaikkiin prosesseihin: rakentamisen ja kunnossapidon materiaalmääriin ja ratatyökoneiden käyttöön. Jotta työkalussa saatiin radan pituus otettua huomioon yhtenäisellä tavalla eri tapauksissa, tehtiin alkuperäisiin case-tietoihin muutos koskien ratapölkkyjen lukumäärää. Case-laskelmissa ratapölkkyjen lukumäärä saatiin suoraan rataosuuksien elinkaariselvityksistä. Työkalua varten luvut muutettiin laskennallisiksi käyttämällä ratateknisten määräysten ja ohjeiden mukaisia vaatimuksia pölkkyjen määrälle per kilometri (RHK, 2002). Laskennalliset määrät eivät poikkeaa merkittävästi alkuperäisissä case-laskelmissa käytetyistä määristä, mutta pieniä eroja rakentamisen päästöihin tästä kuitenkin aiheutuu. Käytön aikainen sähkönkulutus on myös sidottu radan pituuteen. Pinta-alan tarve (eli välittömästi ratalinjan alle jäävä maa-ala) puolestaan vaikuttaa ainoastaan rakentamisen *alusrakenteet*-prosessiin.

**Rakentamisen** osalta etäisyys maa-ainesten jättopaikalle ja paalutus vaikuttaa *maanrakennus*-prosessiin. Case-laskelmissa paalutusta on ainoastaan Kerava-Lahti-oikoradalla, joten muita rataluokkia varten laskettiin tämän case-tapauksen pohjalta tunnusluku (tCO<sub>2</sub>/metri paalua), jonka avulla paalutusta voidaan mallintaa myös muiden rataluokkien laskennassa. Päällysrakennekomponenttien kuljetusetäisyydet on otettu huomioon *päällysrakenteet*-, *liikennepaikat*-, *hoito*-, *korjaukset*-, *korvausinvestoinnit*- ja *ylläpitoinvestoinnit*-prosesseissa. Käyttäjän on mahdollista määrittää etäisyydet prosentteina suhteessa vastaavaan case-laskelmaan. Näin siitä syystä, että case-laskelmissa, joihin työkalu suoraan pohjautuu, kuljetukset määritettiin yksityiskohtaisesti eri kuljetusvälineineen ja -reitteineen, eikä niiden muuttaminen tämäntyyppisessä työkalussa olisi käytännöllistä.

Siltoihin käytetyt materiaalmäärät lasketaan siltapituuksien suhteesta (suunniteltu siltapituus per case-laskelman siltapituus kertaa case-laskelman siltamateriaalmäärät). Työkalussa ei siis ole mahdollista ottaa kantaa siihen, minkä tyyppisiä siltoja radalle rakennetaan, vaan oletuksena on, että sillat ovat samantyyppisiä kuin rataluokan valinnan kautta määritetyllä case-rataosuudella.

Tunnelit otetaan huomioon käyttämällä Bothnia Linen (uusi rataosuus, Ruotsi) tunnelien keskimääräistä ominaispäästökerrointa, joka on yksiraiteiselle tunnelille

47 tCO<sub>2</sub>/km/v (Botniabanan Ab, 2010). Kaksiraiteiselle tunnelille on käytetty kaksinkertaista ominaispäästökerrointa per rata-km. Case-laskelmissa ainoastaan Kouvola–Pieksämäki-rataosuudella on tunneleita, joten sen osalta työkalu käyttää case-laskelman päästöjä, mikäli käyttäjä antaa tunnelipituudeksi saman luvun kuin case-laskelmassa. Muuten työkalu käyttää Bothnia Linen ominaispäästökerrointa. Uusien liikennepaikkojen (asemien) rakennus (ratapihat, laiturialueet ja tekniset tilat) on otettu huomioon laskemalla Mäntsälän asemasta (Kerava–Lahti-oikorata) päästökerroin per liikennepaikka.

**Käytön** osalta on otettu huomioon vaihteenlämmitys niissä tapauksissa, joissa käyttäjä valitsee rataluokaksi sähköistetyn radan. Tällöin käyttäjä voi valita, onko radalla vaihteenlämmitystä vai ei.

**Kunnossapidon** parametreina ovat pääkomponenttien (kiskot, pölkyt, tukikerros) korvausaikavälit. Tämä vaikuttaa suoraan *korvausinvestoinnit* ja *ylläpitoinvestoinnit* prosesseihin.

Kuten tienpidon laskentatyökalussa, myös radanpidon **päästökertoimia** on mahdollista muuttaa, ja niiden vaikutukset näkyvät kaikissa prosesseissa.

## 7 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä työssä laskettiin tien- ja radanpidon hiilijalanjälki neljälle rataosuudelle ja kolmelle ratapihalle sekä neljälle tieosuudelle 100 vuoden tarkastelujaksolla. Näiden case-laskelmien ja tilastotietojen pohjalta luokiteltiin Suomen maantiet ja rautatiet ja arvioitiin maantieverkon ja rataverkon hiilijalanjälki. Tarkastelun kohteena oli valtion tie- ja rataverkko. Kadut ja lauttareitit sekä yksityiset tiet ja radat rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. Työssä luotiin lisäksi case-laskelmien pohjalta laskentatyökalut, joiden avulla on mahdollista arvioida hiilijalanjäljen kannalta keskeisten suunnittelu-parametrien muutosten vaikutuksia eri tyyppisten tie- ja rataosuuksien hiilijalanjälkiin.

Tien- ja radanpidon energia- ja materiaali-intensiiviset prosessit jaoteltiin elinkaaren perusteella kolmeen osaan: rakentamiseen, käyttöön ja kunnossapitoon. Käytöstä poisto rajattiin laskelmien ulkopuolelle, samoin liikennöinti ja kaikki suoraan siihen liittyvä infrastruktuuri, kuten asemarakennukset, tavaraterminaalit ja parkkipaikat.

Teiden ja ratojen elinkaaripäästöt määriteltiin tässä työssä siten, että 1) nykyinen tie- ja rataverkko oletettiin rakennetun aivan äskettäin sellaiseksi kuin se nyt on, ja 2) käytön ja kunnossapidon päästöt arvioitiin tästä hetkestä 100 vuotta eteenpäin perustuen nykyisiin kunnossapito-ohjelmiin. Lisäksi oletettiin teiden ja ratojen käytön ja kunnossapidon jatkuvan edelleen 100 vuoden jälkeenkin, jolloin käytöstä poistoa tarkastelujakson päätteeksi ei tapahdu.

Case-laskelmiin valittujen tie- ja -rataosuuksien elinkaaripäästöissä korostuivat rakentamisen materiaali-intensiivisyys (erityisesti betoni ja teräs), maa- ja kallioleikkausmassojen ja rakennusmateriaalien kuljetusetäisyydet sekä kunnossapidossa korjaukset, parannukset ja korvausinvestoinnit. Käytönaikainen energiankulutus oli myös merkittävää, esimerkiksi radanpidossa vaihteenlämmityksessä ja tienpidossa valaistuksessa.

Suomen koko maantieverkon (noin 78 000 km) hiilijalanjäljeksi 100 vuoden tarkastelujaksolla saatiin noin 511 000 tCO<sub>2</sub>/v ja rataverkon (5919 km pääraiteita ja 2291 km sivuraiteita) noin 142 000 tCO<sub>2</sub>/v. Tie- ja ratatyyppistä riippuen ominaispäästökertoimiksi saatiin 4–46 tCO<sub>2</sub>/km/v maanteille ja 8–43 tCO<sub>2</sub>/km/v rautateiden pääraiteille. Ratapihojen ominaispäästökertoimiksi saatiin 19–30 tCO<sub>2</sub>/km/v. Maantieliikenteen päästöt (noin 7 milj. tCO<sub>2</sub>/v) ylittävät maantieinfrastruktuurin päästöt moninkertaisesti. Radanpidossa sen sijaan liikenteen päästöt (noin 230 000 tCO<sub>2</sub>/v) ovat samaa suuruusluokkaa kuin rautatieinfrastruktuurin päästöt. Rautatieliikenteessä käytetyllä sähkön päästökertoimella on ratkaiseva merkitys saataviin CO<sub>2</sub>-päästöihin.

Yllä olevista tuloksista voidaan päätellä, että liikenteen vuosipäästöt ovat vilkasliikenteisillä teillä paljon suuremmat kuin tieinfrastruktuurin päästöt. Toisin sanoen vilkasliikenteiset päätiet on kokonaispäästöjen kannalta edullisinta rakentaa mahdollisimman suoriksi ja tasaisiksi, vaikka rakentamisen päästöt kasvavatkin, koska pitkällä aikavälillä liikenteen päästöissä saavutetaan merkittävät säästöt. Vähäliikenteisillä teillä tilanne on toinen. Niillä olisi tärkeää löytää vähäpäästöinen kunnossapitostrategia. Tämä on erityisen tärkeää siksi, että vähäliikenteisiä teitä on Suomen maantieverkosta suuri osa.

Rakentamisessa hiilijalanjäljen kannalta raskaita elementtejä ovat maanrakennus, alusrakenteet, paalutus, sillat ja tunnelit. Materiaaleista suurimmat päästöt tulevat betonista ja teräksestä niiden suuren määrällisen tarpeen vuoksi.

Moniin tien- ja radanpidon hiilijalanjälkeen vaikuttaviin asioihin voidaan vaikuttaa: kuljetuskaluston ja työkoneiden polttoaineisiin, sähkön alkuperään, kuljetusetäisyyksiin, väylälinjauksiin, kunnossapitostrategiaan, tuotteiden hiilijalanjäljen huomioon ottamiseen tuotteita tilattaessa ja niiden edelleen. On tärkeää tunnistaa, mihin voi vaikuttaa ja missä vaiheessa. Osaan asioita voidaan vaikuttaa suunnitteluprosessin eri vaiheissa, osaan hankintoja tehtäessä ja osaan palvelusopimuksia tehtäessä (esim. käyttö- ja kunnossapitovaiheessa).

Vanhan olemassa olevan tie- ja rataanfrastruktuurin rakentamisen hiilijalanjäljestä saatiin lähinnä suuntaa-antavia tuloksia tiedon puutteen vuoksi, mutta uudemmista väylähankkeista saatiin suhteellisen luotettavia rakentamisen hiilijalanjälkiä. Suuntaa-antavat tuloksetkin kertovat kuitenkin suuruusluokista ja eri tie- ja rata-tyyppien suhteellisista eroista. Kunnossapidon osalta tuloksiin tuli epävarmuutta kahdelta suunnalta: 1) nykyisten kunnossapitotietojen puutteellisuus hiilijalanjälkilaskentaa ajatellen, ja 2) pitkä aikaperspektiivi, jonka yli on vaikea ennakoida toteutuvia liikennemääriä, kunnossapidon tarpeita ja energia- ja materiaali-päästökertoimien muutoksia.

Tulosten luotettavuutta elinkaaripäästöjen osalta arvioitaessa on hyvä erottaa toisistaan lähtötietojen puutteet ja mahdollisesti virheelliset laskentaoletukset aikaperspektiiviin liittyvistä epävarmuustekijöistä, joiden vaikutuksia on helppo testata luotujen laskentatyökalujen avulla. Elinkaaripäästöjä arvioitaessa otetaan aina kantaa tulevaan kehitykseen, eikä tuloksiin tätä kautta liittyvä epävarmuus tarkoitaakaan tulosten epäluotettavuutta.

Laskelmissa tehtiin runsaasti rajauksia ja oletuksia johtuen sekä tiedon puutteista että kyseessä olevien prosessien tai materiaalien vähäisestä merkityksestä hiilijalanjäljen kannalta. Suurimmat tietoaukot koskevat kunnossapidon toimenpiteitä ja materiaalitarpeita sekä toisaalta erityisrakenteiden (sillat ja tunnelit) materiaalitarpeita ja rakennusaikaista energiankulutusta. Erityisrakenteet ovat erittäin tapauskohtaisia, ja siksi niihin soveltuvat huonohkosti karkeat yleistyksiset, joita tässä työssä jouduttiin paikoin tekemään. Lisäksi tienpidossa tarvittaisiin asfalttiasemista oma selvitys, jossa alan yritykset ja niiden asemat käytäisiin läpi.

Jatkossa tehtävien hiilijalanjäljen laskentapäivitysten tarkkuutta pystyttäisiin parantamaan, jos käytettävissä olisi hiilijalanjälkilaskelmien kannalta käyttökelpoinen silta- ja paalulaattarekisteri. Ymmärrys siltojen ja tunneleiden kaltaisten erityisrakenteiden hiilijalanjäljen muodostumisesta ja suuruudesta kohenisi merkittävästi ottamalla jokin uusi kotimainen silta- tai tunnelihanke hiilijalanjälkilaskennan pilottikohteeksi. Yksi pidemmän tähtäimen jatkokehityskohde voisi olla esimerkiksi polttoaineiden loppukäyttöpäästökertoimien korvaaminen elinkaaripäästökertoimilla, kun luotettavaa tietoa on riittävän kattavasti saatavissa. Myös maankäytön muutokset voidaan sisällyttää laskentaan, kun standardit ovat kehittyneet riittävästi.



## Lähteet

Asikainen, 2010: Asikainen, Anu, VR Track Oy, sähköpostit (marraskuu 2010)

Botniabanan Ab, 2010a: Environmental Product Declaration for the railway infrastructure on the Bothnia Line, Reg. no. S-P-00196, UN CPC 53212, Date 2010-03-19

Botniabanan Ab, 2010b, Environmental Product Declaration for railway tunnels on the Bothnia Line, s. 2 ja 5

BSI, 2008: Publically available specification, PAS 2050:2008, Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services, [www.bsigroup.com/en/Standards-and-Publications/How-we-can-help-you/Professional-Standards-Service/PAS-2050/](http://www.bsigroup.com/en/Standards-and-Publications/How-we-can-help-you/Professional-Standards-Service/PAS-2050/)

EAPA, 2011: European Asphalt Pavement Association, [www.eapa.org](http://www.eapa.org), viitattu huhtikuu 2011

Hagström, 2011: Hagström, Jari, Valtatie Oy (ent.), haastattelu (23.4.2011)

Heinonkoski, 2011: Heinonkoski, Risto, VR Track Oy, henkilökohtainen tiedonanto (21.1.2011)

Hirvaskari, 2007: Kontiomäki-Ämmänsaari-elinkaariselvitys

Jämsä, 2011: Jämsä, Heikki, Infra ry, sähköposti (25.3.2011)

Kallioleikkausrekisteri, 2010: tiedonantona Keijo Koskiselta, Liikennevirasto (10.11.2010)

Kantojärvi, 2011: tiedonantona Teea Kantojärveltä, VR Track Oy (5.5.2011)

Karjalainen, Riihinen ja Riikonen, 2008: Kemijärven ratapiha -elinkaariselvitys

Kärkkäinen, 2011: Kärkkäinen, Vesa, Liikennevirasto, henkilökohtainen tiedonanto (1.3.2011)

Liikennevirasto, 2010a: Tietilasto 2009, Liikenneviraston tilastoja 2/2010

Liikennevirasto, 2010b: Liikenneviraston toiminta- ja taloussuunnitelma 2011-2014

Liikennevirasto, 2010c: Rautatietilasto 06/2010

Lounema, Risto, 2006: Oikorata: Kerava-Lahti, RHK, Karisto, Hämeenlinna

LVM, 2005: Liikenne- ja viestintäministeriö, Luonnonvarojen kulutus Suomen tieliikenteessä

LVM, 2010: Liikenne- ja viestintäministeriö, Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan ilmastopoliittinen ohjelma 2009–2020, Seuranta 2010, Julkaisuja 28/2010

Mäkelä & al., 2010: Mäkelä, Kari, Auvinen, Heidi, Tuominen, Anu, Pääkkönen, Esa, Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä, RAILI 2009, VTT tutkimusraportti, VTT-R-06150-10

Mäkelä ja Auvinen, 2010: Mäkelä, Kari ja Auvinen, Heidi, Suomen tieliikenteen päästöt, LIISA 2009 -laskentajärjestelmä, VTT tutkimusraportti, VTT-R-05541-10

Nummelin, 2011: Nummelin, Markku, Liikennevirasto, henkilökohtainen tiedonanto (16.2.2011)

Nurminiemi et al., 2011a: Toijalan ratapiha, Tampere-Riihimäki-elinkaariselvitys

Nurminiemi et al., 2011b: Tampereen tavararatapiha -elinkaariselvitys

Nurminiemi et al., 2011c: Tampereen henkilöratapiha -elinkaariselvitys

Objectif Carbone, Altern Consult ja Inexia, 2009, 1st Bilan Carbone global railway: The Rhine-Rhone LGV serving Sustainable Europe. Ademe, RFF, SNCF, 2009

Oiko-ry, 2004: <http://www.oiko.phnet.fi/artikkelit/Oikoradan-urakat-2003-2006.html>

Ontto, 2011: Ontto, Ossi, Oy VR Rata Ab, henkilökohtainen tiedonanto (28.3.2011)

ORY, 2011: Hiilijalanjälkihankkeen ohjausryhmä

Oy VR Rata AB, 2009: Kunnossapitoalueiden suoriteraportteja vuodelle 2009, tiedonanto Risto Heinonkosken kautta

Paavilainen, Mäkelä, Salkonen, 2009: Rataverkon kunnan ja sen liikenteellisten vaikutusten visualisoinnin lähtökohdat, RHK

Pasanen, 2011: Pasanen, Juha-Heikki, Liikennevirasto, henkilökohtainen tiedonanto (12.1.2011)

Penttinen, 2011: Penttinen, Olli, Liikennevirasto, henkilökohtainen tiedonanto (1.2.2011)

Phillips, 2006: Phillips, Ross, Air pollution associated with the construction of Swedish railways: Norrbotniaban case study. Banverket Norra Banregionen, 2006

Pusenius, Lettenmeier, Saari, 2005: TieMIPS

Rekonen, 2011: Rekonen, Kari, VR Track Oy, Kunnossapito alue 1: Oikoradan vaihteet ja turvalaitteet, tiedonanto Antero Kaukosen kautta (20.1.2011)

RHK 2002b: XPS-levyjen tekniset toimitusehdot

RHK 2006: RAMO 3 Radan tarkastus

- RHK, 1998: Tukikerroksen vaihto-/puhdistustyön yleiset laatuvaatimukset
- RHK, 2002: Ratateknisen määräykset ja ohjeet, osa 11, Radan päällysrakenne, s. 30
- RHK, 2002a: Mäntypuisten ratapölkkyjen tekniset toimitusehdot
- RHK, 2008a: Kouvola-Pieksämäki-elinkaariselvitys
- RHK, 2008b: RATO 3.9 Radan alus- ja pohjarakenteiden suunnittelukriteerit
- RHK, 2009: Sähkön kulutus- ja kustannustilasto 2009, 31.3.2010
- Rudus, 2011:  
<http://www.rudus.fi/fi/tuotteet/infraelementit/ratarakentaminen/laiturielementit>
- Rumpurekisteri, 2010: tiedonantona Keijo Koskiselta, Liikennevirasto (10.11.2010)
- Räsänen, 2011: Räsänen, Mikko, Liikennevirasto, henkilökohtainen tiedonanto (26.1.2011)
- Saastamoinen, Ahtiainen, Korhonen, 2010: Savonlinna-Huutokoski-elinkaariselvitys
- Salakka, 2011: Salakka, Veikko, VR Track Oy, henkilökohtainen tiedonanto (18.1.2011)
- Siltarekisteri, 2010: tiedonantona Keijo Koskiselta, Liikennevirasto (10.11.2010)
- Stripple, 2001: Stripple, Håkan, Life Cycle Assessment of Road – A Pilot Study for Inventory Analysis, 2001
- Stripple ja Uppenberg, 2010: Stripple, Håkan, Uppenberg, Stefan, Lifecycle assessment of railways and rail transports – application in environmental product declarations (EPDs) for the Bothnia Line. Swedish Environmental Research Institute, 2010
- Tuominen, 2004: Tuominen, Marko, Rautatieinfrastruktuurin elinkaarikustannukset, Ratahallintokeskus, 3/2004
- Tuchs Schmid, 2009: Tuchs Schmid, Martin, Carbon footprint of High-Speed railway infrastructure (pre study). International Union of Railways (UIC), 2009
- Uusitalo, 2011: Uusitalo, Kari, VR Track Oy, henkilökohtainen tiedonanto (18.1.2011)
- Valtioneuvosto, 2008: Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia, Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6.11.2008
- Vihermaa et al., 2005: Vihermaa, Leena, Lettenmeier, Michael, Saari, Arto, Suomen luonnonsuojeluliitto r.y. Luonnonvarojen kulutus Suomen rautatieliikenteessä (RautatieMIPS), Liikenne- ja viestintäministeriö 56/2005
- Vihermaa, 2005: Vihermaa, Leena, Suomen raideliikenteen ekotehokkuus MIPS-laskentaa hyödyntäen. Pro gradu, maaliskuu 2005. Helsingin yliopisto, Biotieteellinen tiedekunta, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Ympäristötieteet

Viitala, 2011: Viitala, Tuomo, Liikennevirasto, henkilökohtainen tiedonanto (28.3.2011)

Virtanen, 2011: Virtanen, Tuomas, Liikennevirasto, henkilökohtainen tiedonanto (11.1.2011)

VR Cargo, 2003: Raidemateriaalin kuormausohje v. 2.0 Liite F, 31.1.2003

VTT, 2011: VTT LIPASTO, <http://lipasto.vtt.fi>, viitattu tammikuu 2011

Väisänen, 2011: Väisänen, Laura, Uudenmaan ELY, henkilökohtainen tiedonanto

## Laskennassa käytetyt päästökertoimet

ENERGIA			Lähteet
Diesel	2 646	gCO <sub>2</sub> /l	Tilastokeskus, Energiatilasto Vuosikirja 2009
Diesel	74	gCO <sub>2</sub> /MJ	Tilastokeskus, Energiatilasto Vuosikirja 2009
Diesel	3 131	gCO <sub>2</sub> /kg	Defra, 2010
Kaukolämpö	210	gCO <sub>2</sub> /kWh	Tilastokeskus, Suomen lämmöntuotannon keskiarvo 2004-2008
Nestekaasu	2 936	gCO <sub>2</sub> /kg	Defra, 2010
Sähkö	260	gCO <sub>2</sub> /kWh	Tilastokeskus, 2004-2008 keskiarvo (ei huomioida sähkön nettotuontia)
Sähkö	72	gCO <sub>2</sub> /MJ	Tilastokeskus, Energiatilasto Vuosikirja 2009
MATERIAALIT			Lähteet
Alumiini	12 400	gCO <sub>2</sub> /kg	Ecoinvent database 02.03.2011 - aluminium, primary, at plant, Europe Bombardier,
Asetinlaite	981	kgCO <sub>2</sub> ekv/kpl	<a href="http://www.bombardier.com/en/transportation/sustainability/downloads?docID=0901260d80008e9b">http://www.bombardier.com/en/transportation/sustainability/downloads?docID=0901260d80008e9b</a>
Betoni	170	gCO <sub>2</sub> /kg	Väylänrakentamisen ympäristövaikutukset ja indikaattorit. Betoni K-80
Bitumi	173	gCO <sub>2</sub> /kg	Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis. Bombardier,
Eurobalise	21	kgCO <sub>2</sub> ekv/kpl	<a href="http://www.bombardier.com/en/transportation/sustainability/downloads?docID=0901260d80008e9b">http://www.bombardier.com/en/transportation/sustainability/downloads?docID=0901260d80008e9b</a>
Graniitti	136	gCO <sub>2</sub> /kg	<a href="http://www.conference.annex49.de/vortraege/04_Koroneos.pdf">http://www.conference.annex49.de/vortraege/04_Koroneos.pdf</a>
Graniitti (verhous, paksuus 2,5 cm)	12 600	gCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	<a href="http://isse.utk.edu/ccp/projects/naturalstone/pdfs/LCACladdingProducts_FINAL_Dec2009.pdf">http://isse.utk.edu/ccp/projects/naturalstone/pdfs/LCACladdingProducts_FINAL_Dec2009.pdf</a>
Kalkki (high-calcium lime)	750	gCO <sub>2</sub> /kg	<a href="http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_2_Ch2_Mineral_Industry.pdf">http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_2_Ch2_Mineral_Industry.pdf</a>
Kreosoottijöly	1,6	kgCO <sub>2</sub> ekv/kg	Ecoinvent database 21.2.2011
Kupari	1 850	gCO <sub>2</sub> /kg	Ecoinvent database 02.03.2011 - copper, primary, at refinery, Europe
Lasi	67	gCO <sub>2</sub> /kg	CPM LCA Database
Luonnonhiekkä	4,9	gCO <sub>2</sub> /kg	CPM LCA Database Bombardier,
Opastin	37	kgCO <sub>2</sub> ekv/kpl	<a href="http://www.bombardier.com/en/transportation/sustainability/downloads?docID=0901260d80008e9b">http://www.bombardier.com/en/transportation/sustainability/downloads?docID=0901260d80008e9b</a>
Polyeteeni	1 100	gCO <sub>2</sub> /kg	CPM LCA Database
Polypropyleeni	1 100	gCO <sub>2</sub> /kg	CPM LCA Database
PVC	1 944	gCO <sub>2</sub> /kg	CPM LCA Database
Sementti	806	gCO <sub>2</sub> /kg	CPM LCA Database

Teräs	1 000	gCO <sub>2</sub> /kg	Käytetty usean eri lähteen keskiarvoa (CPM LCA Database, Ecoinvent, Ruukki Oyj:n ympäristöselosteita eri terästuotteille) <a href="http://www.jackon-insulation.com/uploads/tx_nppresscenter/EXIBA_ECO_Version_RZ_Web_01.pdf">http://www.jackon-insulation.com/uploads/tx_nppresscenter/EXIBA_ECO_Version_RZ_Web_01.pdf</a>
XPS Polystyrene	14,68	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	

**TYÖKONEET****Lähteet**

Asfaltinlevittäjä	0,02	l/m <sup>2</sup>	<i>Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis. Dynapac F12</i>
Asfalttijyrä	0,018	l/m <sup>2</sup>	<i>Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis. Dynapac CC 211</i>
Dumpperi	0,19	l/m <sup>3</sup> /km	<i>Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis. Volvo BM A35</i>
Hakkuukone	0,87	l/m <sup>3</sup>	<i>Rieppo K., Örn, J. "Metsäkoneiden polttoaineden kulutuksen mittaaminen" (2003)</i>
Jyrsin	163	gCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	<i>Carbon dioxide emissions due to Highway Subgrade improvements, Rotovato</i>
Kaivuri (maa-aineksen vaikeusasteen mukaan)			<i>Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis. Åkerman EC620</i>
- helppo	0,076	l/m <sup>3</sup>	
- melko helppo	0,079	l/m <sup>3</sup>	
- melko vaikea	0,094	l/m <sup>3</sup>	
- vaikea	0,11	l/m <sup>3</sup>	
Kallioliikkaus ja kalliomateriaalin käyttö	0,002	tCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	<i>Tiehallinto, Tienrakennuksen ekotehokkuuden parantaminen. Kallioliikkaus, vanha tekniikka.</i>
Kuormaaja (maa-aineksen vaikeusasteen mukaan)			<i>Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis. Volvo BM L180</i>
- helppo	0,044	l/m <sup>3</sup>	
- melko helppo	0,049	l/m <sup>3</sup>	
- melko vaikea	0,085	l/m <sup>3</sup>	
- vaikea	0,095	l/m <sup>3</sup>	
Kuormatraktori	0,65	l/m <sup>3</sup>	<i>Rieppo K., Örn, J. "Metsäkoneiden polttoaineden kulutuksen mittaaminen" (2003)</i>
Kuumennin	0,79	kg(diesel)/m <sup>2</sup>	Kalottikone Ltd. Ecoheater
Maajyrä	0,017	l/m <sup>2</sup>	<i>Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis. Dynapac CA 251D</i>
Maansiirtoauto	838	gCO <sub>2</sub> /km	<i>VTT Lipasto, maansiirtoauto (kantavuus 19 t; matka jättöpaikalle täytenä, matka takaisin tyhjänä)</i> <i>Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis. (sis. materiaalin irroitus, kuljetus ja murskaus)</i>
Murskaus	1 420	gCO <sub>2</sub> /t	
Muut ajettavat työkonet	26 145	gCO <sub>2</sub> /h	<i>VTT Lipasto, muut ajettavat dieselyökonet, kuormitusaste (0,36) ja nimellisteho (89 kW) huomioitu</i>
Nosturi	20 901	gCO <sub>2</sub> /h	<i>VTT Lipasto, nosturit, kuormitusaste (0,26) ja nimellisteho (99 kW) huomioitu</i>
Paalutuskone	0,867	l/m (paalua)	<i>Kantolan Paalutus Oy, Lasse Kantolan tiedonanto 1.12.2010</i>
Puoliperävaunuyhdistelmä	1 112	gCO <sub>2</sub> ekv/km	<i>VTT Lipasto, puoliperävaunuyhdistelmä (kantavuus 25 t; matkakohteeseen täytenä, matka takaisin tyhjänä)</i>

Puutavara-auto	0,50	l/km	<i>Rauno Sikiö, kantavuus 32t, 27.12.2010</i>
Pyörintäsäiliöpumppu	0,313	l/m <sup>3</sup>	<i>12,50 l/h, 40 m<sup>3</sup>/h. Conjust Oy, Petri Mäkeläinen tiedonanto 30.11.2010</i>
Rahtilaiva (junalautta)	118	gCO <sub>2</sub> ekv/tkm	<i>VTT Lipasto, autonkuljetusalus (junalautalle ei ole erillistä kerrointa)</i>
Tavarajuna	25,20	gCO <sub>2</sub> ekv/tkm	<i>VTT Lipasto, dieseljuna - keskiarvo päästöistä ilman vaihtotyölisää ja vaihtotyölisineen</i>
Täysperävaunun yhdistelmä	1 116	gCO <sub>2</sub> ekv/km	<i>VTT Lipasto, täysperävaunun yhdistelmä (kantavuus 40 t; matkakohteeseen täytenä, matka takaisin tyhjänä)</i>





## Radan materiaalien ja komponenttien eliniät

Komponentti	Materiaali	Elinikä
ratapölkkyt	betoni	40
ratapölkkyt	puu	35
kiskot	teräs	60
tukikerros	seveli	40
ratajohdon pylväät	teräs	50
ratajohdon perustukset	betoni	50
kääntöorsi	teräs	40
ohjain	alumiini	40
ajolanka	kupari	40
kannatin	kupari	40
ripustin	teräs	40
M-johdin	kupari	40
paluujohdin, Canna	alumiini	40
kaapelikanava	betoni	50
muuntaja	teräs	40
muuntaja	kupari	40
muuntaja	öljy	40
vaihte-elementit: teräsosat	teräs	50
vaihte-elementit: pölkkyt	betoni	40
vaihte-elementit: koottuna <sup>8</sup>		40
asetinlaitteet		20
opastimet		12
baliisit		30
radanvarsiaita	teräs	50

Lähteet:

Paavilainen, Mäkelä, Salkonen, 2009: Rataverkon kunnon ja sen liikenteellisten vaikutusten visualisoinnin lähtökohdat, RHK

Vihermaa et al., 2005: RautatieMIPS

---

<sup>8</sup> vaihte-elementit, joissa teräsosat ja pölkkyt on koottu yhteen





