



Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskenta- järjestelmä

RAILI 2009

Kirjoittajat Kari Mäkelä, Heidi Auvinen, Anu Tuominen & Esa Pääkkönen

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä RAILI 2009	
Asiakkaan nimi, yhteystiedot Tilastokeskus, Kari Grönfors Liikenne- ja viestintäministeriö, Saara Jääskeläinen	Asiakkaan viite
Projektin nimi LIPASTO 2009	Projektin numero /lyhytnimi 70744
Raportin laatija(t) Kari Mäkelä ja Heidi Auvinen	Sivujen/ liitesivujen lukumäärä 25 / 13
Avainsanat	Raportin numero VTT-R-06150-10
Tiivistelmä <p> Suomen rautatieliikenteen päästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä RAILI on vuosittain päivitettävä rautatieliikenteen laskentamalli. Järjestelmän ensimmäinen versio RAILI 96 valmistui vuonna 1997. Tämä tutkimusraportti käsittelee neljäntoista, vuoden 2009 tiedoilla päivitettyä versiota RAILI 2009. Projekti kuuluu osana LIPASTO 2009 -projektiin, jossa selvitetään kaikkien liikennemuotojen päästöt Suomessa.</p> <p> RAILI 2009 -malli laskee rautatieliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna 2009. Laskentatulokset saadaan sekä valtakunnallisesti että rataosa- ja ratapihakohtaisesti. Laskentajärjestelmä koskee sekä sähkö- että dieselvetoista henkilö-, tavar- ja lähijunaliikennettä Suomessa. Lähijunaliikenteen aiheuttamat päästöt on laskettu omana kokonaisuutenaan. Karkealla tasolla päästömäärät on ennustettu vuodesta 1980 vuoteen 2029. Järjestelmä laskee Suomen rautatieliikenteen aiheuttamat päästöt seuraavista yhdisteistä: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiukkaset (PM), metaani (CH₄), typpioksiduuli (N₂O), rikkidioksidi (SO₂) sekä hiilidioksidi (CO₂). Tuloksina saadaan lisäksi dieseljunaliikenteen poltonesteenkulutus ja sähköjunaliikenteen sähköenergiankulutus. RAILI 2009 -järjestelmä on tarkoitettu lähinnä liikenne- ja viestintäministeriön, Liikenneviraston (entisen Ratahallintokeskuksen), VR:n ja VTT:n käyttöön. Tietoa LIPASTO 2009 ja RAILI 2009 laskentajärjestelmistä on nähtävissä VTT:n internetsivulla http://lipasto.vtt.fi</p> <p> Suomen rautatieliikenteen aiheuttamat päästöt vuonna 2009 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 382 t, hiilivetyjä (HC) 133 t, typen oksideja (NO_x) 2 405 t, hiukkasia 71 t, metaania (CH₄) 9 t, typpioksiduulia (N₂O) 6 t, rikkidioksidia (SO₂) 205 t ja hiilidioksidia (CO₂) 230 000 t. Moottoripolttoöljyä kulutettiin yhteensä 29 400 t ja sähköenergiaa 634 000 MWh. Rautatieliikenteen kokonaisenergiankulutus oli vuonna 2009 5,8 PJ. Luvut sisältävät sähköveturi- en sähkönkulutuksen aiheuttamat päästöt voimalaitoksissa. Vedettyjen bruttotonnikilometrien kokonaisuus oli 28 000 miljoonaa brtkm. Rautatieliikenteen päästöjen kehityksessä ei näyttäisi tulevaisuudessa tapahtuvan muuta suurempaa muutosta kuin lähiajan lamasta johtuva jyrkkä lasku. </p>	
Luottamuksellisuus:	Julkinen
Espoo 4.11.2010	
VTT:n yhteystiedot Kari Mäkelä, PL 1000, 02044 VTT kari.makela@vtt.fi puh. 040 551 8475	
Jakelu (asiakkaat ja VTT): Tilaaja, web: http://lipasto.vtt.fi/raili/raili2009raportti.pdf	
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>	

Report's title Calculation system for the Finnish railway traffic emissions RAILI 2009	
Customer, contact person, address Statistics Finland, Kari Grönfors Liikenne- ja viestintäministeriö, Saara Jääskeläinen	Order reference
Project name LIPASTO 2009	Project number/Short name
Author(s) Kari Mäkelä, Heidi Auvinen	Pages 25 / 13
Keywords	Report identification code VTT-R-06150-10
<p>Summary</p> <p>RAILI 2009 is a railway traffic sub model of the LIPASTO 2009 calculation system concerning all traffic modes. The calculation system of railway traffic emissions developed in VTT is the first annually updated calculation model of railway traffic in Finland. The model calculates the amount of exhaust gas emissions and energy consumption caused by railway traffic in the base year 2009 and forecasts for the years 1980 - 2029.</p> <p>Emissions caused by Finnish railroad traffic can be calculated from the following compounds: carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), nitrogen oxides (NO_x), particles (PM), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), sulphur dioxide (SO₂) and carbon dioxide (CO₂). Calculation also includes fuel consumption and energy usage. The emission data can be gathered both countrywide and on a rail section and yard level. Emission amounts are calculated as a product of emission coefficients and energy consumption of trains. The calculation method can also figure out the emissions and energy consumption caused by local traffic. Local traffic has been divided in two parts: local traffic of the Helsinki Metropolitan Area and local traffic of the rest of the country.</p> <p>Web pages concerning RAILI model will be find on site: http://lipasto.vtt.fi/railie/index.htm</p>	
Confidentiality	Public
Espoo, November 4 th 2010	
VTT's contact address Kari Mäkelä, P.O.Box 1000, 02044 VTT kari.makela@vtt.fi tel. +358 40 551 8475	
Distribution (customer and VTT) { Customer, web (in Finnish only)	
<p><i>The use of the name of the Technical Research Centre of Finland (VTT) in advertising or publication in part of this report is only permissible with written authorisation from the Technical Research Centre of Finland.</i></p>	

Alkusanat

RAILI 2009 on kaikkien liikennemuotojen LIPASTO 2009 laskentajärjestelmän alamalli. Koko LIPASTO 2009 -laskentajärjestelmän (ml. alamallit) päivityksen on rahoittanut Tilastokeskus laskentavuoden 2009 osalta. Liikenne- ja viestintäministeriö on rahoittanut ennusteosoiden päivityksen.

Projektin vastuullisena johtajana on toiminut erikoistutkija Kari Mäkelä VTT:stä. Työhön on osallistunut tutkija Heidi Auvinen VTT:stä. Ohjelmointityön on tehnyt Esa Pääkkönen. VR-Yhtymä Oy on luovuttanut korvauksetta liikennöintiä koskevat tiedot.

Tämän raportin on kirjoittanut Kari Mäkelä ja Heidi Auvinen.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	5
2	Laskentamallin rakenne	6
2.1	Yleistä	6
2.2	Rataosakohtainen laskenta	7
2.3	Ratapihakohtaiset päästöt	8
2.4	Lähiliikenteen päästöt	8
2.5	Valtakunnalliset päästöt	9
2.6	Aikasarjat ja ennusteet	9
3	Lähtötiedot	10
3.1	Rataverkko ja vetovoimakalusto	10
3.2	Liikennöinti- ja energiankulutustiedot	11
3.2.1	Rataosakohtaiset liikennöintitiedot	11
3.2.2	Ratapihujen työtunnit	11
3.2.3	Lähiliikenteen liikennöintitiedot	13
3.2.4	Rautatieliikenteen kehitys	13
3.3	Poltonestetiedot	13
3.3.1	Käytetyt poltonesteet ja niiden rikkipitoisuus	13
3.4	Päästökerrointiedot	13
3.4.1	Tutkitut yhdisteet	13
3.4.2	Päästölähteet	13
3.4.3	Päästökertoimien määrittäminen	14
3.4.4	Päästökertoimien kehitys	15
4	Järjestelmäkuvaus	16
4.1	MUST malli	16
4.1.1	MUST-ohjelmistokehittäjän rakenne	16
5	Laskentatulokset	19
5.1	Päästömäärät	19
5.2	Päästöjen vertailu	23
6	Yhteenveto	24
	Lähdeviitteet	25
	Liitteet	26

1 Johdanto

Yhä lisääntyvät kansainväliset veloitteet ympäristökuormituksen vähentämisestä edellyttävät eri liikennemuotojen kansallisen päästötason selvitystä. Viranomaisiin ja liikennöijiin kohdistuu velvollisuus osoittaa toimintansa aiheuttama ympäristökuormitus.

Rautatieliikenteen päästöt ovat kokonaisuutena ottaen pienet muihin liikennemuotoihin verrattuna. Enää ei kuitenkaan riitä tieto, että päästöt ovat vähäiset. Tulee tietää päästömäärät ja -paikat sekä päästöjen kehitys. Eri kulkumuotojen vertailu edellyttää yhtenäisten laskentaperusteiden olemassaoloa ja päästöprosessin tuntemusta.

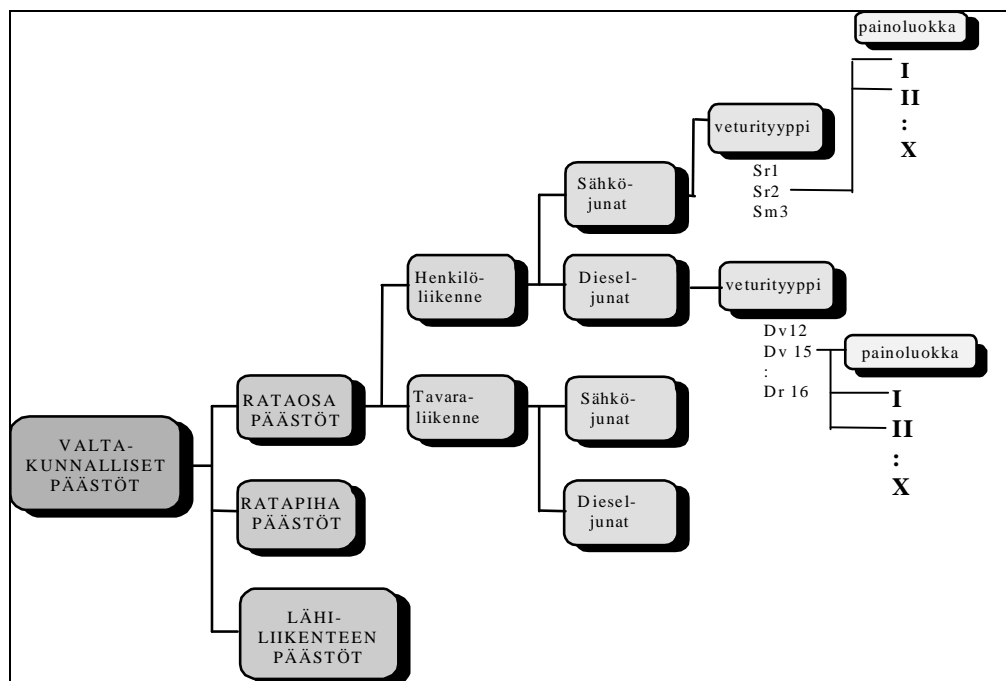
Liikenteen suurin ympäristökuormitus tulee pakokaasupäästöistä. Rautatieliikenne on yksi neljästä liikennemuodosta, joista suurin pakokaasupäästöjen aiheuttaja on tieliikenne. Sen ympäristökuormituksen selvittämiseksi on ryhdyttykin toimenpiteisiin huomattavasti ennen muita liikennemuotoja. Vuonna 1997 valmistui ensimmäinen vuosittain päivitettävä, kaikkien liikennemuotojen päästöt ja energiankulutuksen sisältävä laskentajärjestelmä LIPASTO. RAILI-laskentajärjestelmä on LIPASTO:n alamalli rautatieliikenteen päästöjen osalta. Tämä raportti sisältää laskentaperusteet sekä tulokset vuoden 2009 tiedoilla päivitetystä laskentajärjestelmästä RAILI 2009.

Rautatieliikenteestä, samoin kuin vesi- ja ilmaliikenteestä on vuoteen 1997 mennessä tehty vain päästöjen ja energiankulutuksen kertalaskentoja. Liikenteen päästölaskennan jatkuva kehittäminen ja seuranta edellyttävät päivitetävän järjestelmän olemassaoloa. Laskentajärjestelmä mahdollistaa ajan- tasaisen päästömäärien seurannan sekä erilaisten tulevaisuuden tilanteiden arvioinnin ja testauksen. <http://lipasto.vtt.fi>

2 Laskentamallin rakenne

2.1 Yleistä

RAILI 2009-laskentajärjestelmän perustan muodostavat rataosa- ja ratapihakohtaiset liikennöintitiedot. Järjestelmä laskee rautatieliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna (2009) **rataosilla** ja **ratapihoilla** jaoteltuna junalajin (matkustajajuna, tavarajuna, pelkkä veturi), veturityypin (sähköveturit (2 erilaista + Pendolino), dieselveturit (6 erilaista)) ja painoluokan (t) mukaan (kuva 1). Mallin avulla voidaan laskea Suomen rautatieliikenteen aiheuttamat päästöt seuraavista yhdisteistä: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiukkaset (PM), metaani (CH₄), typpioksiduuli (N₂O), rikkidioksidi (SO₂) sekä hiilidioksidi (CO₂). Laskennassa on mukana myös energiankulutus (moottori-polttoöljy ja sähkö). Päästötiedot saadaan sekä valtakunnallisesti että rataosa- ja ratapihakohtaisesti. Päästö määrät lasketaan päästökerrointen ja junien energiankulutuksen tulona. Laskentajärjestelmä laskee lisäksi lähijunaliikenteen aiheuttamat päästöt ja energiankulutuksen. Lähiliikenne on jaettu kahteen osaan: pääkaupunki-seudun lähiliikenteeseen ja muun Suomen lähiliikenteeseen. RAILI 2009-laskentajärjestelmä sisältää karkeat arviot vuosien 1980–1995 päästö määristä, tarkat laskennat vuosilta 1996–2009 sekä ennusteet vuodesta 2010 vuoteen 2029. RAILI:n ensimmäisten versioiden (-96 ja -97) tulokset eivät täysin täsmää uudempien RAILI -versioiden laskentatulosten kanssa, koska RAILI 1998 - RAILI 2009:ssa on käytetty uudempiä, VR:n teettämien mittausten ansiosta tarkentuneita päästökertoimien arvoja. RAILI 1998 - RAILI 2009 laskentatulosten voidaan olettaa kuvaavan todellista tilannetta aikaisempia versioita paremmin.



Kuva 1. Laskentamallin rakenne.

Kaavassa 1 on esitetty dieseljunien päästölaskenta.

$$E_{v,y} = \sum_{l=1}^4 \sum_{m=1}^{10} \sum_{x=1}^2 S_{l,m,y} b_{l,m}^t V e_{x,v}^f + S_{x,y} b^z e_x^b + S_{x,y} b^a e_x^j + \sum_{r=1}^{123} H_{l,r,x,y} b_{l,x}^h e_{x,v}^f \quad (1)$$

jossa

E	= kokonaispäästöt
S	= vedetyt bruttotonnikilometrit
V	= lisäkulutus muusta kuin matka-ajosta ⁽¹⁾
H	= vaihto- ja siirtotyöaika
b^t	= ominaiskulutus bruttotonnikilometriä kohden
b^h	= ominaiskulutus (tunnissa)
b^z	= vaununlämmityksen ominaiskulutus bruttotonnikilometriä kohden
b^a	= aggregaatin ominaiskulutus bruttotonnikilometriä kohden
e^f	= päästökerroin kulutettua polttonestemäärää kohden
e^b	= vaununlämmityksen päästökerroin kulutettua polttonestemäärää kohden
e^j	= aggregaatin päästökerroin kulutettua polttonestemäärää kohden

ja jossa

l	= veturityyppi
m	= junan painoluokka
x	= junatyyppi
r	= ratapiha
y	= laskentavuosi
v	= yhdiste

⁽¹⁾ vaununlämmitys, kaluston käyttövalmiusaika, valmistus- ja lopetusajat ja kaluston ylimääräiset siirrot

2.2 Rataosakohtainen laskenta

Rataosakohtainen laskenta sisältää kaikkiaan 214 rataosan linjaliikenteen energiankulutuksen ja päästöt. Rataosakohtaisen päästölaskennan perustan muodostavat vedettyjen bruttotonnikilometriä määrä junapainoluokittain sekä eri junatyypeille ja -painoille määritellyt ominaisenergiankulutusarvot. Laskentamallissa määritellään junien rataosalla kuluttama energiamäärä (kgpa, kWh). Päästöjen määrä saadaan kertomalla energiankulutus veturityyppiä vastaavalla päästökertoimella (g/kgpa, g/kWh).

Junien rataosilla kuluttaman ominaisenergiämäärän selvittämisessä on käytetty apuna VR:llä tehtyjä vetokaluston energiankulutustutkimuksia (Sr1-, Sr2- ja Dv12-veturityypit sekä Sm1-sähkömoottorivaunu ja Pendolino-juna). Tutkimuksissa saadut mittaustulokset on esitetty ominaisenergiankulutuskäyrinä, joista tunnetun junapainon avulla voidaan suoraan arvioida kyseisen junalajin (henkilö-, tavarajuna) keskimääräinen linjaliikenteen ominaisenergiankulutus (energiankulutus/1000 brtkm) (Pussinen 1997). Käyrät on esitetty liitteessä A. Ominaisenergiankulutuksen määrittämistä varten on rataosan junaliikenne jaoteltu junapainojen perusteella kymmeneen luokkaan. Kunkin painoluokan keskiarvon perusteella on käyrästä määritetty tälle luokalle tyypillinen ominaiskulutus. Kokonaisenergiankulutus rataosalla on saatu kertomalla keskenään kunkin painoluokan ominaiskulutus ja vedetyt bruttotonnikilometrit ja laskemalla tulokset yhteen.

Pendolino-junan arvioitu energiankulutus matka-ajossa on noin 12.5 kWh/km. Pendolinon aiheuttamat päästöt on saatu kertomalla sen ajama kilometrimäärä energiankulutuksella ja eri yhdisteiden päästökertoimilla.

Varsinaisen matka-ajon energiankulutuksen ja päästöjen lisäksi rataosilla kuluu energiaa ja syntyy päästöjä useissa pienemmissä rautatieliikenteeseen liittyvissä toimenpiteissä. Näitä ovat esimerkiksi vaununlämmitys, kaluston käyttövalmiusaika, valmistus- ja lopetusajat ja kaluston ylimääräiset siirrot. Käyttövalmiusaika tarkoittaa sitä aikaa, jolloin kalusto on toimintakunnossa, mutta ei ole liikennekäytössä. Valmistus- ja lopetusajat liittyvät kiinteästi varsinaiseen matka-ajoon. Valmistusaikana junassa tarvittava vetokalusto tuodaan paikalle ja liitetään junaan.

Vaununlämmityksestä sekä dieselvetoisen kaluston sähköä tuottavista aggregaateista aiheutuneet päästöt ja energiankulutus on laskettu omana kokonaisuutenaan, mutta ne on yksinkertaisuuden vuoksi liitetty matka-ajon päästölukuihin. Rataosakohtaiset arvot on saatu jakamalla koko Suomen vaununlämmitys- ja aggregaattipäästöt ja energiankulutus (Pussinen 1997) rataosille henkilöliikenteen suoritteiden (vedetyt bruttotonnikilometrit) suhteessa.

Muut edellä mainitut toimenpiteet on otettu rataosakohtaisessa laskennassa huomioon kertomalla varsinaisen matka-ajon energiankulutus toimenpiteiden aiheuttamaa energiankulutuksen prosentuaalista lisäystä kuvaavalla kertoimella. Kertoimeksi on sähkövetoisella henkilöliikenteellä arvioitu 1.0417 (n. 4 %), sähkövetoisella tavara-liikenteellä 1.1367 (n. 14 %) ja dieselvetoisella henkilö- ja tavaraliikenteellä 1.0834 (n. 8 %)(Pussinen 1997).

Näiden kertoimien lisäksi sähkövetoisessa liikenteessä on vielä huomioitu muuntaja-, rajajohto- ja siirtohäviöiden osuus liikennöinnin kokonaiskulutuksesta. Tämä on otettu huomioon kertomalla matka-ajon energiankulutus kertoimella 1.0604 (n. 6 %).

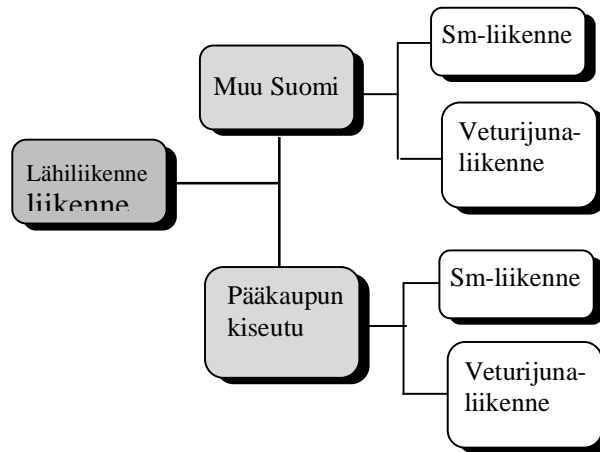
2.3 Ratapihakohtaiset päästöt

Ratapihakohtainen laskenta sisältää kaikilla Suomen ratapihoilla tehtyjen vaihto-, siirto- ym. töiden päästöt. Laskenta perustuu ratapiha- ja veturityyppikohtaisiin työtunteihin. Kullekin veturityypille on määritelty tyypillinen vaihtotyökulutus (l/h). Ratapihojen polttonesteenkulutus on saatu kertomalla tuntimäärät kulutuksella ja päästömäärät kertomalla polttonesteenkulutus päästökertoimilla. Kaikki ratapihojen varsinaiset vaihto- ja päivystystyöt tehdään dieselvetoikalustolla.

2.4 Lähiliikenteen päästöt

Lähiliikenteen (pääkaupunkiseutu + muu Suomi) päästöt on laskettu omana kokonaisuutenaan. Lähiliikenteessä käytettävien sähkömoottorijunien energiankulutusarvot on saatu VR:n tutkimuksista. Sm-junien energiankulutusarvot on tutkimuksessa esitetty kilometriä kohti laskettuina ominaisenergiankulutuksina (4.8 kWh/km pääkaupunkiseudun lähiliikenteessä ja 3.5 kWh/km muun Suomen lähiliikenteessä). Ominaisenergiankulutusarvo kuvaa yhden Sm-junayksikön keskimääräisesti kilometrin matkalla kuluttamaa energiamäärää normaalissa matka-ajossa (Pussinen 1997). Veturijunien ominaisenergiankulutusarvot on saatu käyriltä rataosakohtaisen laskennan mukaisesti. Lähiliikenteen energiankulutus on saatu kertomalla lähiliikenteen Sm-junayksiköiden ja veturijunien vuoden aikana ajama matka ominaisenergiankulutuksella, ja päästöt kertomalla tämä energiankulutus eri

yhdisteiden päästökertoimilla. Kuvassa 2 on esitetty lähiliikenteen päästöjen laskennan rakenne.



Kuva 2. Lähiliikenteen päästölaskennan rakenne.

2.5 Valtakunnalliset päästöt

Valtakunnalliset päästö- ja energiankulutusarvot saadaan laskemalla kaikkien rataosien, kaikkien ratapihojen ja lähiliikenteen päästöt ja energiankulutus yhteen. RAILI 2009- järjestelmässä valtakunnallisille päästöille on oma tulostusnäyttönsä.

2.6 Aikasarjat ja ennusteet

Laskentajärjestelmä laskee perusvuoden 2009 lisäksi pakokaasupäästöt vuosilta 1980–2009 sekä ennustevuosilta 2010–2029. Sekä kuluneiden vuosien että ennustevuosien laskenta perustuu kehityskertoimiin, joilla perusvuoden pakokaasujen määrää korjataan. Muutosennusteet kohdistetaan suoritteeseen ja päästökertoimiin, joiden kautta kokonaispäästömuutos lasketaan. Suoritteen kehityskerroin kuvaa vedettyjen bruttotonnikilometrien (lähiliikenteessä junayksikkökilometrien) kokonaismäärää perusvuoteen 2009 verrattuna. Päästökertoimien kehityskertoimet (kullekin yhdisteelle omansa) kuvaavat päästökertoimien arvoja perusvuoden 2009 päästökerroinvoihin verrattuna.

Junaliikenteen suoritteiden kehitysenusteet perustuvat VR:n arvioihin. Päästökerroimien muutosennusteet perustuvat dieseljunaliikenteen osalta ulkomaisiin tutkimustuloksiin ja arvioihin (Thune-Larsen et al. 1997). Liitteessä B on esitetty laskentajärjestelmässä käytetyt vuosittaiset suoritteiden kehityskertoimet eri juna- ja veturityypeille ja liitteessä C vuosittaiset kehityskertoimet eri yhdisteille.

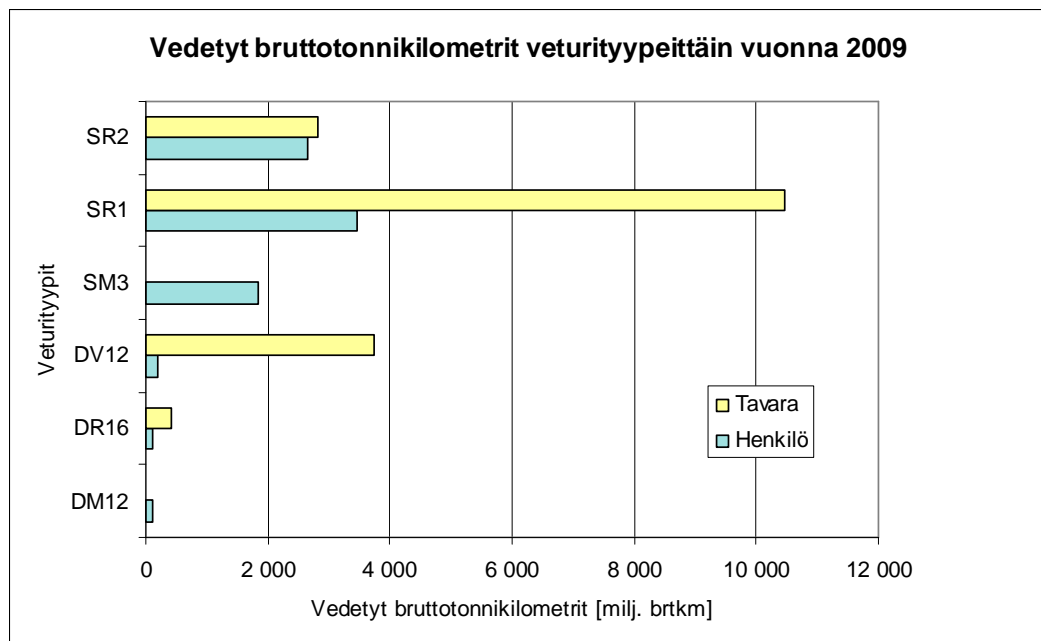
3 Lähtötiedot

3.1 Rataverkko ja vetovoimakalusto

Vuonna 2009 Suomen rataverkon kokonaispituus oli 5 919 km (Liikennevirasto 2010), josta sähköistettyä rataa oli 3 067 km. Rataverkolla vedettyjen bruttotonniki-lometrien määrä vuonna 2009 oli henkilöliikenteessä 10 029 milj. brtkm ja tavara-liikenteessä 18 079 milj. brtkm. Rataosia RAILI 2009 laskennassa on mukana 214 kpl. Rataosaksi on tässä yhteydessä määritelty vain samaan suuntaan kulkevaa lii-kennettä palveleva rataosa. “Maantieteellisen” rataosan voi siis kuvitella sisältävän kaksi laskentajärjestelmän rataosaa (meno- ja paluusuunnat). Ratapihojen lukumää-rä laskentajärjestelmässä on 113.

Suomen junaliikenne jakautuu veturijuniin ja moottorivaunujuniin. Veturijunilla hoidetaan tavaraliikenne ja osa henkilöliikenteestä. Moottorivaunujunat ovat käy-tössä etenkin lähiliikenteessä sekä käyttönotettavan uuden Pendolino-junan myötä myös suurten asutuskeskustan välisessä nopeassa kaukojunaliikenteessä.

RAILI 2009-laskentajärjestelmä sisältää kaksi sähköveturityyppiä eli veturityypit Sr1 ja Sr2. Sähkövetureita käytetään sekä henkilö- että tavaraliikenteessä. Dieselve-turityyppinä on linjavedossa käytännössä enää kaksi tyyppiä DR16 ja DV12. Hen-köliikenteessä on käytössä diesel-käyttöinen kiskobussi DM12. Veturityypit Dv15, Dv16 ja Dr14 toimivat pääasiassa erilaisissa ratapihojen vaununjärjestely- tai vaununvaihtotöissä. Moottorivaunutyyppejä laskentajärjestelmässä on kolme eri-laista, lähiliikenteen moottorivaunujunat Sm1 ja Sm2 sekä Sm3 eli Pendolino-juna. Kuvassa 3 on esitetty vedettyjen bruttotonniki-lometrien jakautuminen veturityypeit-täin Suomessa 2009.



Kuva 3. Vedetyt bruttotonniki-lometrit veturityypeittäin 2009.

3.2 Liikennöinti- ja energiankulutustiedot

3.2.1 Rataosakohtaiset liikennöintitiedot

RAILI 2009:n lähtötietoina on käytetty VR:ltä saatuja, rataosakohtaisia liikennöintitietoja. Tietokanta saatiin laskentajärjestelmään sopivassa muodossa, joten suurempaa tietojen muokkausta ja jalostusta ei tarvittu. Tietokannassa on esitetty kullakin rataosalla vedetyt bruttotonnikilometrit junatyypeittäin (H, T, VET), veturityypeittäin ja junapainoittain luokiteltuna. Liitteessä C on esitetty malli tietokannasta. Tietokanta sisältää RAILI 2009 käyttämien tietojen lisäksi myös paljon muuta rataosittaista liikennetietoa (mm. junien lukumäärät) jota on tulevana vuosina mahdollista hyödyntää laskentajärjestelmässä.

Junien rataosilla kuluttaman energiamäärän selvittämisessä on käytetty apuna VR:llä tehtyjä vetokaluston energiankulutustutkimuksia (Sr1-, Sr2- ja Dv12-veturityypit). Tutkimuksissa saadut mittaustulokset on esitetty ominaisenergiankulutuskäyrinä, joista tunnetun junapainon avulla voidaan suoraan arvioida kyseisen junalajin (henkilö-, tavarajuna) keskimääräinen linjaliikenteen ominaisenergiankulutus (energiankulutus/1000 brtkm) (Pussinen 1997). Näitä samoja energiankulutuskäyriä on tiedonpuutteen vuoksi käytetty kaikille veturityypeille. Virhe kokonaisenergiankulutuksessa on kuitenkin pieni, koska niiden veturityyppien, joiden ominaisenergiankulutustiedot puuttuvat, suoritteiden määrä on pieni. Rataosan juna-liikenne on jaoteltu junapainojen perusteella kymmeneen luokkaan. Eri juna- ja veturityyppien käyriltä junapainojen perusteella poimitut keskimääräiset ominaisenergiankulutusarvot on esitetty taulukossa 1. Henkilöliikenteen junat ovat painoltaan tavarajunia huomattavasti kevyempiä ja niitä varten on määritetty energiankulutuskäyrät sähkövedolla ainoastaan luokissa 1-2 ja dieselvedolla luokissa 1-4. Pelkkien veturien tapauksessa veturin on katsottu kuuluvan pienimpään painoluokkaan, eli luokkaan < 250 t. Käyrät on esitetty liitteessä A.

Sm3-moottorivaunun (Pendolino-juna) ominaiskulutuksena on käytetty arvoa 12.5 kWh/km.

3.2.2 Ratapihojen työtunnit

Ratapihojen työtuntitiedot on saatu tietokantana VR:ltä. Tietokannassa on esitetty kunkin ratapihan vaihtotyötunnit veturityypeittäin. Taulukossa 2 on esitetty malli tietokannasta (15 ensimmäistä ratapihaa). Eri veturityyppien kulutus (l/h) vaihtotyössä on määritelty taulukon 3 mukaisesti VR:n arvioiden perusteella.

Taulukko 1. Junien jako luokkiin junapainon perusteella sekä ominaisenergiankulutusluokittain.

Luokka	Junapaino (t)	Ominaisenergiankulutus (kWh tai l/1000btkm)				
		henkilö/Sr1	henkilö/Sr2	tavara / S	henkilö / D	tavara / D
1	<250	31,5	42	10,7	7,0	9,7
2	250-499	28,7	37,1	10,1	5,8	8,0
3	500-799	24,9	31,5	9,5		6,7
4	800-999	20,1	26,8	8,9		5,8
5	1000-1249			8,2		5,1
6	1250-1499			7,6		4,3
7	1500-1749			7,1		3,7
8	1750-1999			6,7		3,3
9	2000-2249			6,2		2,9
10	>2250			4,6		2,7

Taulukko 2. Esimerkki ratapihojen vaihtotyötunneista veturityypeittäin.

	DV15-16	DV12	DR14	TVE4	DR13	DR16	TKA
PASILA olk hkm pjm	10461						
ILMALA (henk.liik.vt)	17000						
PASILAN KONEPAJA				1500			
LÄNSISATAMA	2295		4292				
SÖRNÄINEN	4238						
KAUNIAINEN	747						
KELA Kkn				1036			
TIKKURILA	1183						
KERAVA	872						
JÄRVENPÄÄ		502					
SKÖLDVIK			11067				
KARJAA Tms Pku Mst		1494					
KIRKNIEMI		2976		1016			
LAPPOHJA		4358					
HANKO		4729					

Taulukko 3. Eri veturityyppien vaihtotyön ominaisenergiankulutus (VR 1997).

omin.kul.	Veturityyppi						
	Dv15-16	Dv12	Dr13	Dr14	Dr16	TVE4	TKA
l / h	20	23	31	26	31	15	11

3.2.3 Lähiliikenteen liikennöintitiedot

Lähiliikenteen liikennöintitiedoista on koottu tietokanta VR:n henkilöliikenneosastolta saatujen viikoittaisten liikennöintimäärien perusteella. Lähiliikenne jakautuu pääkaupunkiseudun lähiliikenteeseen ja muun Suomen lähiliikenteeseen. Liikennöinti tapahtuu pääasiassa moottorivaunujunilla, jotka muodostuvat junayksiköistä. Liikennemäärät asemien välillä on laskentajärjestelmässä määritelty junayksiköiden lukumääränä ja suorite junayksikkökilometreinä.

Yhden sähkömoottorivaunuyksikön ominaisenergiankulutuksena on käytetty arvoa 4.8 kWh/km pääkaupunkiseudun lähiliikenteessä ja 3.5 kWh/km muun Suomen lähiliikenteessä (Pussinen 1997).

3.2.4 Rautatieliikenteen kehitys

Junaliikenteen suoritteiden kehitys on arvioitu vuoteen 2029 asti. Arviot on saatu VR:ltä. Suoritteiden ennusteet koskevat erikseen sähkö- ja dieselvetoista henkilö- ja tavaraliikennettä (kaukoliikenne) sekä lähiliikennettä. Pendolino-junan suoritteen kasvuennuste on esitetty erillisenä, koska sen liikennöinnin määrän kasvu on oletettu huomattavasti muuta sähkövetoista henkilöliikennettä suuremmaksi. Vuosien 1980–2009 suoritteet perustuvat rekisteröityihin tilastotietoihin. Kehityksen arviointi on vaikeaa ja varsinkin kauemmas tulevaisuuteen tähtäävien ennusteiden tekeminen on miltei mahdotonta. Niinpä ennusteet ovatkin hyvin karkeita ja vain suuntaa antavia.

Liitteessä B on esitetty eri junatyypin suoritteille kehityskertoimet vuodesta 1980 vuoteen 2029.

3.3 Polttonestetiedot

3.3.1 Käytetyt polttonesteet ja niiden rikkipitoisuus

Suomen rautateillä käytettiin vuonna 2009 vain moottoripolttoöljyä. Sen rikkipitoisuus on sama kuin tieliikenteessä käytetyllä dieselöljyllä eli 0,001 paino %.

3.4 Päästökerrointiedot

3.4.1 Tutkitut yhdisteet

Laskentajärjestelmä laskee Suomen rautatieliikenteen päästöt seuraavista yhdisteistä: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiukkaset, metaani (CH₄), typpioksiduuli (N₂O), rikkidioksidi (SO₂) ja hiilidioksidi (CO₂). Rikkipäästöt ovat suoraan verrannolliset käytetyn polttonesteen rikkipitoisuuteen, muut päästöt lasketaan junien kokonaisenergiankulutuksen (kWh, kg) ja päästökerrointen (g/kWh, g/kgpa) tulona.

3.4.2 Päästölähteet

Junaliikenteen päästölähteinä toimivat pääasiassa dieselveureiden moottorit. Suomessa käytössä olevista veturityypeistä Dv12, Dr13 on varustettu Tampella-MGO-dieselmoottorilla, Dv15, Dv16 ja Dr14 MAN-dieselmoottorilla ja Dr16 Pielstick-

dieselmootorilla (Pussinen 1997). Dieseljunaliikenteen päästöt ovat kohdennettavissa rataosille. Sähköjunaliikenteen tarvitseman sähkön tuotantovaiheen päästöjä ei voida varsinaisesti kohdistaa rataosille, vaan ne syntyvät aina tuotantopaikalla.

3.4.3 Päästökertoimien määrittäminen

Kullekin tarkasteltavalle yhdisteelle ominaiset diesel-moottoreiden päästökertoimet (g/kg_{pa}) on saatu VR:n veturidieselien ominaispäästömittauksista, jotka tehtiin vuoden 1998 aikana. Mitatut moottorityypit olivat seuraavat: Tampella-SACM MGO V16 BSHR, 1000 kW; Tampella MAN R8V22/30 ATL, 875 kW ja Pielstick 12PA4-V-200VG, 1677 kW. Taulukossa 4 on esitetty RAILI 1998 - RAILI 2009 käytetyt diesel-moottoreiden päästökerrointen arvot. Käytetyt arvot poikkeavat jonkin verran vuosien 1996 ja 1997 RAILI-versioissa käytetyistä, kirjallisuuden perusteella valituista päästökerrointen arvoista. Suurimmat erot kirjallisuuden ja todellisten arvojen välillä olivat HC:n ja NO_x:n kertoimissa. Erot vaikuttivat luonnollisesti myös lopputuloksiin eli kokonaispäästömääriin, joiden arvot muuttuivat uusien ja tarkempien päästökerrointietojen vaikutuksesta koko aikasarjan (1980-2029) ajalta.

Taulukko 4. RAILI 1998 - RAILI 2009:ssä käytetyt päästökertoimet diesel-moottoreille.

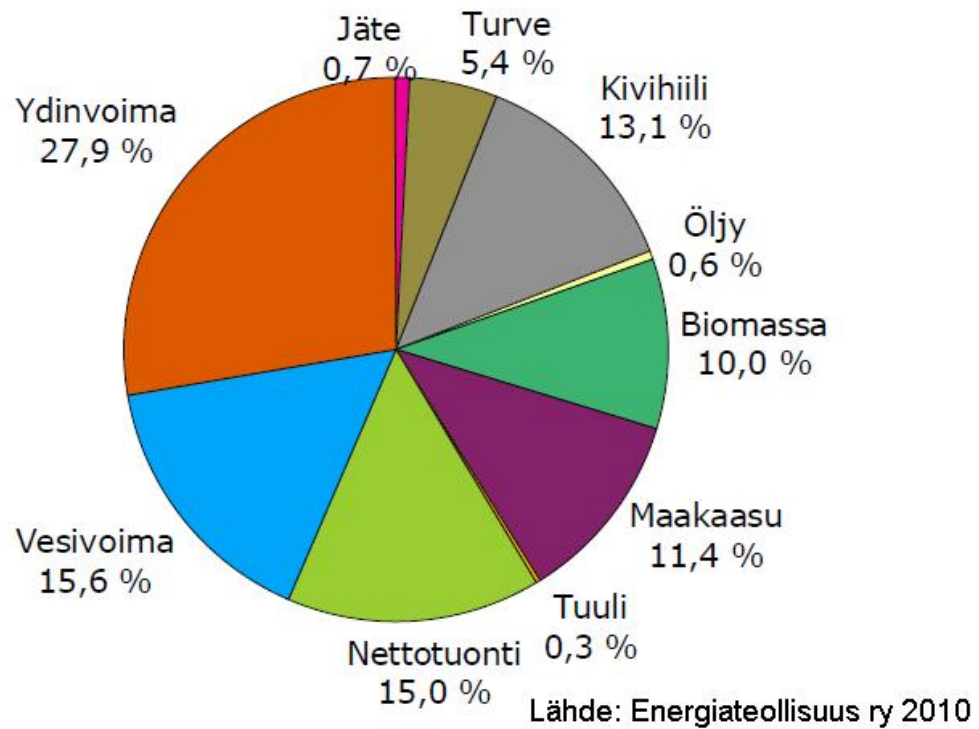
Moottorityyppi	CO (g/kg _{pa})	HC (g/kg _{pa})	NO _x (g/kg _{pa})	hiukkaset (g/kg _{pa})	CO ₂ (g/kg _{pa})
Pielstick (Dr16)	8,03	1,25	42,3	1,7	3162
MAN (Dr14, Dv15, Dv16)	12,7	5,54	39,9	3,88	3163
MGO (Dv12, Dr13)	9,87	4,68	81,5	1,39	3162

Sähköjunaliikenteen päästökertoimina (g/kWh) on käytetty Suomen sähköntuotannon keskimääräisiä ominaispäästöarvoja kymmenen vuoden keskiarvona (Tilastokeskus 2010). Taulukossa 5 on esitetty päästölajeittain laskentajärjestelmässä käytetyt ominaispäästöarvot. Kertoimet kuvaavat vain sähkön tuotantovaiheen päästöjä. Näitä lukuja on käytetty vuoden 2009 laskennassa.

Taulukko 5. Suomen sähköntuotannon ominaispäästöt 2009 (vain tuotantovaihe) (Tilastokeskus 2010).

	Päästöt (g/kWh)							
	CO	HC	NO _x	SO ₂	hiukkaset	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Ominaispäästöt tuotantovaiheen osalta	0.17	0.014	0.398	0.32	0.045	217	0.007	0.006

Suomen sähköntuotannolle on tunnusomaista, että lähes puolet tarvittavasta sähköenergiasta tuotetaan ydinvoimalla ja vesivoimalla. Loppuosa tarvittavasta sähköstä tuotetaan lauhdutusvoimalla ja vastapainevoimalla. Kuvassa 4 on esitetty Suomen sähkönhankinta 2009 Energiategollisuus ry:n mukaan.



Kuva 4. Suomen sähkönhankinta energialähteittäin (%) vuonna 2009 (Energiateollisuus ry 2010).

3.4.4 Päästökertoimien kehitys

Eri yhdisteiden päästökerrointen arvojen kehitys on arvioitu vuodesta 2010 vuoteen 2029 asti. Dieselmootoreiden osalta päästökerrointen on oletettu pysyvän samoina (mittausten mukaisina, vuoden 1998 tasolla), mikäli merkittäviä kalustouudistuksia ei tehdä. Sähköntuotannon kertoimien on myös oletettu pysyvän samana.

4 Järjestelmäkuvaus

4.1 MUST malli

Laskentajärjestelmä on toteutettu Suomessa kehitetyllä ja QPR Software Oyj:n markkinoimalla MUST (MULTI purpose System modelling Tool) ohjelmistoa käyttäen. Tietojen esitykseen ja näyttöjen rakentamiseen on käytetty Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelman versiota 97.

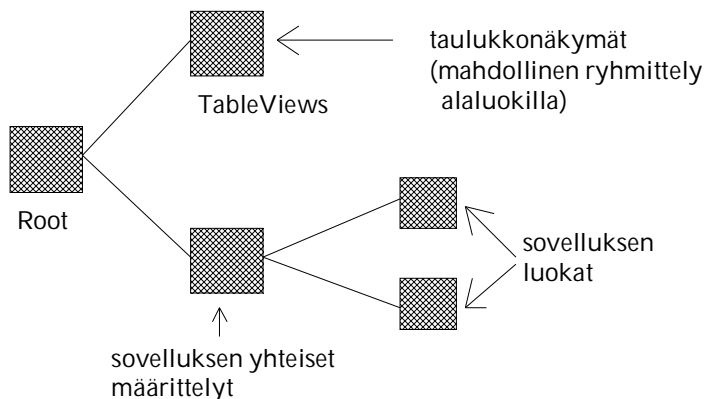
4.1.1 MUST-ohjelmistokehittimen rakenne

MUST-sovellusrakenne

MUST on mallintamistyökalu vaativien suunnittelu- ja analysointisovellusten rakentamiseen MS-Windows-ympäristössä. Sovellusrakenne sisältää seuraavat perusosiot:

- sovelluksen tietosisältö ja laskentalogiikka
- data ja sen sisältämät rakenteet
- loppukäyttäjän sovelluksen ja ulkoasun määrittely eri yhteyksissä esitettävän tiedon valinta ja tarkasteluihin liittyvä toiminnallisuus

Mallin perusrakenne



Mallintamisen perustyökalut

- luokat (class)
 - määrittelevät rakenteen
 - hyvin määritelty paikka luokkahierarkiassa (yksikäsitteiset ylä- ja alaluokat)
- mallin muuttujat (item)
 - kuvaavat talletettavan datan

- tyypitettyjä: perustana numero, numerolista, merkkijono
- linkit (relations)
 - kuvaavat datan sisältämät rakenteet
 - tyypitys merkitsee kohdeluokkien rajausta, kaksisuuntaisuutta ja automaattista kohteiden luomista
- datataulukot (instances)
 - sovelluksen tiedot: arvot muuttujille ja linkeille
 - kuuluu aina täsmälleen yhteen luokkaan
- laskentasäännöt (calculation rules)
 - kuvaavat laskennallisia riippuvuuksia mallin muuttujien (ja linkkien) välillä
 - hyödyntävät muuttujia, linkkipolkuja ja laskentasääntöfunktioita
- instanssinäkymät (instance views)
 - kuvaavat rakenteellisia riippuvuuksia datataulukoiden välillä
- määrättyjen luokkien (ja alaluokkien) tietyn linkin avulla kytketyt datataulukot
 - taulukkonäkymät (table views)
- poimivat tiedot sovelluksen/raportoinnin tarpeita varten sopiviksi kokonaisuuksiksi
 - toiminnallisuus: muuttujat, siirtymät toisiin taulukkonäkymiin

Periytyminen, perus- ja johdetut määrittelyt

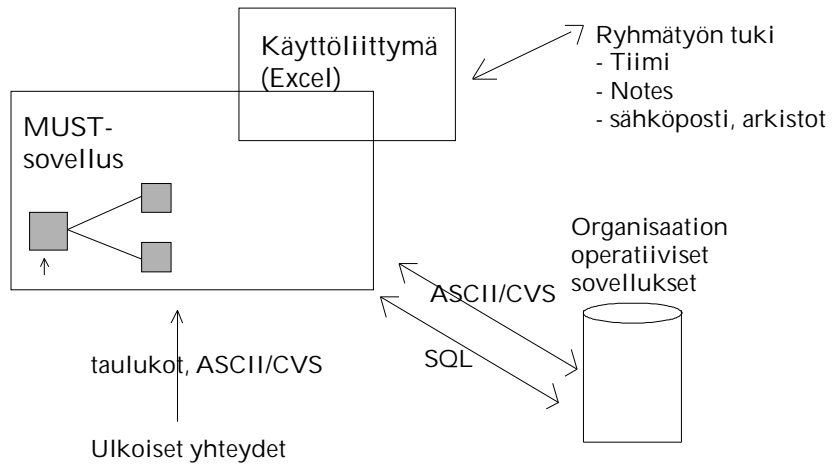
- MUSTissa luokkahierarkiassa toimii dynaaminen moniperintä
 - muutokset heijastuvat välittömästi kaikkiin alaluokkiin ja datataulukoihin
 - luokalla voi olla useampia yläluokkia
- linkin tai muuttujan määrittely on perusmäärittely (base relation, base item) silloin, kun määrittely ei ole peritty
- peritty määrittely on johdettu määrittely (derived relation, derived item)
- vain perusmäärittelyn voi poistaa
- johdettu määrittely voi vain tarkoittaa perusmäärittelyä
 - muuttujan tyyppiä ei voi muuttaa
 - linkkien kohdeluokkia voi tarkoittaa, mutta ei vaihtaa
- merkitys laskentasääntöjen kannalta

Mallin komponenttien “eristäminen”, ylläpidettävyys

- käsitemalli/luokkahierarkia
 - tietosisällön ja tietojen rakenteen määrittely
 - tehokkuus, pelkistäminen ja toiminnallisuus
 - laskentalogiikka
- data (instanssit)
 - tiedot, muuttujien arvot
 - rakenteet ja rakenteelliset riippuvuudet
- taulukkonäkymät
 - sovelluksen näkemät tietokokonaisuudet ja niiden toiminta
 - ryhmittely sopiviksi kokonaisuuksiksi
 - pelkistetyn sisältömallin ja sovelluksen toiminnallisuuden välinen kuvaus

- käyttöliittymäsovellus (remote)
 - ulkonäkö, layout
 - grafiikka
 - käyttäjien omien analyysien kytkeminen
 - sovelluskohtaiset räätälöinnit

Koko sovellusarkkitehtuuri



5 Laskentatulokset

5.1 Päästö määrät

Taulukossa 6 on esitetty Suomen rautatieliikenteen aiheuttamat päästöt vuonna 2009. Luvut sisältävät sähköveturien sähkönkulutuksen aiheuttamat päästöt voimalaitoksissa. Tulostaulukoiden luvut on esitetty järjestelmän tuottamassa muodossa. Lähtötietojen tarkkuuden edellyttämä esitystarkkuus olisi noin kolmen merkitsevän numeron tarkkuus.

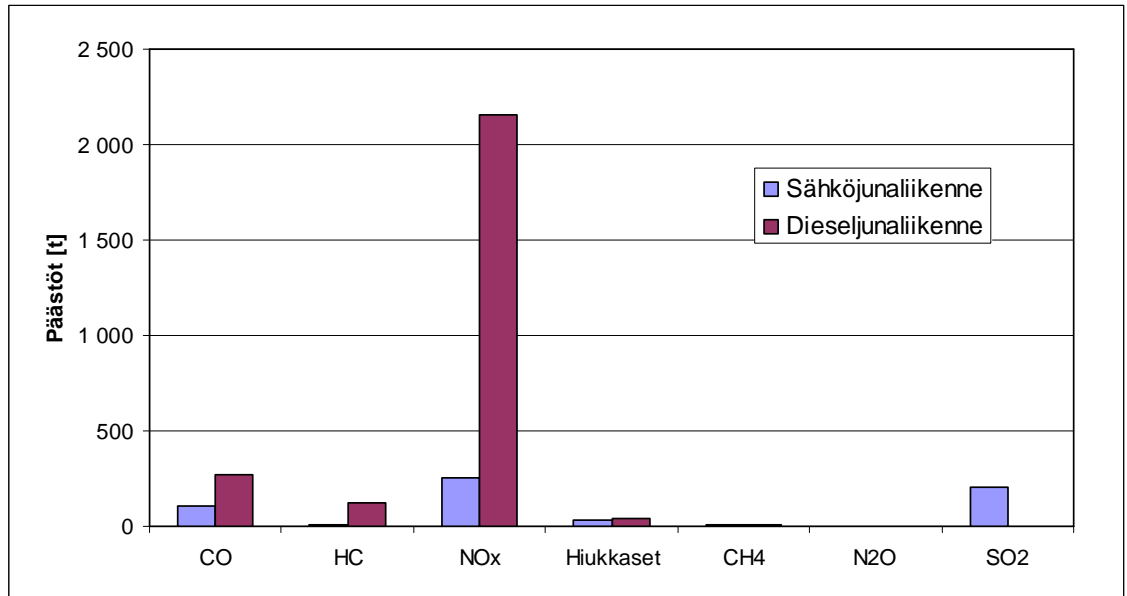
Päästöt rataosilla on jaettu henkilöliikenteen, tavaraliikenteen ja pelkkien vetureiden aiheuttamiin päästöihin. Toisena jakoperusteena on käytetty diesel- ja sähköjunaliikennettä (kuva 5). Lisäksi on laskettu ratapihojen vaihtotöiden aiheuttamat päästöt. Laskentajärjestelmästä saadaan kultakin rataosalta päästö- ja energiankulutustiedot luokiteltuna junalajin ja veturityypin mukaan (joko yksi kerrallaan tai kaikki yhteensä). Taulukossa 7 ja kuvassa 6 on esitetty esimerkkinä rataosan Tampere-Orivesi koko junaliikenteen päästöt. Kultakin ratapihalta sekä lähiliikenteestä on saatavissa vastaavanlainen tulostaulukko. Sähköjunaliikenteen aiheuttamat sähköntuotannon päästöt on tässä yhteydessä laskettu rautatieliikenteelle. Kansainvälisissä vertailuissa tätä ei lasketa liikenteen päästöihin kuuluvaksi, vaan sähköntuotannon päästöiksi.

Aikasarjatarkastelussa aikajänteeksi on valittu vuodet 1980-2029, yhteensä 50 vuotta. Aikajakso on sama kuin LIPASTO 2009 -järjestelmässä. Vuodet 1980-2009 kuvaavat vedettyjen bruttotonni- ja junakilometrien osalta todellista, tapahtunutta kehitystä ja vuodet 2010-2029 arvioitua tulevaisuuden kehitystä. Taulukossa 8 on esitetty eri yhdisteiden päästö määrien arvioitu kehitys (rautatieliikenne yhteensä) sekä polttoaineen- ja sähköenergiankulutus yhteensä vuodesta 1980 vuoteen 2029. Aikasarjatarkastelussa esitettyjen päästö määrien erot verrattuna ensimmäisten RAILI-versioiden (-96 ja -97) aikasarjoihin aiheutuvat veturidieselin ominaispäästötietojen tarkentumisesta (Korhonen & Määttänen 1999).

Liitteessä D on esitetty kuvina rautatieliikenteen päästöjen ja energiankulutuksen kehitys vuodesta 1980 vuoteen 2009 sekä ennuste vuosille 2010-2029. Hiilimonoksidipäästöt (CO) ovat vähentyneet ja vakiintuivat 2000-luvulla noin 400 tonnin tasolle. Päästöjen alenema aiheutui sähköjunaliikenteen käyttöönotosta. Samantapainen kehitys on ollut myös hiilivedyillä (HC). Typen oksidien (NO_x) päästöt alenivat 80-luvulla sähköjunien korvatussa dieselkalustoa. Tulevaisuudessa päästöt tasaantuvat. Hiukkaspäästöissä kehitys ja kehityksen syyt ovat samat kuin typen oksideissa. Rikkidioksidipäästöjen määrässä on tapahtunut raju lasku polttonesteiden rikkipitoisuuden alenemisen (siirtyminen käyttämään moottori-polttoöljyä, joka on lähes rikitöntä) ja sähköntuotannon ominaispäästöjen alenemisen myötä. Hiilidioksidipäästöt (CO₂) ja energiankulutus alenivat 80-luvun alussa ratojen sähköistyksen myötä, mutta nousivat taas hiukan 1990-luvun alkupuolella. Nykykehityksellä CO₂-päästöjen ennustetaan pysyvän lähes vakiona. Päästö määrien jyrkkiä vaihteluja tasaa kymmenen vuoden keskiarvon käyttöönotto sähköntuotannon päästöissä.

Taulukko 6. Suomen rautatieliikenteen päästömäärät [t/a] 2009.

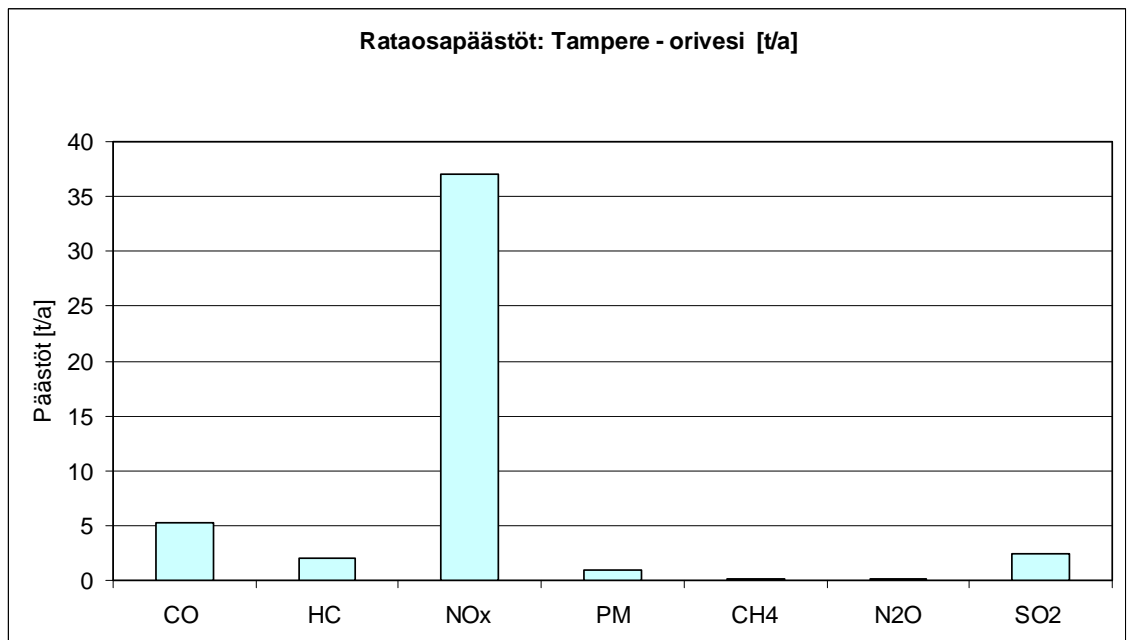
HENKILÖLIIKENNE	CO	HC	NOx	Hiukaset	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂	Polttoneen kulutus	Primäärienergian kulutus GJ/a	Sähköenergian kulutus MWh/a
Sähköveturit	58	4,7	134	15	2,4	2,0	108	72 889		2 386 546	336 512
Dieselveturit	18	7,3	152	2,9	0,48	0,26	0,1	11 052	3 493	150 203	
Vaihtotyö/Dieselvet,	5,5	2,6	40	1,0	0,09	0,045	0,01	1 684	532	22 886	
Lähiliikenne	16	1,3	37	4,2	0,65	0,55	30	19 991		654 568	92 297
HENKILÖLIIKENNE YHTEENSÄ	97	16	363	23	3,6	2,9	138	105 616	4 025	3 214 204	428 809
TAVARALIIKENNE	CO	HC	NOx	Hiuk,	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂	Polton,	Prim, ener,	Sähkener,
Sähköveturit	34	2,8	80	9	1,4	1,2	64	43 325		1 418 556	200 022
Dieselveturit	182	82	1 464	27	3,2	1,6	0,37	59 308	18 745	806 022	
Vaihtotyö/Dieselvet,	63	29	455	11	1,0	0,52	0,12	19 366	6 121	263 191	
TAVARALIIKENNE YHTEENSÄ	279	114	1 998	47	6	3,3	65	121 999	24 865	2 487 769	200 022
PELKÄT VETURIT	CO	HC	NOx	Hiuk,	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂	Polton,	Prim, ener,	Sähkener,
Sähköveturit	0,94	0,08	2,2	0,25	0,04	0,03	1,8	1 189		38 923	5 488
Dieselveturit	5	2,4	42	0,7	0,09	0,04	0,01	1 622	513	22 038	
PELKÄT VETURIT YHTEENSÄ	6	2,5	44	1,0	0,13	0,08	1,8	2 810	513	60 961	5 488
YHTEENSÄ	CO	HC	NOx	Hiuk,	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂	Polton,	Prim, ener,	Sähkener,
Sähköjunaliikenne	109	9	253	29	4	4	204	137 394		4 498 594	634 319
Dieseljunaliikenne	273	124	2 152	42	4,9	2,5	0,6	93 032	29 403	1 264 340	
SÄHKÖ JA DIESEL YHTEENSÄ	382	133	2 405	71	9	6	205	230 425	29 403	5 762 934	634 319



Kuva 5. Valtakunnalliset junaliikenteen päästöt 2009.

Taulukko 7. Rataosan Tampere-Orivesi (TPE-OV) päästöt ja energiankulutus [t] vuonna 2009.

	CO	HC	NOx	Hiuk- kaset	CH4	N2O	SO2	CO2	Poltto- neste- kulutus	Primääri- energian- kulutus GJ/a	Sähkö- energian kulutus MWh/a
Yhteensä	5,3	2,0	37	0,9	0,12	0,09	2,5	3 149	472	74 513	7 643



Kuva 6. Rataosan Tampere-Orivesi junaliikenteen päästöt 2009.

Taulukko 8. Rautatieliikenteen päästöt ja energiankulutus 1980-2029.

	CO	HC	NO _x	Hiuk- kaset	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂	P.a. kulutus	Primää- rienergian kulutus	Sähkö- energian kulutus
	t/a	t/a	t/a	t/a			t/a	t/a	t/a	GJ/a	MWh/a
1980	874	406	7 188	191	23	22	2 479	361 245	88 616	5 514 459	240 269
1981	827	383	6 627	167	19	12	1 877	305 651	84 155	5 615 125	281 509
1982	753	346	6 014	150	17	11	1 517	277 839	76 821	5 336 815	286 732
1983	725	333	5 738	145	17	11	1 263	264 790	72 922	5 379 850	316 442
1984	649	293	5 087	134	16	11	1 058	243 429	64 264	5 260 222	352 071
1985	618	275	4 885	135	16	16	1 059	252 127	60 748	5 220 462	367 782
1986	533	236	4 154	117	14	13	810	216 130	52 434	4 673 489	341 067
1987	583	255	4 529	128	15	16	878	242 018	57 768	5 258 497	391 214
1988	609	263	4 694	133	16	16	834	252 640	60 225	5 393 626	395 367
1989	557	238	4 223	122	15	15	718	230 821	54 745	5 179 793	398 441
1990	588	250	4 459	129	16	17	754	247 640	57 807	5 444 336	417 181
1991	561	235	4 242	127	16	18	631	246 786	55 352	5 226 582	401 357
1992	574	240	4 263	125	15	15	506	239 799	56 865	5 353 707	410 110
1993	641	266	4 698	138	18	16	510	272 334	62 228	5 800 494	440 592
1994	662	273	4 808	125	19	17	454	299 325	63 624	5 923 689	449 499
1995	624	256	4 413	113	18	13	358	273 172	58 020	5 911 762	481 794
1996	577	236	4 081	107	19	15	263	281 895	52 917	5 802 957	497 395
1997	617	251	4 325	113	19	14	259	291 354	56 156	6 135 692	524 675
1998	586	235	4 061	107	19	14	257	282 676	53 071	6 055 301	532 043
1999	626	249	4 339	114	19	14	250	295 300	51 101	6 028 637	540 228
2000	600	236	4 053	108	19	12	216	257 031	48 132	6 085 011	566 178
2001	549	211	3 669	100	20	14	234	266 051	42 521	5 958 073	582 298
2002	558	210	3 643	106	22	16	317	284 635	41 029	5 927 700	587 062
2003	509	189	3 304	99	24	19	353	307 769	40 938	6 120 133	614 749
2004	512	191	3 323	94	23	18	259	287 596	41 869	6 142 467	612 255
2005	488	181	3 091	85	20	16	175	237 844	38 039	5 927 684	605 191
2006	501	182	3 129	88	21	17	185	247 280	40 853	6 146 585	618 993
2007	444	163	2 750	78	20	18	196	234 113	34 412	6 158 214	659 685
2008	449	165	2 929	83	11	8	183	275 783	36 508	6 305 877	667 801
2009	382	133	2 405	71	9	6	205	230 425	29 403	5 762 934	634 319
2010	416	147	2 648	76	10	7	211	244 097	32 451	6 025 856	652 912
2011	406	142	2 569	75	10	7	211	241 120	31 411	5 991 449	654 369
2012	398	138	2 502	74	10	7	213	239 339	30 504	5 988 093	659 394
2013	394	136	2 466	73	10	7	215	239 080	30 002	6 010 025	665 530
2014	381	129	2 352	71	9	6	218	236 456	28 477	6 016 534	675 695
2015	369	126	2 286	69	9	6	209	228 083	27 760	5 785 815	647 508
2016	369	126	2 286	69	9	6	209	228 382	27 760	5 795 592	648 887
2017	369	126	2 287	69	9	6	210	228 682	27 760	5 805 409	650 271
2018	370	126	2 287	69	9	6	210	228 983	27 760	5 815 265	651 661
2019	370	126	2 289	69	9	6	211	229 656	27 760	5 837 312	654 770
2020	370	126	2 289	69	9	6	212	229 960	27 760	5 847 247	656 170
2021	371	126	2 290	70	9	6	212	230 264	27 760	5 857 221	657 577
2022	371	126	2 290	70	9	6	213	230 570	27 760	5 867 236	658 989
2023	371	126	2 291	70	9	6	213	230 877	27 760	5 877 291	660 407
2024	371	126	2 291	70	9	6	214	231 185	27 760	5 887 385	661 830
2025	372	126	2 292	70	9	6	214	231 495	27 760	5 897 521	663 259
2026	372	126	2 292	70	9	6	215	231 806	27 760	5 907 697	664 694
2027	372	126	2 293	70	9	6	215	232 118	27 760	5 917 913	666 135
2028	372	126	2 294	70	9	6	216	232 431	27 760	5 928 170	667 581
2029	373	126	2 294	70	9	6	216	232 746	27 760	5 938 469	669 033

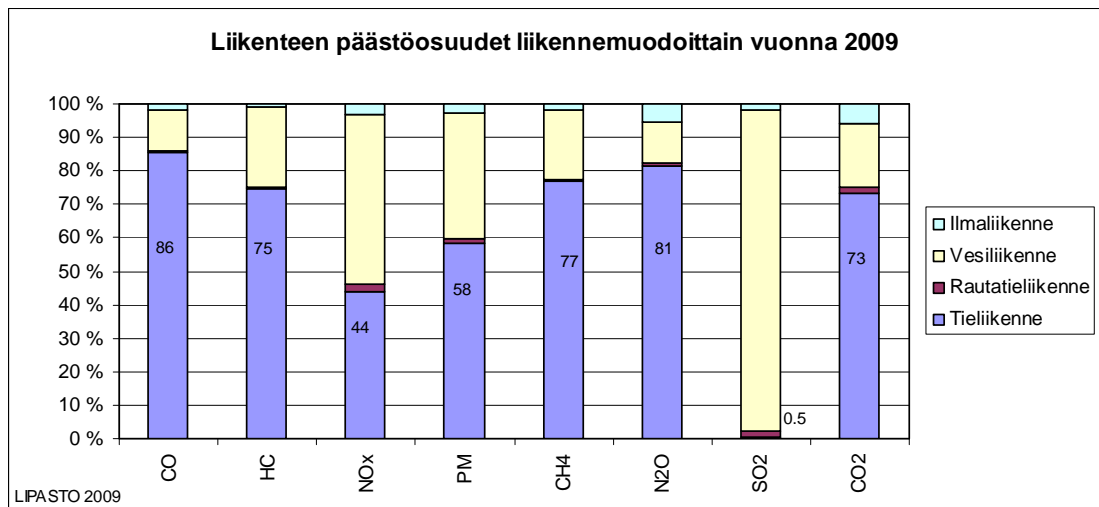
5.2 Päästöjen vertailu

Taulukossa 9 ja kuvassa 7 on esitetty eri liikennemuotojen aiheuttamien päästö-
määrien vertailu vuodelta 2009. Tulokset ovat Suomen liikenteen päästöjen las-
kentäjärjestelmä LIPASTO 2009:stä, johon rautatieliikenteen osuus tuotetaan
RAILI 2009 mallilla. Rautatieliikenteen osuus liikenteen kokonaispäästöistä on
kaikkien yhdisteiden sekä energiankulutuksen osalta hyvin pieni. Lisäksi osa
päästöistä tulee sähköntuotannon päästöinä eli vaikutukset eivät ole paikallisia
vaan alueellisia. Liitteessä F on esitetty kuvina Suomen liikenteen aiheuttamien
päästö-
määrien arvioitu kehitys vuodesta 1980 vuoteen 2029.

Taulukko 9. Suomen liikenteen päästöt ja energiankulutus 2009.

	CO	HC	NOx	PM	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂	Primää- rienergian kulutus [PJ]
Tieliikenne	184 919	20 529	44 138	2 459	1 237	519	69	11 277 445	161
Rautatieliikenne	382	133	2 405	71	9	6	205	230 425	5.8
Vesiliikenne	26 748	6 535	51 111	1 578	333	76	12 716	2 968 888	39
Ilmaliikenne	3 621	283	3 073	120	27	36	221	878 509	12
YHTEENSÄ	215 672	27 480	100 727	4 229	1 606	637	13 210	15 355 267	218

Kuva 7. Suomen liikenteen päästöt 2009. Eri liikennemuotojen osuus päästöistä
ja energiankulutuksesta (%). Tieliikenne on esitetty myös lukuarvoina.



6 Yhteenveto

Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä RAILI on ensimmäinen vuosittain päivitettävä rautatieliikenteen laskentamalli Suomessa. Järjestelmän ensimmäinen versio RAILI 96 valmistui vuonna 1997. Tämä tutkimusraportti käsittelee neljäntoista, vuoden 2009 tiedoilla päivitettyä versiota RAILI 2009. RAILI 2009 -järjestelmä kuuluu osana LIPASTO 2009 -järjestelmään, jossa selvitetään kaikkien liikennemuotojen päästöjä Suomessa.

RAILI 2009 -malli laskee rautatieliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna 2009. Laskentatulokset saadaan sekä valtakunnallisesti että rataosa- ja ratapihakohtaisesti. Laskentajärjestelmä koskee sekä sähkö- että dieselvetoista henkilö-, tavara- ja lähijunaliikennettä Suomessa. Lähijunaliikenteen aiheuttamat päästöt on laskettu omana kokonaisuutenaan. Karkealla tasolla päästömäärät on ennustettu vuodesta 1980 vuoteen 2029.

RAILI 2009 -laskentajärjestelmän perustan muodostavat rataosa- ja ratapihakohtaiset liikennöinti- ja polttonesteenkulutustiedot. Näiden tietojen perusteella laskeaan rautatieliikenteen kokonaisenergiankulutus. Päästömäärät lasketaan päästökerrointen ja energiankulutuksen tulona.

Järjestelmä laskee Suomen rautatieliikenteen aiheuttamat päästöt seuraavista yhdisteistä: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiukkaset (PM), metaani (CH₄), typpioksiduuli (N₂O), rikkidioksidi (SO₂) sekä hiilidioksidi (CO₂). Tuloksina saadaan lisäksi dieseljunaliikenteen polttonesteenkulutus ja sähköjunaliikenteen sähköenergiankulutus. RAILI 2009 järjestelmä on tarkoitettu lähinnä liikenne- ja viestintäministeriön, Liikenneviraston (entisen Ratahallintokeskuksen) ja VTT:n käyttöön. Tietoa LIPASTO 2009 ja RAILI 2009 -laskentajärjestelmistä on nähtävissä VTT:n internetsivulla: <http://lipasto.vtt.fi>

Suomen rautatieliikenteen aiheuttamat päästöt vuonna 2009 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 382 t, hiilivetyjä (HC) 133 t, typen oksideja (NO_x) 2 405 t, hiukkasia 71 t, metaania (CH₄) 9 t, typpioksiduulia (N₂O) 6 t, rikkidioksidia (SO₂) 205 t ja hiilidioksidia (CO₂) 230 000 t. Moottoripolttoöljyä kulutettiin yhteensä 29 400 t ja sähköenergiaa 634 000 MWh. Rautatieliikenteen kokonaisenergiankulutus oli vuonna 2009 5,8 PJ. Luvut sisältävät sähköveturien sähkökulutuksen aiheuttamat päästöt voimalaitoksissa. Vedettyjen bruttotonnikilometrien kokonaisuusmäärä oli 28 000 miljoonaa brtkm.

Dieseljunaliikenteen aiheuttamien typen oksidien (NO_x) määrä oli lähes kymmenkertainen sähköjunaliikenteeseen verrattuna. Ainoastaan rikkidioksidipäästöt (SO₂) olivat sähköjunaliikenteellä dieseljunaliikennettä suuremmat. Dieseljunien käyttämä polttoaine on lähes rikitöntä. Sähkö- ja dieselvetoisen junaliikenteen päästöjen vertailun tekee vaikeaksi se, että sähköjunaliikenteen päästöt eivät synny paikan päällä, siis rataosilla, vaan sähköntuotannon yhteydessä voimalaitoksissa.

Rautatieliikenteen päästöjen kehityksessä ei näyttäisi tulevaisuudessa tapahtuvan suurempia muutoksia.

Lähdeviitteet

Energiateollisuus ry 2010, Energiavuosi 2009.

Jørgensen Morten W., Sorenson Spencer C., 1997, Estimating Emissions from Railway Traffic, Report for the Project MEET: METHODOLOGIES FOR ESTIMATING AIR POLLUTANT EMISSIONS FROM TRANSPORT, Project funded by the European Commission under the Transport RTD Programme of the 4th framework program, DG-VII contract N^o: ST-96-SC,204, Deliverable No 17, Report ET-EO-97-03, Public Dissemination, Department of Energy Engineering, Technical University of Denmark, July 1997, 135 s,

Korhonen Risto & Määttä Mika 1999, Veturidieseiden ominaispäästöjen selvittäminen, Loppuraportti, Kymenlaakson Ammattikorkeakoulu, Kotka, Tutkimuksia ja Raportteja, sarja B No:7, ISSN:1239-9094,

Liikennevirasto 2010, Suomen Rautatietilasto 2010, Liikenneviraston tilastoja 6/2010, Helsinki 2010, 52 s,

Okurowski Peter 1992, Procedures for Emission Inventory Preparation - Vol IV: Mobile Sources, U, S, Environmental Protection Agency EPA, 166 s,

Pussinen Jyrki 1997, Rautatieliikenteen energiankulutus ja päästöt Suomessa, Diplomityö, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Liikenne- ja kuljetustekniikka, Tampere 1997, 96 s,+ liitt,

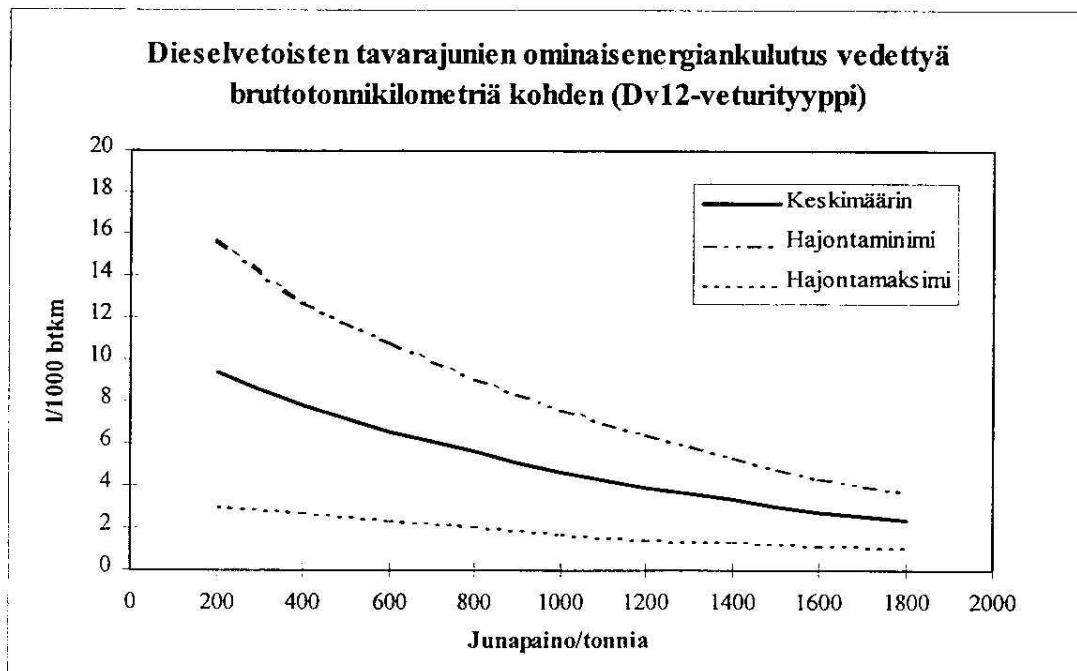
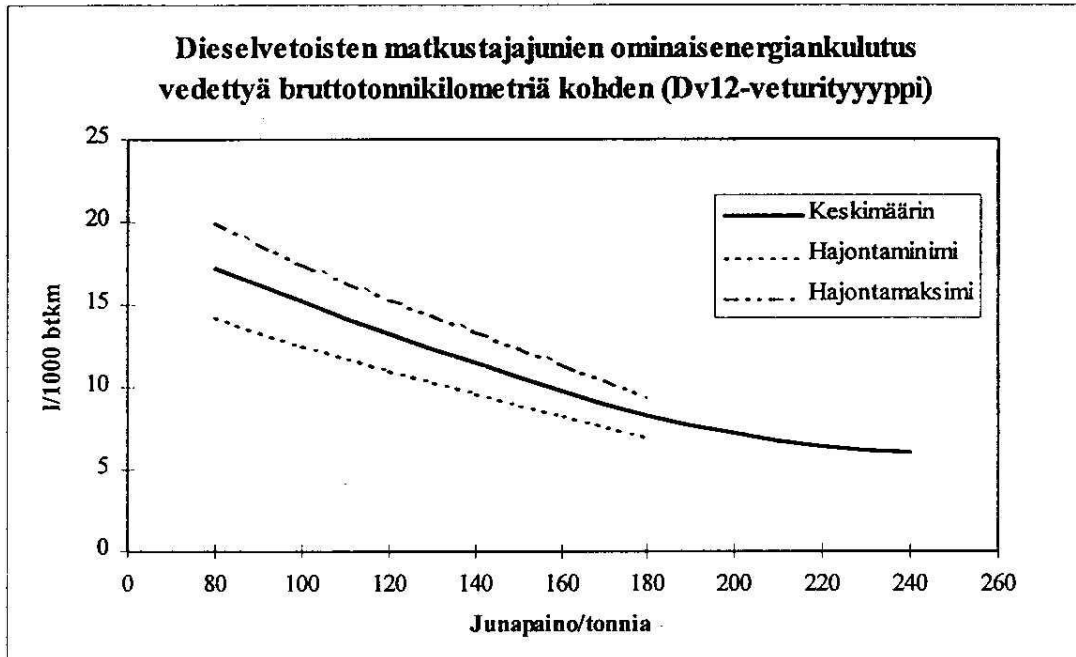
Thune-Larsen Harald, Madslie Anne, Lindfjord Jan Erik 1997, Energieffektivitet og utslipp I transport, Transportøkonomisk institutt, Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning, TÖI notat 1078/1997, 32s, + liitt

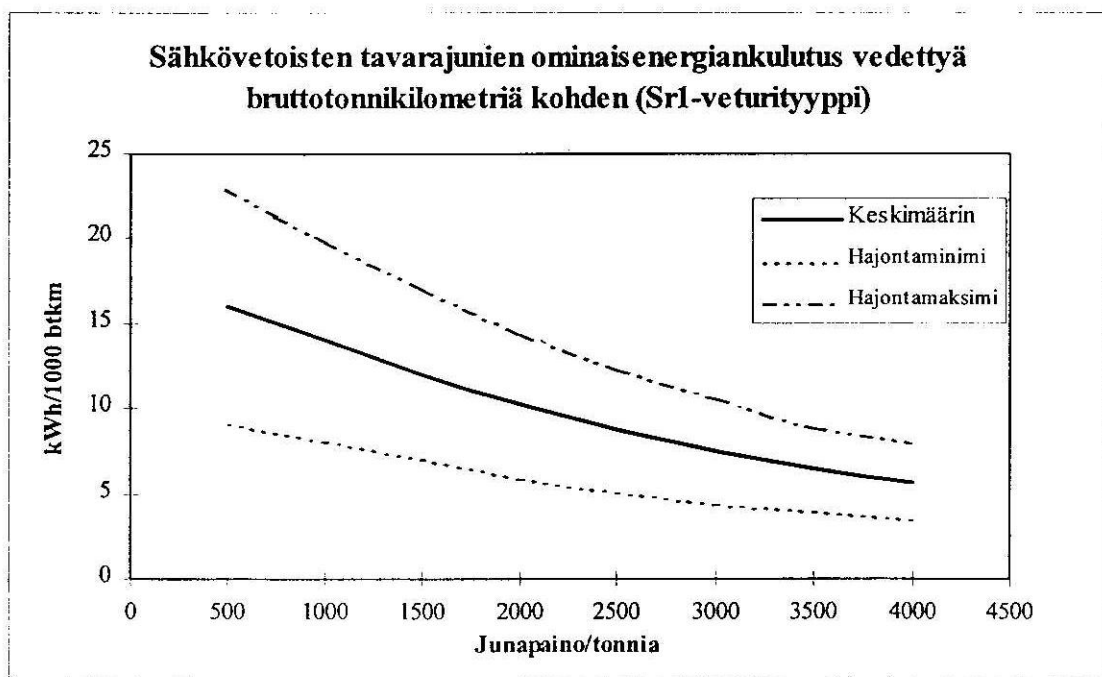
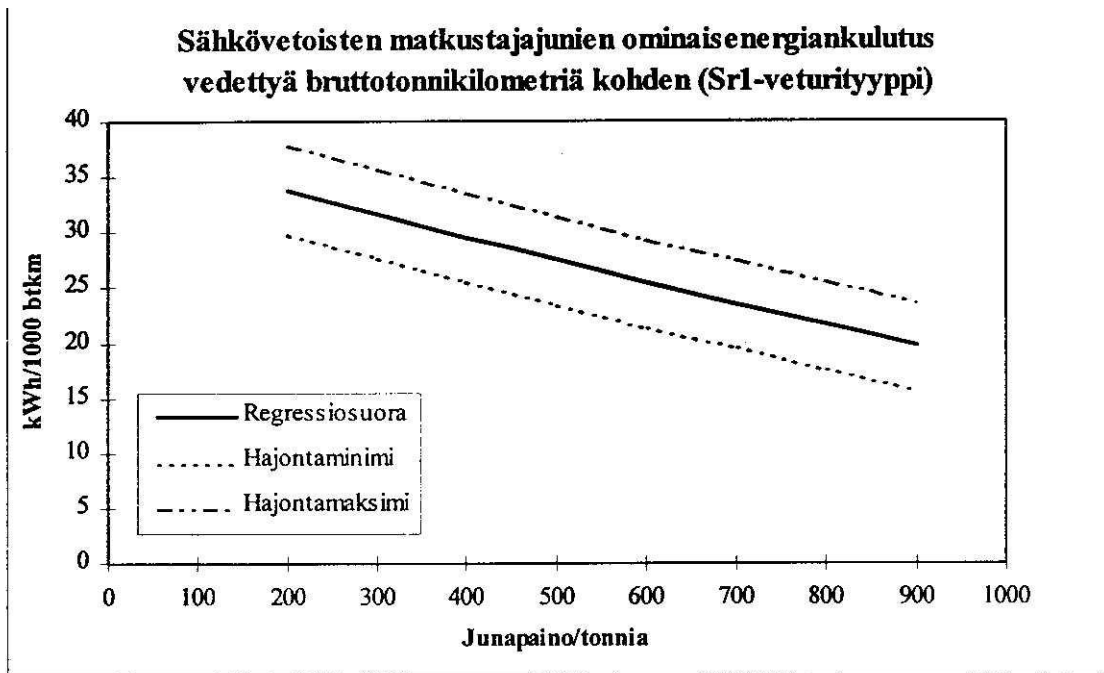
Tilastokeskus 2010, kirjallinen tiedonanto.

Liite A

Ominaisenergiankulutuskäyrät

Ohessa on esitetty käyrät ominaisenergiankulutuksen määrittämiseksi dieselvetoisille matkustaja- ja tavarajunille (vain Dv12-veturityyppi) sekä sähkövetoisille matkustaja- ja tavarajunille (vain Sr1-veturityyppi) junapainon perusteella, Ominaisenergiankulutus määritetään vedettyä 1000 bruttotonnikilometriä kohti (Pussinen 1997),

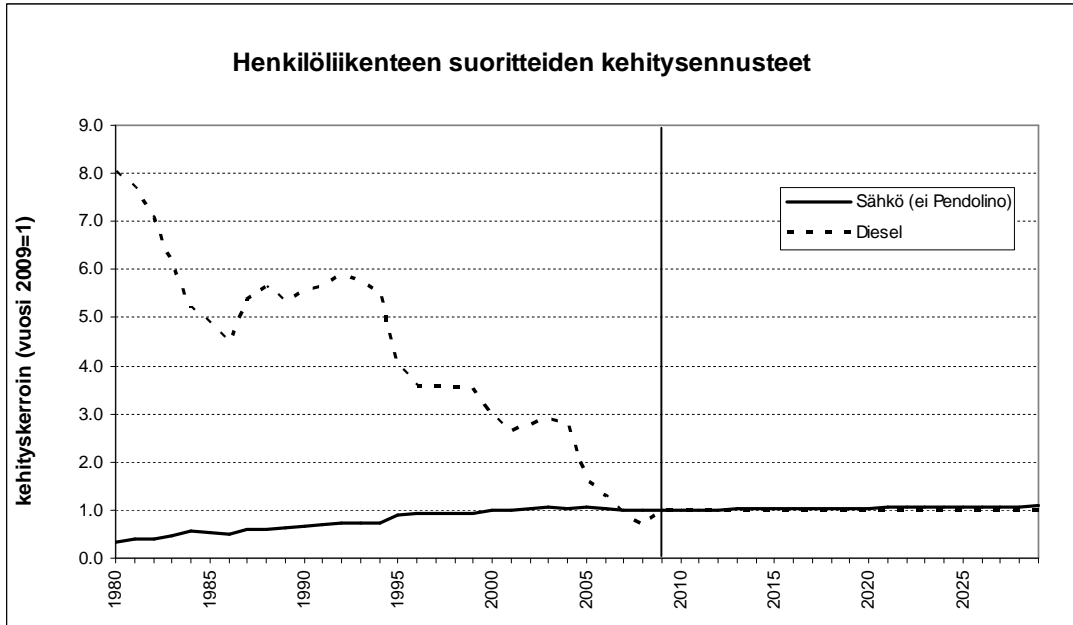




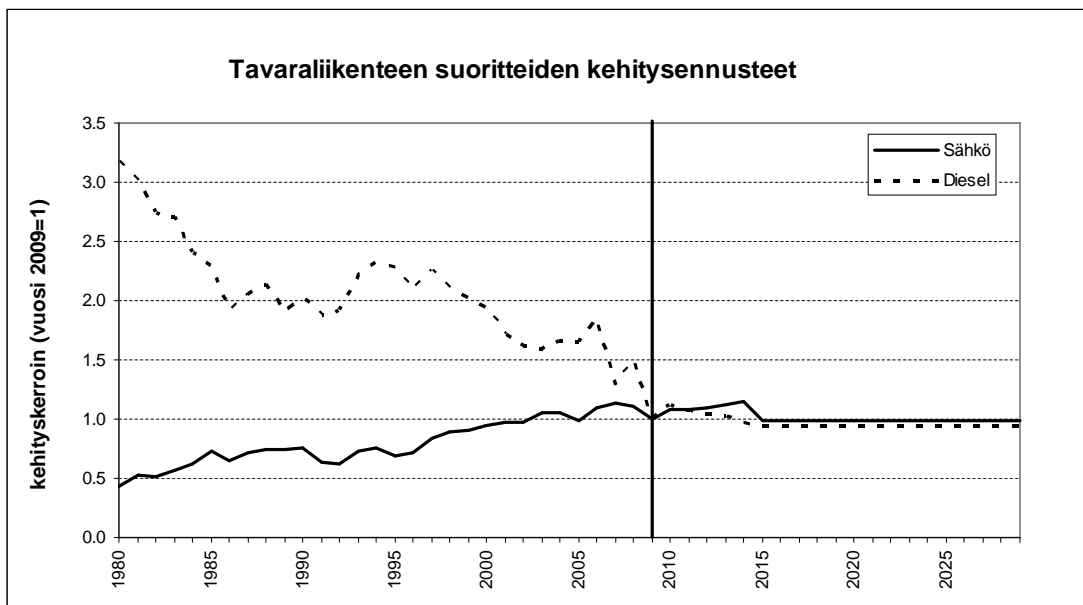
Liite B:

Rautatieliikenteen suoritteiden kehityskertoimet

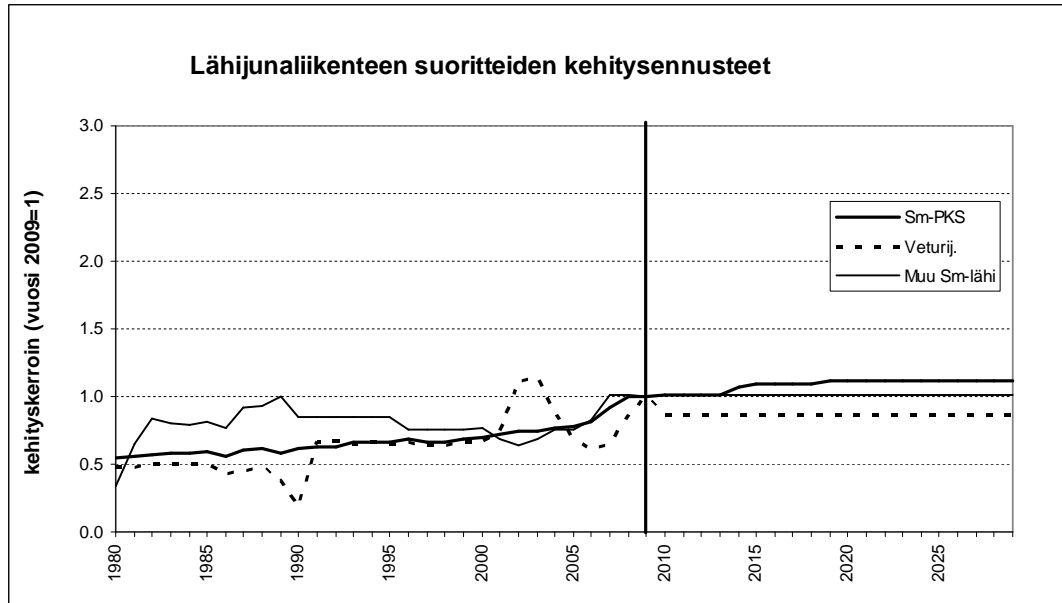
Rautatieliikenteen suoritteiden (vedetyt bruttotonnikilometrit) kehityskertoimet on esitetty erikseen sähkö- ja dieselvetoiselle henkilöliikenteelle (kuva 1), sähkö- ja dieselvetoiselle tavaraliikenteelle (kuva 2) sekä lähiliikenteelle (kuva 3). Lähiliikenteessä on kehityskertoimet pääkaupunkiseudun Sm-liikenteelle, pääkaupunkiseudun veturi-junaliikenteelle, sekä muun Suomen Sm-liikenteelle. Sm3-moottorijunan (Pendolino-juna) suoritteiden kasvulle on esitetty oma kehityksensä (kuva 4), koska sen yhdistäminen muuhun sähköjunaliikenteeseen olisi mahdotonta suoritteiden suuren kasvuennusteen vuoksi. Perusvuoden 2009 arvo on 1,0. Ratapihojen suoritteet (vaihtotyöt) sisältyvät kehitysennuksiin. Ennusteet perustuvat VR:n ja Liikenneviraston arvioihin.



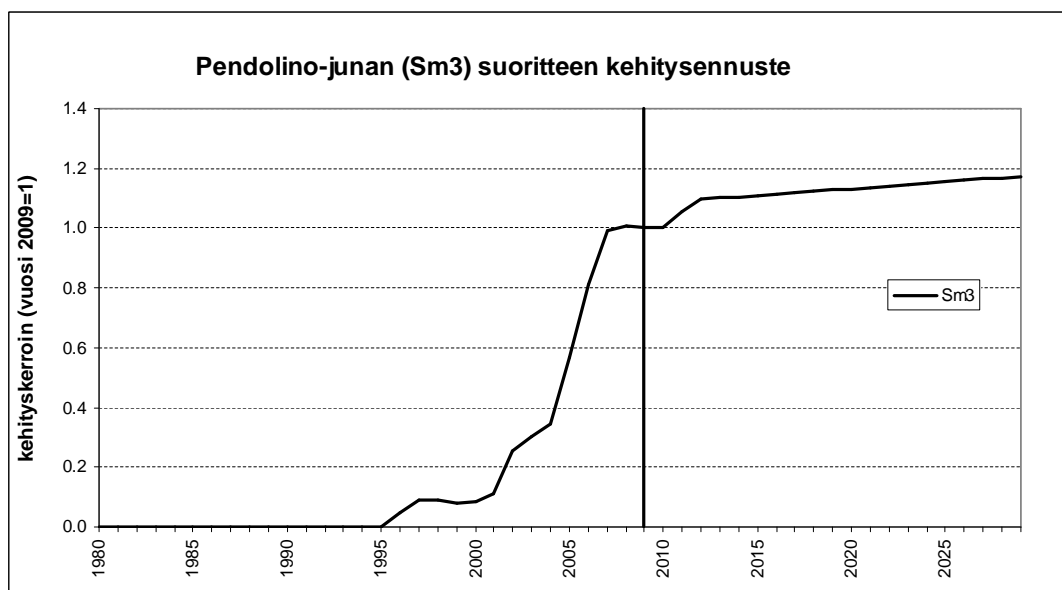
Liite B kuva 1. Henkilöliikenteen suoritteiden (vedetyt bruttotonnikilometrit), kehitysennuks



Liite B kuva 2. Tavaraliikenteen suoritteiden (vedetyt bruttotonnikilometrit) kehitysennuks.



Liite B kuva 3. Lähiliikenteen suoritteiden (junayksikkö-/junakilometrit) kehitysennusteet.



Liite B kuva 4. Pendolino-junan (Sm3) suoritteiden (junakilometrit) kehitysennuste

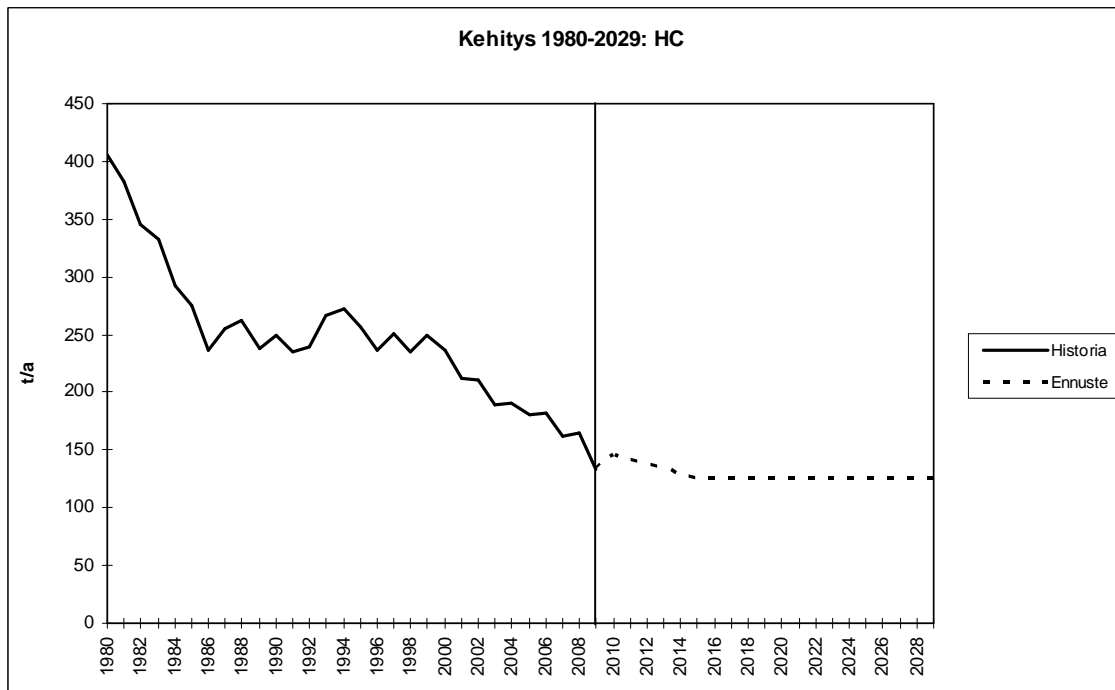
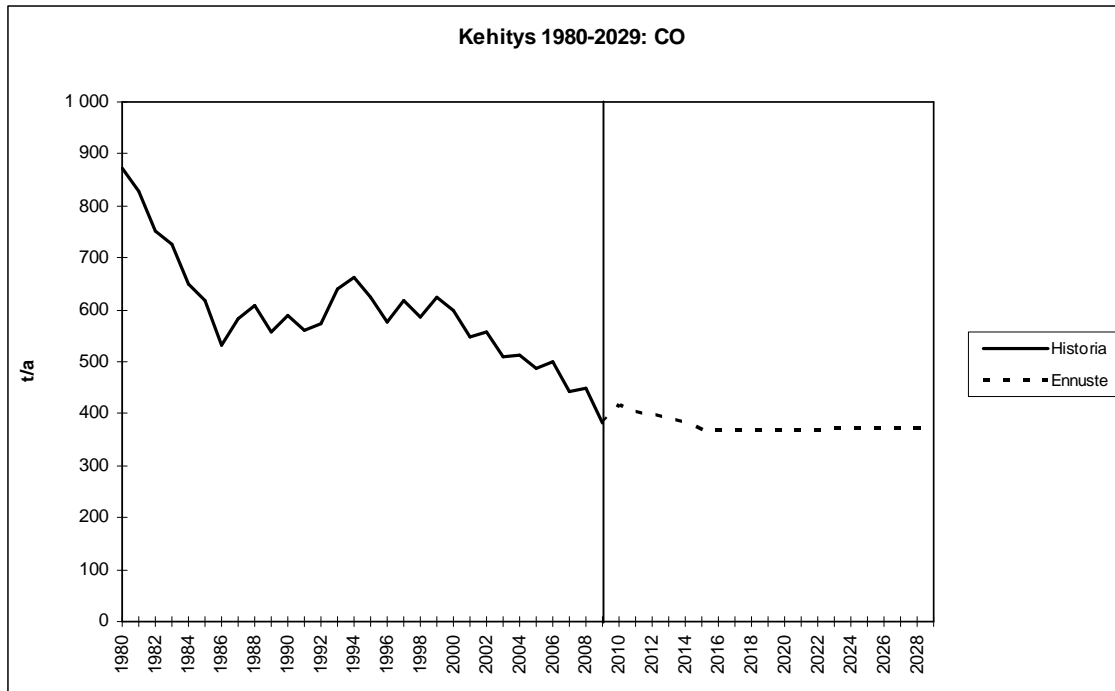
Liite C:

Malli rataosakohtaisesta tietokannasta

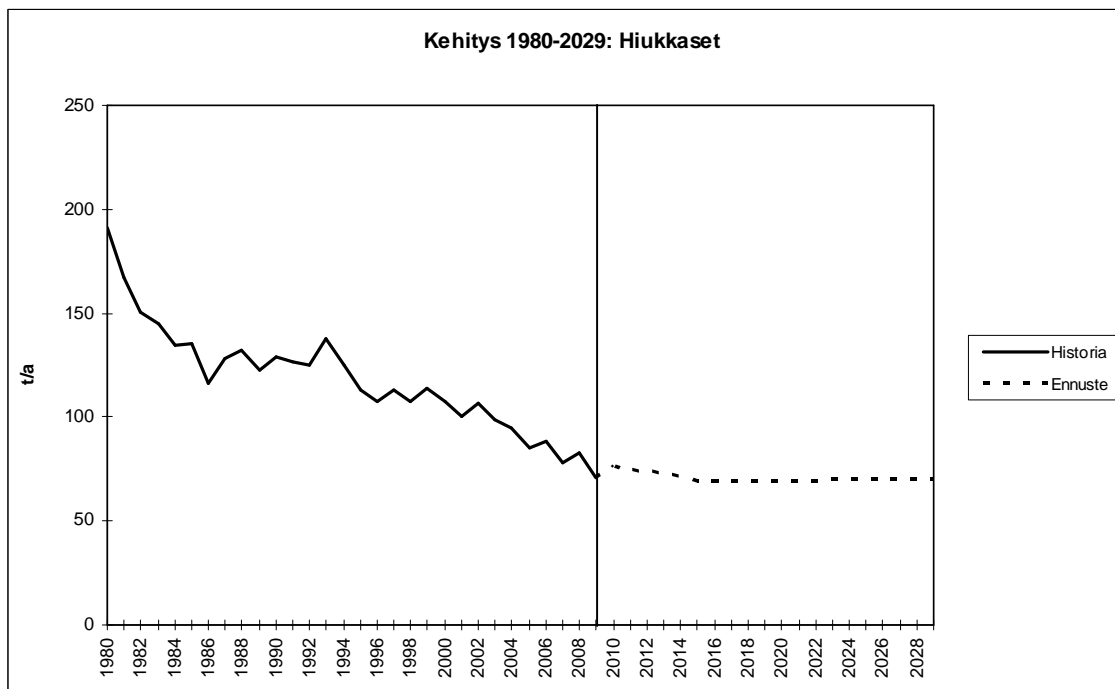
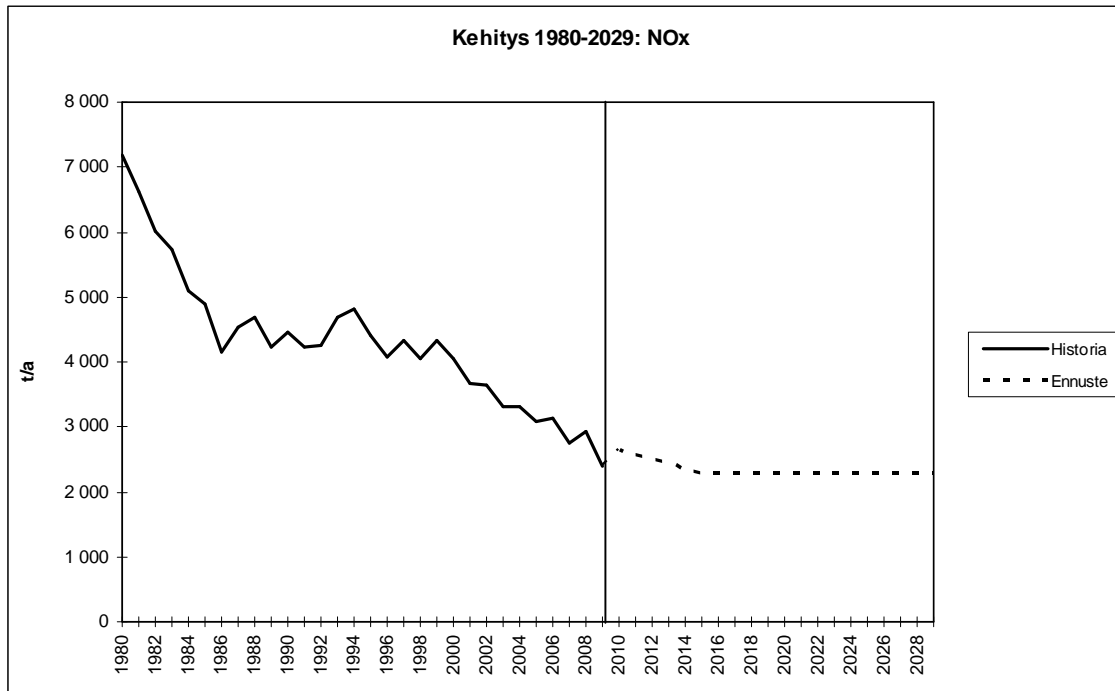
VUOSI	ROSA	ROSA	ASEMA	ASEMA	JL	VETLUK	VESAR	VELU	VEPA	VKM	YBRUTT	BRTNKM	JUNKM	JUNAL	ALLE 250	250-499
2007	63	40	TPE	OV	H	1	DM12	549	30195	21960	0	0	21960	549	549	0
2007	63	40	TPE	OV	H	2	DM12	960	52800	38400	0	0	19200	480	480	0
2007	64	40	OV	TPE	H	1	DM12	545	29975	21800	0	0	21800	545	545	0
2007	64	40	OV	TPE	H	2	DM12	964	53020	38560	0	0	19280	482	482	0
2007	65	72	OV	HPK	H	1	DM12	549	30195	39528	0	0	39528	549	549	0
2007	65	72	OV	HPK	H	2	DM12	960	52800	54648	0	0	34560	480	480	0
2007	66	72	HPK	OV	H	1	DM12	545	29975	39240	0	0	39240	545	545	0
2007	66	72	HPK	OV	H	2	DM12	964	53020	55080	0	0	34704	482	482	0
2007	71	118	HPK	SK	H	1	DM12	213	11715	25134	178	21004	25134	213	213	0
2007	71	118	HPK	SK	H	2	DM12	4	220	472	0	0	236	2	2	0
2007	72	118	SK	HPK	H	1	DM12	220	12100	25960	534	63012	25960	220	220	0
2007	72	118	SK	HPK	H	2	DM12	4	220	472	0	0	236	2	2	0
2007	221	49	KR	HNKR	H	1	DM12	1	55	49	0	0	49	1	1	0
2007	272	112	KSK	SK	H	1	DM12	1	55	24	0	0	24	1	1	0
2007	281	74	SK	VS	H	1	DM12	1	55	74	0	0	74	1	1	0
2007	282	74	VS	SK	H	1	DM12	1	55	74	0	0	74	1	1	0
2007	331	78	HPK	JY	H	1	DM12	220	12100	17160	534	41652	17160	220	220	0
2007	331	78	HPK	JY	H	2	DM12	4	220	156	0	0	156	2	2	0
2007	332	78	JY	HPK	H	1	DM12	213	11715	16614	178	13884	16614	213	213	0
2007	332	78	JY	HPK	H	2	DM12	4	220	156	0	0	156	2	2	0
2007	341	55	HPJ	YV	H	1	DM12	459	25245	25245	0	0	25245	459	459	0
2007	341	55	HPJ	YV	H	2	DM12	410	22550	22550	0	0	11275	205	205	0
2007	342	55	YV	HPJ	H	1	DM12	458	25190	25190	0	0	25190	458	458	0
2007	342	55	YV	HPJ	H	2	DM12	406	22330	22330	0	0	11165	203	203	0
2007	381	59	PAR	SL	H	1	DM12	1359	74745	80181	0	0	80181	1359	1359	0

Liite D:

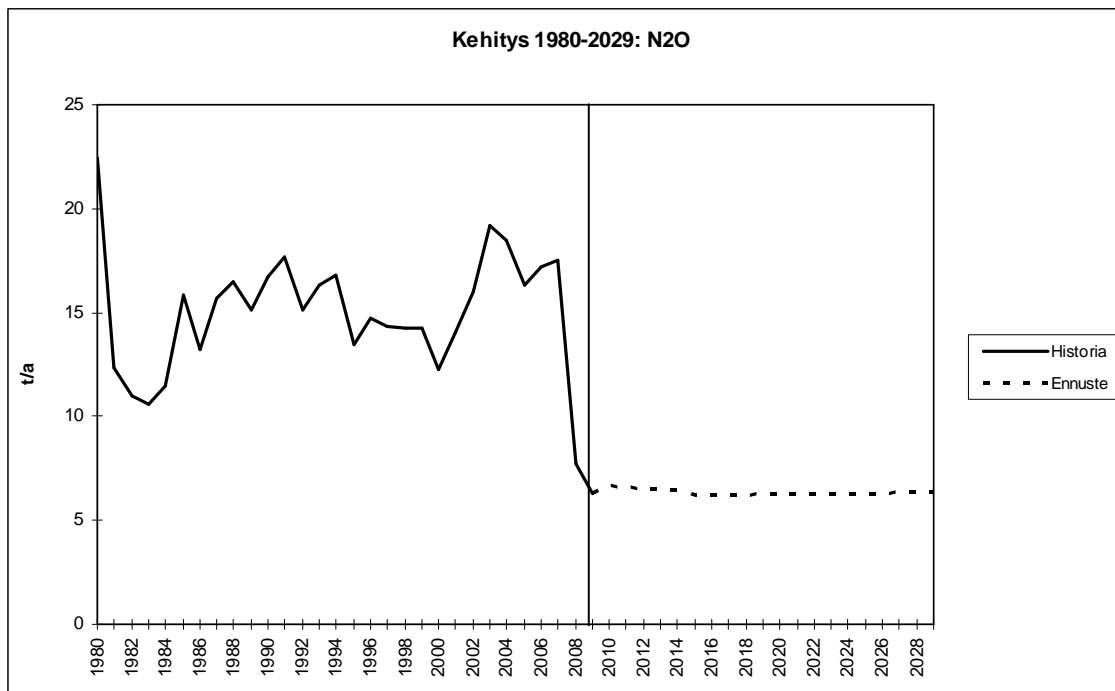
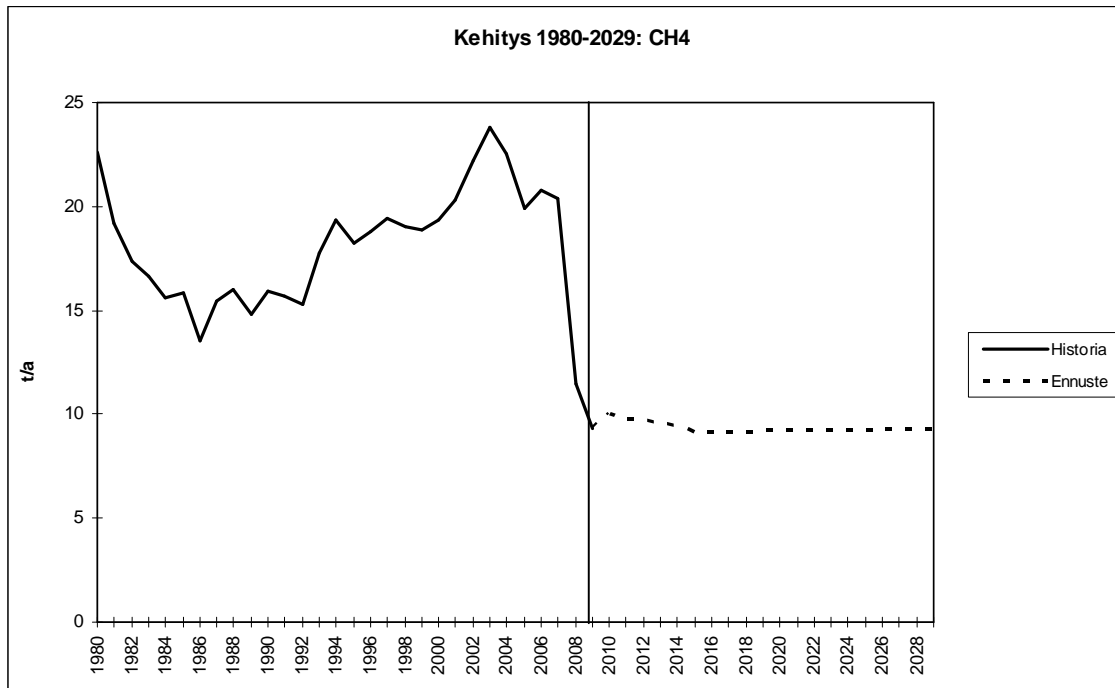
**Rautatieliikenteen päästöjen kehitys RAILI 2009 laskenta-
järjestelmän mukaan**



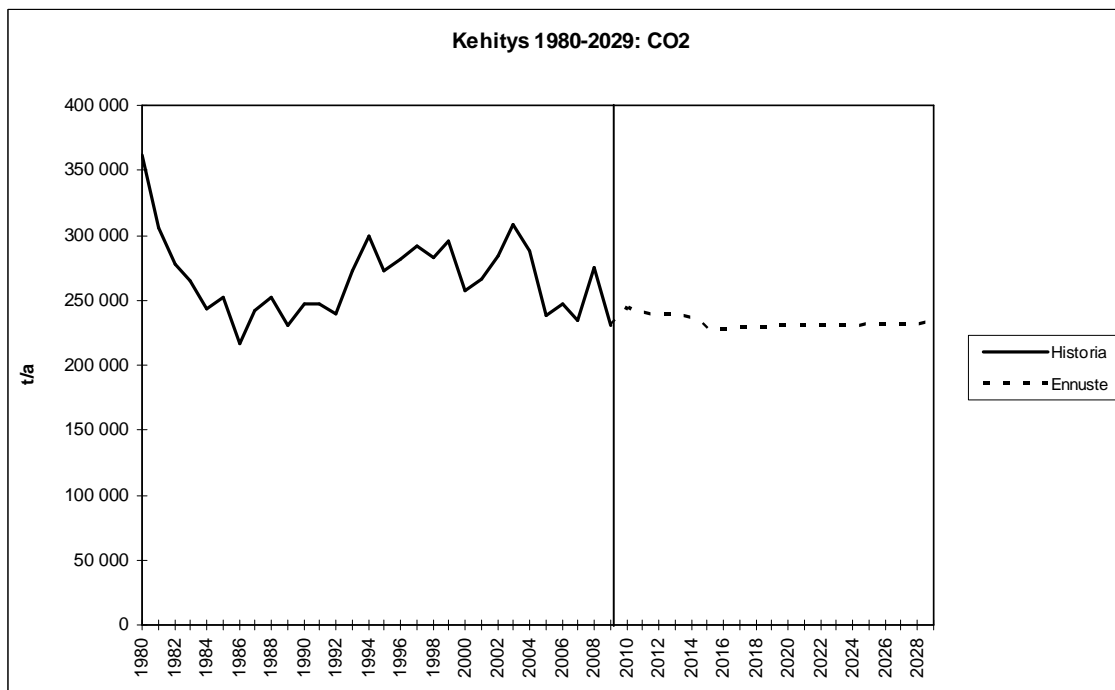
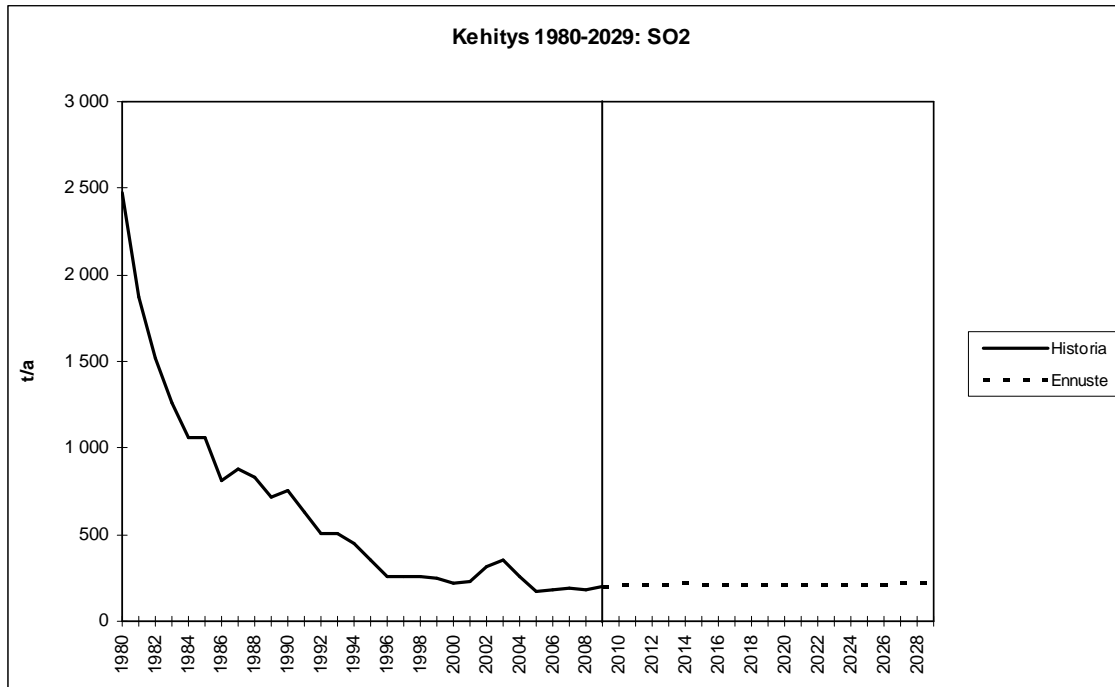
Rautatieliikenteen päästöjen kehitys RAILI 2009 laskentajärjestelmän mukaan



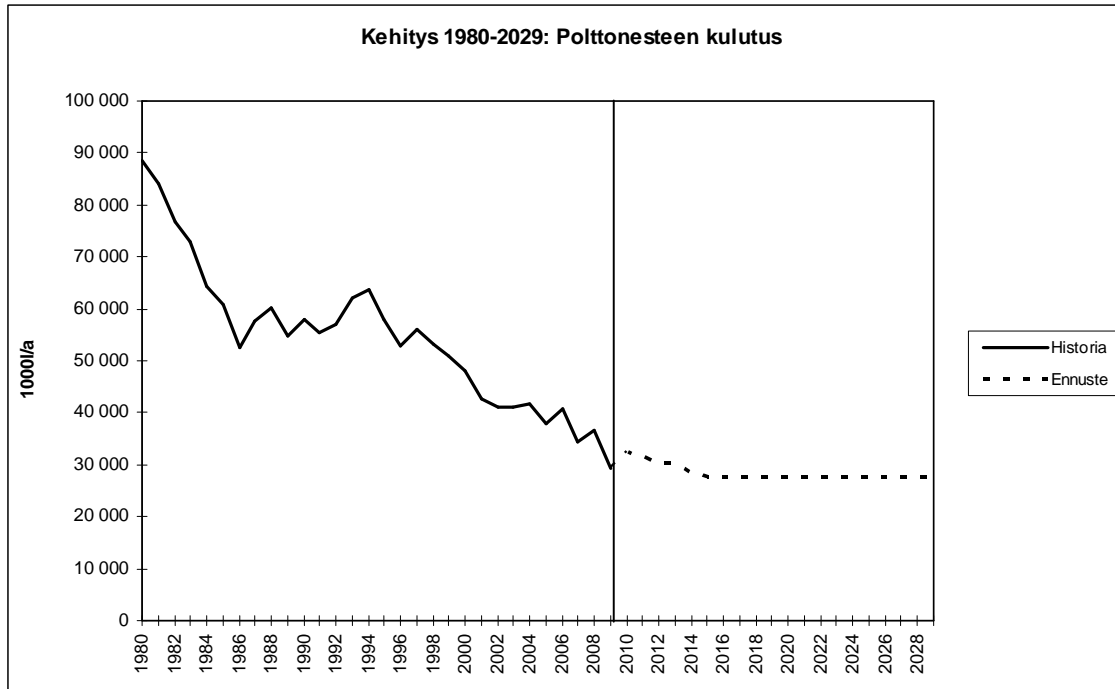
Rautatieliikenteen päästöjen kehitys RAILI 2009 laskentajärjestelmän mukaan



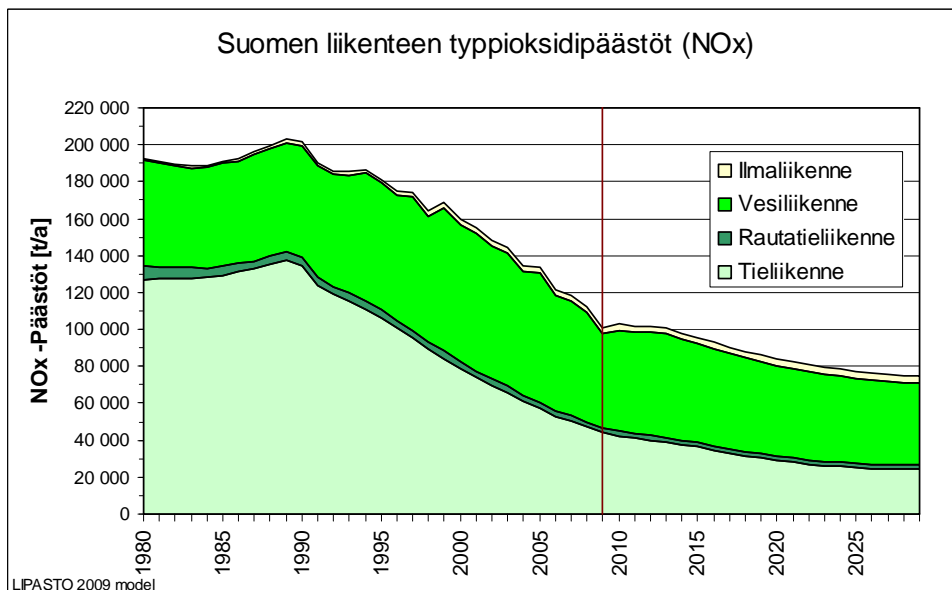
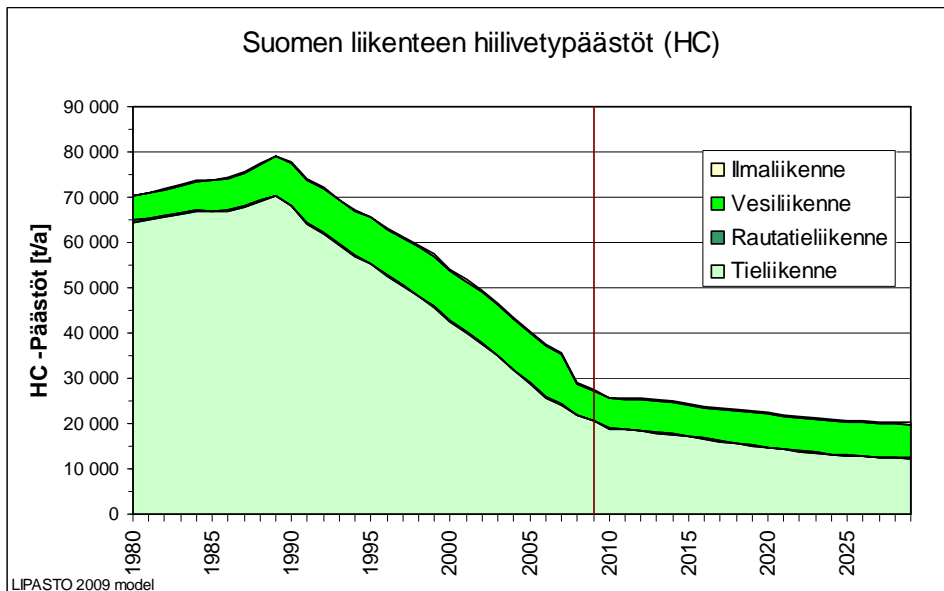
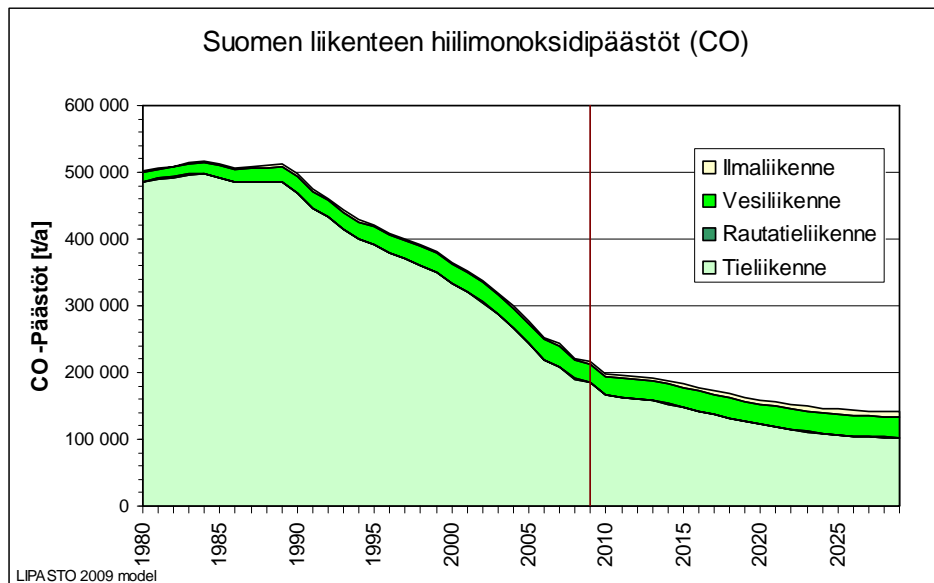
Rautatieliikenteen päästöjen kehitys RAILI 2009 laskentajärjestelmän mukaan



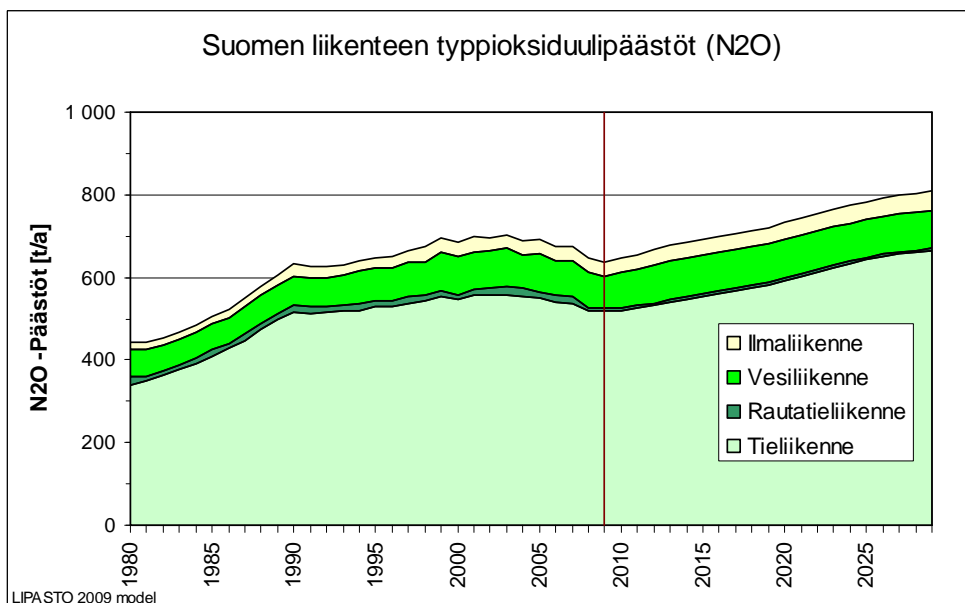
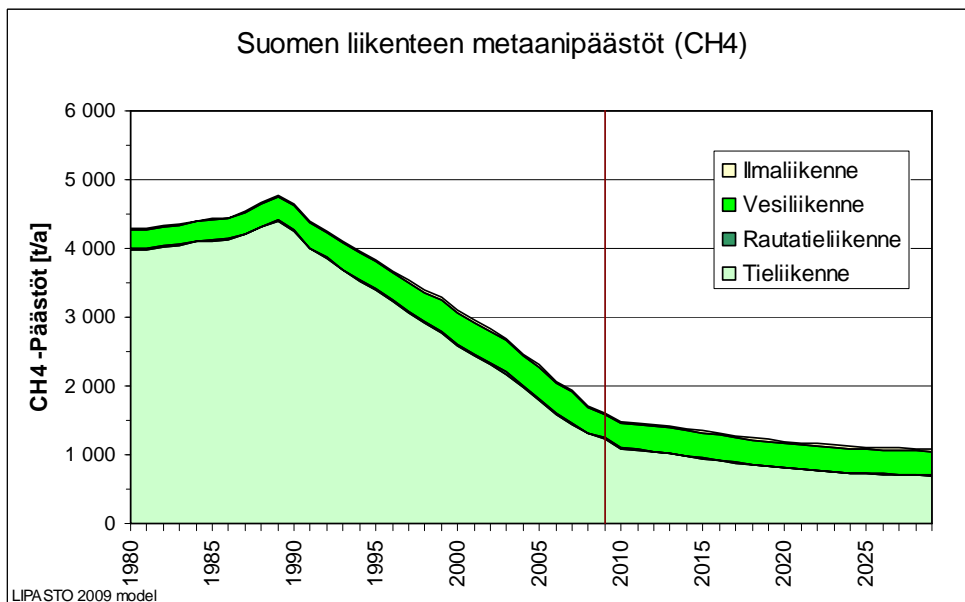
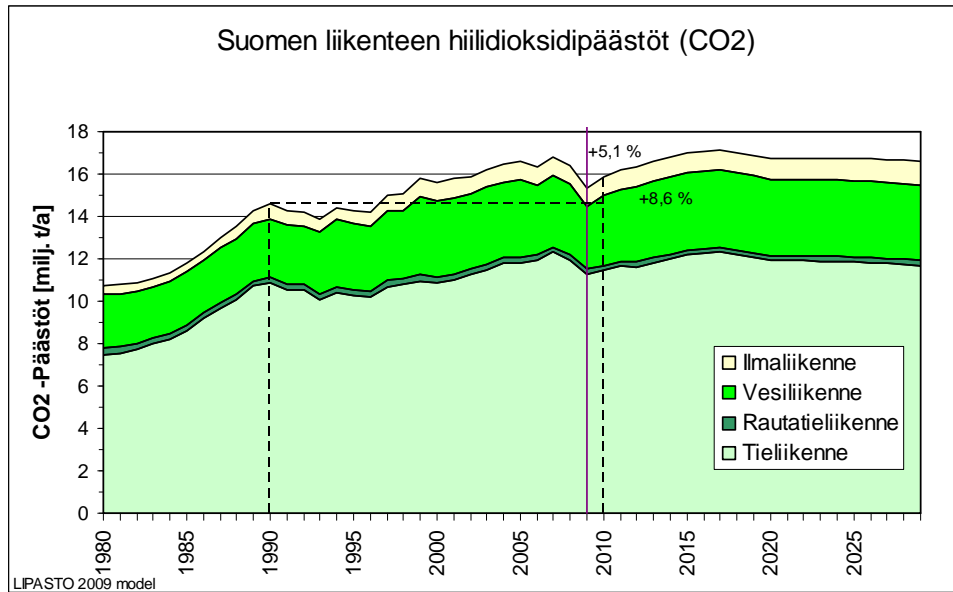
Rautatieliikenteen päästöjen kehitys RAILI 2009 laskentajärjestelmän mukaan



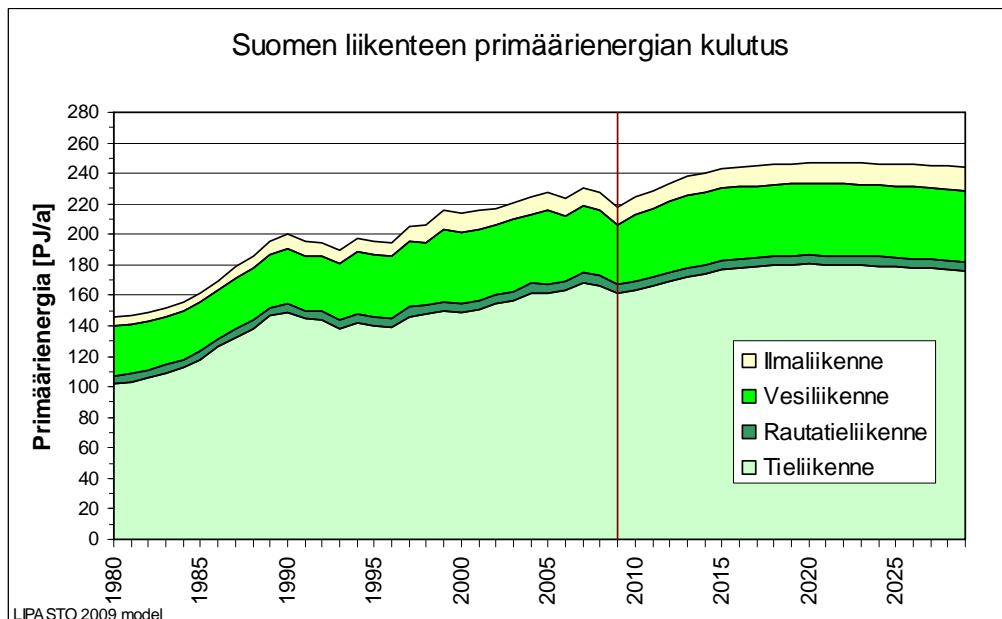
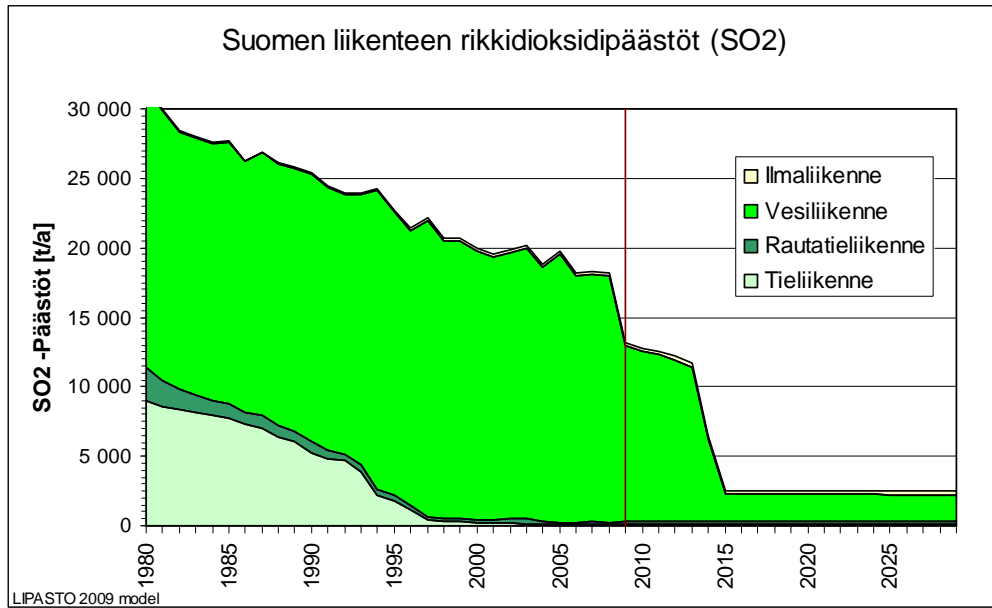
Liite E: Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen arvioitu kehitys (LIPASTO 2009)⁽¹⁾



⁽¹⁾ Ennusteet perustuvat suoritteiden osalta pääosin tielaitoksen tarkistettuun perusennusteeseen vuodelta 2007 sekä VR:n, Merenkululaitoksen ja Ilmailulaitoksen arvioihin. Päästökerroinnusteet perustuvat VTT:n selvityksiin. Meri- ja ilmailukenteessä on mukana ulkomaanliikenne, rautatieliikenne sisältää sähköjuna liikenteen osuuden voimalaitospäästöistä.



⁽¹⁾ Ennusteet perustuvat suoritteiden osalta pääosin tielaitoksen tarkistettuun perusennusteeseen vuodelta 2007 sekä Ratahallintokeskuksen, Merenkululaitoksen ja Ilmailulaitoksen arvioihin. Päästökeroennusteet perustuvat VTT:n selvityksiin. Meri- ja ilmailienteessä on mukana ulkomaanliikenne, rautatieliikenne sisältää sähköjunaliikenteen osuuden voimalaitospäästöistä.



⁽¹⁾ Ennusteet perustuvat suoritteiden osalta pääosin tielaitoksen tarkistettuun perusennusteeseen vuodelta 2007 sekä Ratahallintokeskuksen, Merenkululaitoksen ja Ilmailulaitoksen arvioihin. Päästökerroinnusteet perustuvat VTT:n selvityksiin. Meri- ja ilmaliikenteessä on mukana ulkomaanliikenne, rautatieliikenne sisältää sähköjuna liikenteen osuuden voimalaitospäästöistä.