

Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä

RAILI 2001

MOBILE² raportti M2T9916-15

Kari Mäkelä & Anu Tuominen
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Esa Pääkkönen

Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä RAILI 2001

Kari Mäkelä & Anu Tuominen
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Esa Pääkkönen

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Tutkimusraportti RTE 3165/02
Espoo 2002



MOBILE

VTT ENERGIA , Moottoritekniikka
PL 1601, 02044 VTT, puh. (90) 4561, fax (90) 460 493

Julkaisun sarja, numero tai raporttikoodi:

MOBILE 2 M2T9916-15
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka,
tutkimusraportti RTE 3165/02

Projektin tunnus:

M2T9916

Julkaisuaika:

2002

Julkaisun tekijä(t):

Kari Mäkelä, Anu Tuominen &
Esa Pääkkönen

Projektin nimi:

Julkaisun nimike:

Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä RAILI 2001

Tiivistelmä:

Suomen rautatieliikenteen päästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä RAILI on vuosittain päivitettävä rautatieliikenteen laskentamalli. Järjestelmän ensimmäinen versio RAILI 96 valmistui vuonna 1997. Tämä tutkimusraportti käsittelee kuudetta, vuoden 2001 tiedoilla päivitettyä versiota RAILI 2001. Projekti kuuluu osana LIPASTO 2001 projektiin, jossa selvitetään kaikkien liikennemuotojen päästöt Suomessa. RAILI 2001 projektissa valmistui tämän raportin lisäksi tietokoneohjelma RAILI 2001 . RAILI 2001-malli laskee rautatieliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna 2001. 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 2020.

Järjestelmä laskee Suomen rautatieliikenteen aiheuttamat päästöt seuraavista yhdisteistä: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiukkaset (PM), rikkidioksidi (SO₂) sekä hiilidioksidi (CO₂). Tuloksina saadaan lisäksi dieseljunaliikenteen polttonesteenkulutus ja sähköjunaliikenteen sähköenergiankulutus. RAILI 2001 järjestelmä on tarkoitettu lähinnä liikenneministeriön, Ratahallintokeskuksen, VR:n ja VTT:n käyttöön. Tietoa LIPASTO 2001 ja RAILI 2001 laskentajärjestelmistä on nähtävissä VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan Web sivulla: <http://lipasto.vtt.fi>

Suomen rautatieliikenteen aiheuttamat päästöt vuonna 2001 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 519 t, hiilivetyjä (HC) 195 t, typen oksideja (NO_x) 3 370 t, hiukkasia 98 t, rikkidioksidia (SO₂) 230 t ja hiilidioksidia (CO₂) 255 000 t. Kevyttä polttoöljyä kulutettiin yhteensä 44 500 t ja sähköenergiaa 505 000 MWh. Rautatieliikenteen kokonaisenergiankulutus oli vuonna 2001 5.3 PJ. Luvut sisältävät sähköveturien sähkökulutuksen aiheuttamat päästöt voimalaitoksissa. Vedettyjen bruttotonnikilometrien kokonaismäärä oli 27 600 miljoonaa brtkm. Rautatieliikenteen päästöjen kehityksessä ei näyttäisi tulevaisuudessa tapahtuvan suuria muutoksia nykyhetkeen verrattuna. Rikkidioksidin, hiilimonoksidin, hiilivetyjen, hiukkasten ja typen oksidien vuotuiset päästömäärät pysyvät ennusteen mukaan noin vuoden 2001 tasolla vuoteen 2020 asti, tai laskevat dieselkaluston uusimisen ja rataosien sähköistyksen vaikutuksesta hiukan. Rautatieliikenteen kokonaisenergiankulutus ja siten myös hiilidioksidin päästöt näyttäisivät suoritteiden kasvun myötä lievästi kasvavan.

Julkaisija: VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Avainsanat:

Rautatieliikenne, pakokaasupäästöt, malli

ISSN

1237-5721

ISBN

Tilausosoite:

Raportti on tulostettavissa kokonaisuudessaan pdf muodossa Web-osoitteesta:
<http://lipasto.vtt.fi/lipasto/raili>

Luokitus (UDK):

Kieli: Suomi

Sivuja: 33+liit.15



MOBILE

Publication series, volume number or report code:

MOBILE² raportti M2T9916-15

VTT Building and Transport

Contractor Report RTE 3165/02 (in Finnish)

VTT ENERGY, Engine Technology
P.O.Box 1601, FIN-02044 VTT, FINLAND
tel. +358-0-4561, fax +358-0-460 493

Project code:

M2T9916

Published:

2002

Author(s):

**Kari Mäkelä, Anu Tuominen &
Esa Pääkkönen**

Project name:

Name of the publication:

RAILI 2001. CALCULATION SYSTEM FOR THE FINNISH RAILWAY TRAFFIC EMISSIONS

Abstract:

RAILI 2001 is a railway traffic sub model of the LIPASTO 2001 calculation system concerning all traffic modes. The calculation system of railway traffic emissions developed in VTT Building and Transport is the first annually updated calculation model of railway traffic in Finland. Version RAILI 2001 is an update of the version RAILI 2000. The model calculates the amount of exhaust gas emissions and energy consumption caused by railway traffic in the base year 2001 and forecasts for the years 1980 - 2021.

Emissions caused by Finnish railroad traffic can be calculated from the following compounds: carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), nitrogen oxides (NO_x), particles (PM), 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.

Web pages concerning RAILI model will be find on site: <http://lipasto.vtt.fi/lipastoe/railie>

Publisher:

VTT Building and Transport

Keywords:

Railway traffic, exhaust gas, emissions, model

ISSN

1237-5721

ISBN

Address for orders:

**VTT Building and Transport
P.O.Box 1800
FIN-02044 VTT
Finland**

Classification (UDK):

Language: Finnish

Pages: 33+app.15

TIIVISTELMÄ

Suomen rautatieliikenteen päästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä RAILI on vuosittain päivitettävä rautatieliikenteen laskentamalli. Järjestelmän ensimmäinen versio RAILI 96 valmistui vuonna 1997. Tämä tutkimusraportti käsittelee kuudetta, vuoden 2001 tiedoilla päivitettyä versiota RAILI 2001. Projekti kuuluu osana LIPASTO 2001 projektiin, jossa selvitetään kaikkien liikenne-
muotojen päästöt Suomessa. RAILI 2001 projektissa valmistui tämän raportin lisäksi tietokoneohjelma RAILI 2001 ja sen järjestelmäkuvaus.

RAILI 2001-malli laskee rautatieliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna 2001. 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 2021.

Järjestelmä laskee Suomen rautatieliikenteen aiheuttamat päästöt seuraavista yhdisteistä: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiukkaset (PM), rikkidioksidi (SO₂) sekä hiilidioksidi (CO₂). Tuloksina saadaan lisäksi dieseljunaliikenteen polttonesteenkulutus ja sähköjunaliikenteen sähköenergiankulutus. RAILI 2001 järjestelmä on tarkoitettu lähinnä liikenneministeriön, Ratahallintokeskuksen, VR:n ja VTT:n käyttöön. Tietoa LIPASTO 2001 ja RAILI 2001 laskentajärjestelmistä on nähtävissä VTT Yhdyskuntatekniikan Web sivulla:

<http://lipasto.vtt.fi>

Suomen rautatieliikenteen aiheuttamat päästöt vuonna 2001 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 519 t, hiilivetyjä (HC) 195 t, typen oksideja (NO_x) 3 370 t, hiukkasia 95 t, rikkidioksidia (SO₂) 230 t ja hiilidioksidia (CO₂) 255 000 t. Kevyttä polttoöljyä kulutettiin yhteensä 44 500 t ja sähköenergiaa 505 000 MWh. Rautatieliikenteen kokonaisenergiankulutus oli vuonna 2001 5.3 PJ. Luvut sisältävät sähköveturien sähkökulutuksen aiheuttamat päästöt voimalaitoksissa. Vedettyjen bruttotonnikilometrien kokonaismäärä oli 27 600 miljoonaa brtkm.

Rautatieliikenteen päästöjen kehityksessä ei näyttäisi tulevaisuudessa tapahtuvan suuria muutoksia nykyhetken verrattuna. Rikkidioksidin, hiilimonoksidin, hiilivetyjen, hiukkasten ja typen oksidien vuotuiset päästömäärät pysyvät ennusteen mukaan noin vuoden 2001 tasolla vuoteen 2020 asti, tai laskevat dieselkaluston uusimisen ja rataosien sähköistyksen vaikutuksesta hiukan. Rautatieliikenteen kokonaisenergiankulutus ja siten myös hiilidioksidin päästöt näyttäisivät suoritteen kasvun myötä lievästi kasvavan.

Kari Mäkelä, Anu Tuominen & Esa Pääkkönen 2002. Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä RAILI 2001. *Calculation system for the Finnish railway traffic emissions RAILI 2001* Technical Research Centre of Finland, Building and Transport, Research Report RTE 3165/02. 30 p. + apps. 15 p.

ABSTRACT

RAILI 2001 is a railway traffic sub model of the LIPASTO 2001 calculation system concerning all traffic modes. The calculation system of railway traffic emissions developed in VTT Building and Transport is the first annually updated calculation model of railway traffic in Finland. Version RAILI 2001 is an update of the version RAILI 2000. The model calculates the amount of exhaust gas emissions and energy consumption caused by railway traffic in the base year 2001 and forecasts for the years 1980 - 2021.

Emissions caused by Finnish railroad traffic can be calculated from the following compounds: carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), nitrogen oxides (NO_x), particles (PM), 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.

Web pages concerning RAILI model will be find on site:

<http://lipasto.vtt.fi/lipastoe/railie>.

ALKUSANAT

RAILI 2001 on kaikkien liikennemuotojen LIPASTO 2001 laskentajärjestelmän alamalli. Koko LIPASTO 2001 -laskentajärjestelmän (ml. alamallit) päivityksen on rahoittanut MOBILE² -tutkimusohjelma, jossa tämän projektin rahoittaja on liikenne- ja viestintäministeriö.

Projektin vastuullisena johtajana on toiminut erikoistutkija Kari Mäkelä VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikasta. Työhön on osallistunut tutkija Anu Tuominen VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikasta. Ohjelmointityön on tehnyt Esa Pääkkönen.

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	7
2	LASKENTAMALLIN RAKENNE	8
2.1	Yleistä	8
2.2	Rataosakohtainen laskenta	9
2.3	Ratapihakohtaiset päästöt	10
2.4	Lähiliikenteen päästöt	10
2.5	Valtakunnalliset päästöt	10
2.6	Aikasarjat ja ennusteet	11
3	LÄHTÖTIEDOT	12
3.1	Rataverkko ja vetovoimakalusto	12
3.2	Liikennöinti- ja energiankulutustiedot	13
3.2.1	Rataosakohtaiset liikennöintitiedot	13
3.2.2	Ratapihojen työtunnit	13
3.2.3	Lähiliikenteen liikennöintitiedot	14
3.2.4	Rautatieliikenteen kehitys	15
3.3	Poltonestetiedot	15
3.3.1	Käytetyt poltonesteet	15
3.3.2	Rikkipitoisuus	15
3.4	Päästökerrointiedot	16
3.4.1	Tutkitut yhdisteet	16
3.4.2	Päästölähteet	16
3.4.3	Päästökertoimien määrittäminen	16
3.4.4	Päästökertoimien kehitys	17
4	JÄRJESTELMÄKUVAUS	18
4.1	MUST malli	18
4.1.1	MUST-ohjelmistokehittimen rakenne	18
5	LASKENTATULOKSET	21
5.1	Päästömäärät	21
5.2	Päästöjen vertailu	25
6	YHTEENVETO	28

1 Johdanto

Yhä lisääntyvät kansainväliset velvoitteet 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 yhte näisten laskentaperusteiden olemassaoloa ja päästöprosessin tuntemusta.

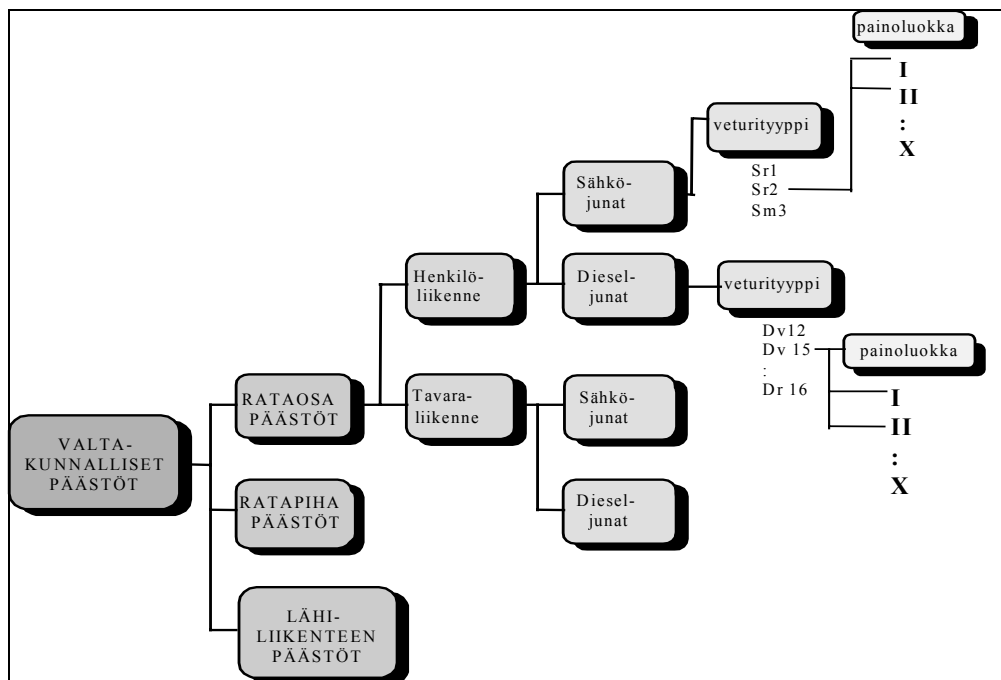
Liikenteen suurin ympäristökuormitus tulee pakokaasupäästöistä. Rautatieliikenne on yksi neljästä liikennemuodosta, joista suurin pakokaasupäästöjen aiheuttaja on tieliikenne. Sen ympäristökuormituksen selvittämiseksi on ryhdyttykin toimenpiteisiin huomattavasti ennen muita liikennemuotoja. Vuonna 1997 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 2001 tiedoilla päivitetystä laskentajärjestelmästä RAILI 2001.

Rautatieliikenteestä, samoin kuin vesi- ja ilmaliikenteestä on vuoteen 1997 mennessä tehty vain päästöjen ja energiankulutuksen kertalaskentoja. Liikenteen päästölaskennan jatkuva kehittäminen ja seuranta edellyttää päivitettävän järjestelmän olemassaoloa. Laskentajärjestelmä mahdollistaa ajantasaisen päästömäärien seurannan sekä erilaisten tulevaisuuden tilanteiden arvioinnin ja testauksen.

2 LASKENTAMALLIN RAKENNE

2.1 Yleistä

RAILI 2001-laskentajärjestelmän perustan muodostavat rataosa- ja ratapihakohtaiset liikennöintitiedot. Järjestelmä laskee rautatieliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna (2001) **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 (NOx), hiukkaset (PM), rikkidioksidi (SO₂) sekä hiilidioksidi (CO₂). Laskennassa on mukana myös energiankulutus (kevyt polttoöljy ja sähkö). Päästötiedot saadaan sekä valtakunnallisesti että rataosa- ja ratapihakohtaisesti. Päästömäärät lasketaan päästökerrointen ja junien energiankulutuksen tulona. Laskentajärjestelmä laskee lisäksi **lähijunaliikenteen** aiheuttamat päästöt ja energiankulutuksen. Lähiliikenne on jaettu kahteen osaan: pääkaupunkiseudun lähiliikenteeseen ja muun Suomen lähiliikenteeseen. RAILI 2001-laskentajärjestelmä sisältää karkeat arviot vuosien 1980-1997 päästömääristä, tarkat laskennat vuosilta 1998, 1999, 2000 ja 2001 sekä ennusteet vuodesta 2002 vuoteen 2021. RAILI:n ensimmäisten versioiden (-96 ja -97) tulokset eivät täysin täsmää uudempien RAILI-versioiden laskentatulosten kanssa, koska RAILI 1998 - RAILI 2001:ssä on käytetty uudempia, VR:n teettämien mittausten ansiosta tarkentuneita päästökertoimien arvoja. RAILI 1998 - RAILI 2001:n laskentatulosten voidaan olettaa kuvaavan todellista tilannetta aikaisempia versioita paremmin.



Kuva 1. Laskentamallin rakenne.

2.2 Rataosakohtainen laskenta

Rataosakohtainen laskenta sisältää kaikkiaan 229 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 (kg_{pa} , kWh). Päästöjen määrä saadaan kertomalla energiankulutus veturityyppiä vastaavalla päästökertoimella ($\text{g}/\text{kg}_{\text{pa}}$, 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 1. Ominaisenergiankulutuksen määrittämistä varten on rataosan junaliikenne jaoteltu junapainojen perusteella kymmeneen luokkaan. Kunkin painoluokan keskiarvon perusteella on käyrästä määriteltä tälle luokalle tyyppillinen 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 15.5 kWh/km (Pussinen 1997). 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 tavaraliikenteellä 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 1.045 (n. 4.5 %).

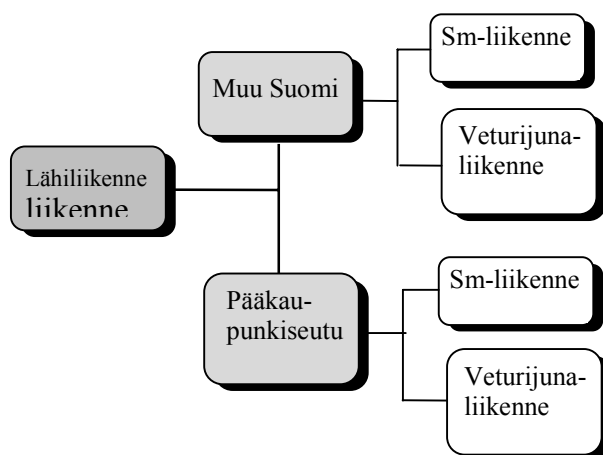
2.3 Ratapihakohtaiset päästöt

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 dieselveikalustolla.

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 (7.9 kWh/km pääkaupunkiseudun lähiliikenteessä ja 5.9 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 2001-järjestelmässä valtakunnallisille päästöille on oma tulostusnäyttönsä.

2.6 Aikasarjat ja ennusteet

Laskentajärjestelmä laskee perusvuoden 2001 lisäksi pakokaasupäästöt vuosilta 1980-2000 sekä ennustevuosilta 2002-2021. 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 bruttotonnikipolymetri (lähiliikenteessä junayksikkökilometri) kokonaismäärää perusvuoteen 2001 verrattuna. Päästökertoimien kehityskertoimet (kullekin yhdisteelle omansa) kuvaavat päästökertoimien arvoja perusvuoden 2001 päästökertoimiarvoihin verrattuna. Vuoden 2001 kehityskertoimet ovat kaikissa tapauksissa 1.00.

Junaliikenteen suoritteiden kehitysennusteet perustuvat VR:n ja Ratahallintokeskuksen arvioihin. Päästökertoimien muutosennusteet perustuvat sähköjunaliikenteen osalta IVO:n ennusteisiin ja dieseljunaliikenteen osalta ulkomaisiin tutkimustuloksiin ja arvioihin (Thune-Larsen et al. 1997). Liitteessä 2 on esitetty laskentajärjestelmässä käytetyt vuosittaiset suoritteiden kehityskertoimet eri juna- ja veturityypeille ja liitteessä 3 vuosittaiset kehityskertoimet eri yhdisteille.

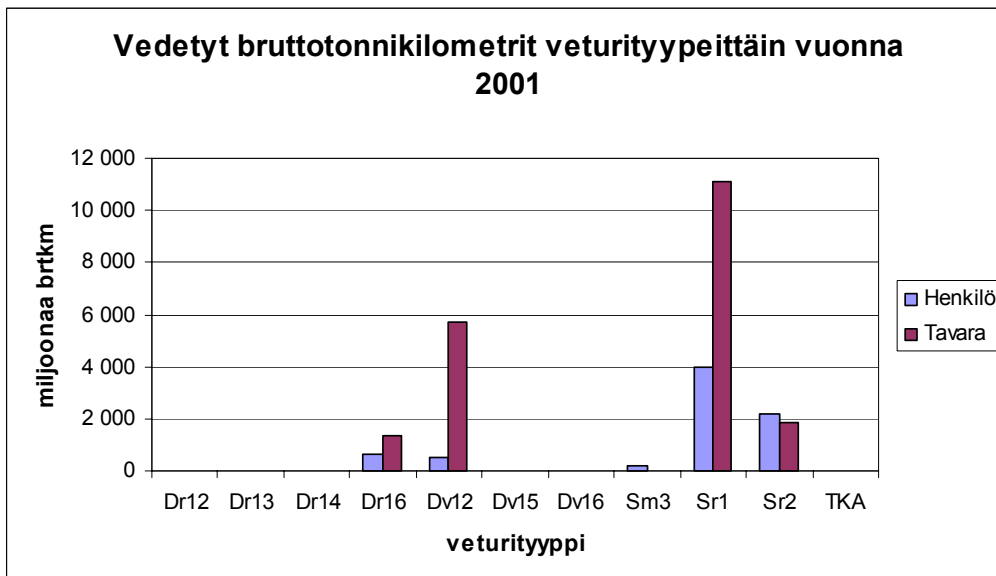
3 Lähtötiedot

3.1 Rataverkko ja vetovoimakalusto

Vuoden 2001 lopussa Suomen rataverkon kokonaispituus oli 5 850 km, josta sähköistettyä rataa oli 2 400 km. Rataverkolla vedettyjen bruttotonnikilometrien määrä vuonna 2001 oli henkilöliikenteessä 7 520 milj. brtkm ja tavaraliikenteessä 20 092 milj. brtkm. Rataosia RAILI 2001 laskennassa on mukana 241 kpl. Rataosaksi on tässä yhteydessä määritelty vain samaan suuntaan kulkevaa liikennettä palveleva rataosa. "Maantieteellisen" rataosan voi siis kuvitella sisältävän kaksi laskentajärjestelmän rataosaa (meno- ja paluusuunnat). Ratapihojen lukumäärä laskentajärjestelmässä on 123.

Suomen junaliikenne jakautuu veturijuniin ja moottorivaunujuniin. Veturijunilla hoidetaan tavaraliikenne ja osa henkilöliikenteestä. Moottorivaunujunat ovat käytössä etenkin lähiliikenteessä sekä käyttöönotettavan uuden Pendolino-junan myötä myös suurten asutuskeskusten välisessä nopeassa kaukojunaliikenteessä.

RAILI 2001-laskentajärjestelmä sisältää kaksi sähköveturityyppiä eli veturityypit Sr1 ja Sr2. Sähkövetureita käytetään sekä henkilö- että tavaraliikenteessä. Dieselveturityyppiä on kuusi erilaista eli veturityypit Dv12, Dv15, Dv16, Dr13, Dr14 ja Dr16 (Dieselveturityypit, lukuun ottamatta Dv12 ja Dr 16 alkavat olla jo käyttöikänsä loppupuolella). Veturityypeistä Dv15, Dv16 ja Dr14 toimivat pääaisassa erilaisissa ratapihojen vaununjärjestely- tai vaununvaihtotöissä (Pussinen 1997). Moottorivaunutyyppejä laskentajärjestelmässä on kolme erilaista, lähiliikenteen moottorivaunujunat Sm1 ja Sm2 sekä VR:n uusin hankinta Sm3 eli Pendolino-juna. Kuvassa 3 on esitetty vedettyjen bruttotonnikilometrien jakautuminen veturityypeittäin Suomessa 2001.



Kuva 3. Vedetyt bruttotonnikilometrit veturityypeittäin 2001.

3.2 Liikennöinti- ja energiankulutustiedot

3.2.1 Rataosakohtaiset liikennöintitiedot

RAILI 2001 :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 4 on esitetty malli tietokannasta. Tietokanta sisältää RAILI 2001 :n 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 junaliikenne 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 1.

Sm3-moottorivaunun (Pendolino-juna) ominaiskulutuksena on käytetty arvoa 15.5 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 määritetty taulukon 3 mukaisesti VR:n arvioiden perusteella.

Taulukko 1. Junien jako luokkiin junapainon perusteella sekä ominaisenergiankulutus luokittain.

Luokka	Junapaino (t)	Omin.energiankulutus (kWh tai l/1000brtkm)			
		henkilö / S	tavara / S	henkilö / D	tavara / D
1	<250	30.1	10.7	7.5	11.5

2	250-499	27.3	10.1	6.2	9.3
3	500-799	23.7	9.5		7.2
4	800-999	19.1	8.9		5.9
5	1000-1249		8.2		4.7
6	1250-1499		7.6		4.3
7	1500-1749		7.1		3.4
8	1750-1999		6.7		2.7
9	2000-2249		6.2		2.5
10	>2250		4.6		2.5

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
1 / 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 moottorivaununjunilla, jotka muodostuvat junayksiköistä. Liikennemäärät asemien välillä on laskentajärjestelmässä määritelty junayksiköiden lukumääränä ja suorite junayksikkökilometreinä.

Yhden sähkömoottorivaunuyksikön ominaisenergiankulutuksena on käytetty arvoa 7.9 kWh/km pääkaupunkiseudun lähiliikenteessä ja 5.9 kWh/km muun Suomen lähiliikenteessä (Pussinen 1997).

3.2.4 Rautatieliikenteen kehitys

Junaliikenteen suoritteiden kehitys on arvioitu vuoteen 2021 asti. Arviot on saatu VR:ltä ja Ratahallintokeskukselta. Suoritteiden ennusteet koskevat erikseen sähkö- ja dieselvetoista henkilö- ja tavaraliikennettä (kaukoliikenne) sekä lähiliikennettä. Pendolinojunan suoritteiden kasvuennuste on esitetty erillisenä, koska sen liikennöinnin määrän kasvu on oletettu huomattavasti muuta sähkövetoista henkilöliikennettä suuremmaksi. Vuosien 1980-2001 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 2 on esitetty eri junatyypin suoritteille kehityskertoimet vuodesta 1980 vuoteen 2021.

3.3 Polttonestetiedot

3.3.1 Käytetyt polttonesteet

Suomen rautateillä käytetystä polttonesteestä on laskentajärjestelmässä arvioitu olevan ns. "länsituotantoa" (Suomi, Tanska) n. 79 % ja ns. "itätuotantoa" n. 21 %. Arvio on saatu VR:ltä. Polttonesteiden suurin ero on niiden rikkipitoisuudessa.

3.3.2 Rikkipitoisuus

"Länsituotannon" rikkipitoisuudeksi on laskentajärjestelmässä arvioitu n. 0.05 paino-% ja "itätuotannon" n. 0.1 paino-%. Arvot kuvaavat sallittuja maksimiarvoja rikkipitoisuudelle, joten todellisuudessa rikin määrä polttonesteessä voi olla vähäisempikin. Rikki-päästöt ovat suoraan verrannollisia käytetyn polttonesteen rikkipitoisuuteen, joten päästöt ovat laskettavissa polttoaineen kulutuksen ja rikkipitoisuuden perusteella. Eri polttonestetyyppien jakauma ja rikkipitoisuus on oletettu samaksi kaikilla dieseljunatyypeillä.

3.4 Päästökerrointiedot

3.4.1 Tutkitut yhdisteet

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

3.4.2 Päästölähteet

Junaliikenteen päästölähteinä toimivat pääasiassa dieselvetureiden moottorit. Suomessa käytössä olevista veturityypeistä Dv12, Dr13 on varustettu Tampella-MGO-dieselmoottorilla, Dv15, Dv16 ja Dr14 MAN-dieselmoottorilla ja Dr16 Pielstick-dieselmoottorilla (Pussinen 1997). Dieseljunaliikenteen päästöt ovat helposti 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 veturidieseliä 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 ja RAILI 2001 käytetyt dieselmoottoreiden 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 (1980-2021) ajalta.

Taulukko 4. RAILI 1998 - RAILI 2001:ssä käytetyt päästökertoimet dieselmoottoreille.

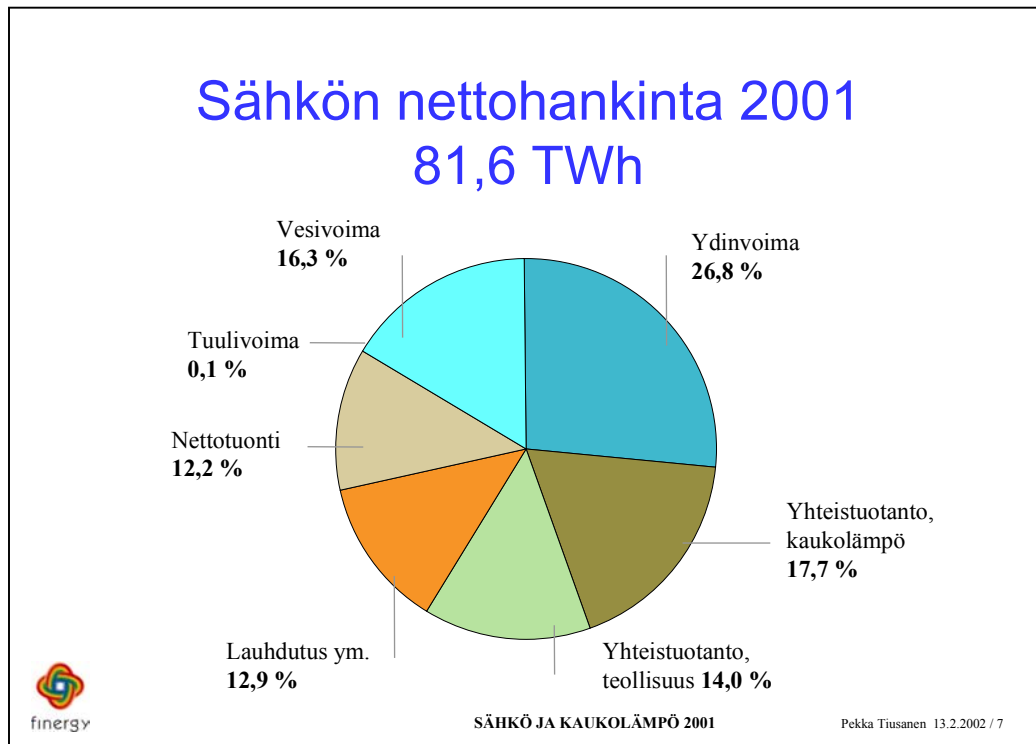
Moottorityyppi	CO (g/kg _{pa})	HC (g/kg _{pa})	NO _x (g/kg _{pa})	hiukkaset (g/kg _{pa})	CO ₂ (g/kg _{pa})
Pielstick (Dr16)	8,03	1,25	42,3	1,7	3162
MAN (Dr14, Dv15, Dv16)	12,7	5,54	39,9	3,88	3163
MGO (Dv12, Dr13)	9,87	4,68	81,5	1,39	3162

Sähköjunaliikenteen päästökertoimina (g/kWh) on käytetty Suomen sähköntuotannon keskimääräisiä ominaispäästöarvoja vuodelta 2001. Luvut ovat jonkin verran muuttuneet vuodesta 2000. Sähköntuotannon ominaispäästöarvot on laskettu Fortum Power and Heat Oy:n teknologiakeskuksessa. Taulukossa 5 on esitetty päästölajeittain laskentajärjestelmässä käytetyt ominaispäästöarvot. Kertoimet kuvaavat vain sähkön tuotantovaiheen päästöjä.

Taulukko 5. Suomen sähköntuotannon ominaispäästöt 2001 (vain tuotantovaihe) (FORTUM 2001).

	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	SO ₂ (g/kWh)	hiukkaset (g/kWh)	CO ₂ (g/kWh)
Ominaispäästöt tuotantovaiheen osalta	0.160	0.020	0.410	0.340	0.047	210

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 sähköntuotannon raakaenergianlähteet 2001 Energia-alan keskusliitto Ry Finergy:n mukaan.



Kuva 4. Suomen sähköntuotannon raakaenergianlähteet (%) vuonna 2001 (Energia-alan Keskusliitto ry Finergy 2002).

3.4.4 Päästökertoimien kehitys

Eri yhdisteiden päästökerrointen arvojen kehitys on arvioitu vuodesta 2001 vuoteen 2021 asti. Dieselmootoreiden osalta päästökerrointen on oletettu pysyvän samoina (mittausten mukaisina, vuoden 1998 tasolla), mikäli merkittäviä kalustouudistuksia ei tehdä. Sähköntuotannon kertoimien kehityksen arvioinnissa on käytetty asiantuntija-arvioita (Fortum). Liitteessä 3 on esitetty kuvaajat eri yhdisteiden kehityskertoimille vuodesta 2001 vuoteen 2021. Kehityskertoimien arvot ovat karkeita ja vain suuntaa antavia.

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

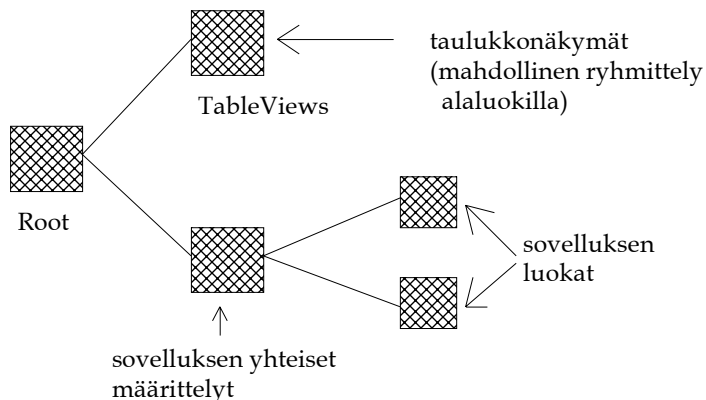
MUST-sovellusrakenne

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
- tyyppitys merkitsee kohdeluokkien rajausta, kaksisuuntaisuutta ja automaattista kohteiden luomista
- dataaulukot (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 dataaulukoiden välillä
 - määrättyjen luokkien (ja alaluokkien) tietyn linkin avulla kytketyt dataaulukot
- taulukkonäkymät (table views)
 - poimivat tiedot sovelluksen/raportoinnin tarpeita varten sopiviksi kokonaisuuksiksi
 - toiminnallisuus: muuttujat, siirtymät toisiin taulukkonäkymiin

Periytyminen, perus- ja johdetut määrittelyt

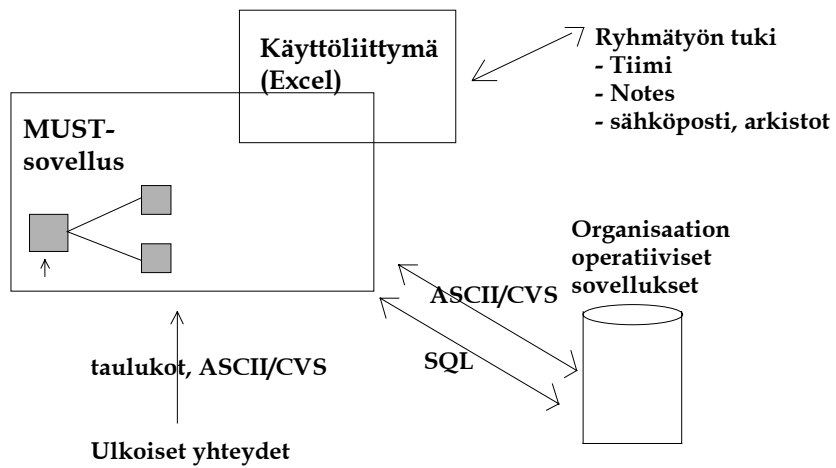
- MUSTissa luokkahierarkiassa toimii dynaaminen moniperintä
 - muutokset heijastuvat välittömästi kaikkiin alaluokkiin ja dataaulukoihin
 - luokalla voi olla useampia yläluokkia
- linkin tai muuttujan määrittely on perusmäärittely (base relation, base item) silloin, kun määrittely ei ole peritty
- peritty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

Mallin komponenttien “eristäminen”, ylläpidettävyys

- käsittemalli/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 Päästömäärät

Taulukossa 6 on esitetty Suomen rautatieliikenteen aiheuttamat päästöt vuonna 2001: hiilimonoksidia (CO) 519 t, hiilivetyjä (HC) 195 t, typen oksideja (NO_x) 3 370 t, hiukkasia 98 t, rikkidioksidia (SO₂) 230 t ja hiilidioksidia (CO₂) 255 000 t. Kevyttä polttoöljyä kulutettiin yhteensä 44 500 t ja sähköenergiaa 505 000 MWh. Rautatieliikenteen kokonaisprimäärienergian kulutus oli vuonna 2001 5.3 PJ. Luvut sisältävät sähköveturien sähkönkulutuksen aiheuttamat päästöt voimalaitoksissa. Primäärienergia on laskettu Tilastokeskuksen käyttämää kansainvälistä laskentatapaa noudattaen (hyötysuhde vuonna 2001 oli 53.2 %). Vedettyjen bruttotonnikilometrien kokonaismäärä oli 27 600 miljoonaa brtkm. Suuri muutos hiilivetyjen (HC) määrässä verrattuna vuoden 1997 päästömääriin (RAILI 97) aiheutuu veturidieselien päästömittauksista saaduista uusista, entistä tarkemmista ominaispäästöjen arvoista (Korhonen & Määttänen 1999). 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.

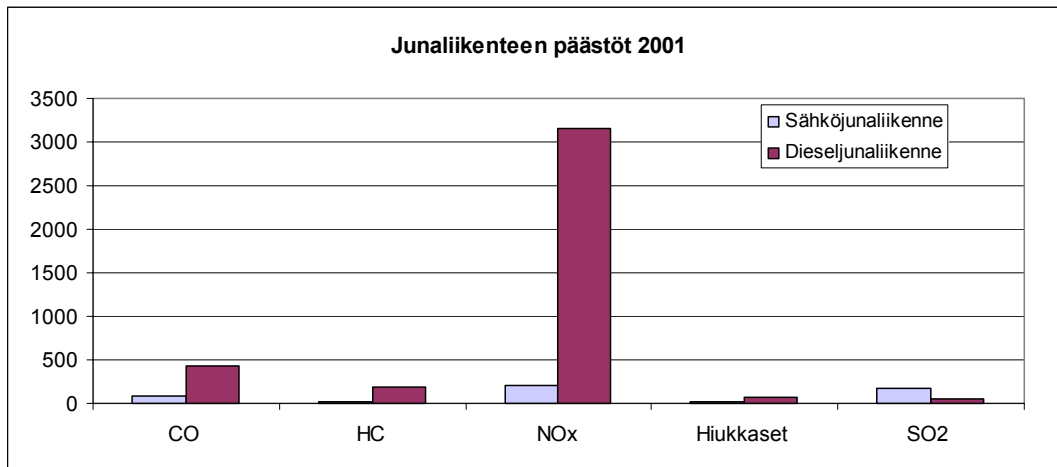
Aikasarjatarkastelussa aikajänteeksi on valittu vuodet 1980-2021, yhteensä 42 vuotta. Aikajakso on sama kuin LIPASTO 2001 järjestelmässä. Vuodet 1980-2001 kuvaavat vedettyjen bruttotonni- ja junakilometrien osalta todellista, tapahtunutta kehitystä ja vuodet 2002 -2021 arvioitua tulevaisuuden kehitystä. Taulukossa 8 on esitetty eri yhdisteiden päästömäärien arvioitu kehitys (rautatieliikenne yhteensä) sekä polttoaineen ja sähköenergiankulutus yhteensä vuodesta 1980 vuoteen 2021. Aikasarjatarkastelussa esitettyjen päästömäärien erot verrattuna ensimmäisten RAILI -versioiden (-96 ja -97) aikasarjoihin aiheutuvat veturidieselien ominaispäästötietojen tarkentumisesta (Korhonen & Määttänen 1999).

Liitteessä 5 on esitetty kuvina rautatieliikenteen päästöjen ja energiankulutuksen kehitys vuodesta 1980 vuoteen 2001 sekä ennuste vuosille 2002-2021. Hiilimonoksidipäästöt (CO) ovat vähentyneet ja vakiintuivat 80-luvulla noin 600 tonnin tasolle eikä odotettavissa ole suuria muutoksia (liite 5/1). Päästöjen alenema aiheutui sähköjunaliikenteen käyttöönotosta. Samantapainen kehitys on ollut myös hiilivedyillä (HC). Typen oksidien (NO_x) päästöt alenivat 80-luvulla sähköjunien korvattessa dieselkalustoa. Tulevaisuudessa päästöjen voidaan arvioida pysyvän ilman suuria kalustomuutoksia suurin piirtein nykyisellä tasolla tai alenevan hiukan uusien rataosien sähköistämisen ansiosta. Hiukkaspäästöissä kehitys ja kehityksen syyt ovat samat kuin typen oksideissa. Rikkidioksidipäästöjen määrässä on tapahtunut raju lasku polttonesteiden rikkipitoisuuden alenemisen ja sähköntuotannon ominaispäästöjen alenemisen myötä. Hiilidioksidipääs-

töt (CO₂) ja energiankulutus alenivat 80-luvun alussa ratojen sähköistyksen myötä, mutta nousivat taas hiukan 1990-luvun alkupuolella. Nykykehityksellä CO₂-päästöjen ennustetaan pysyvän lähes vakiona tai kasvavan hiukan vuodesta 2001 vuoteen 2021.

Taulukko 6. Suomen rautatieliikenteen päästömäärät [t/a] 2001.

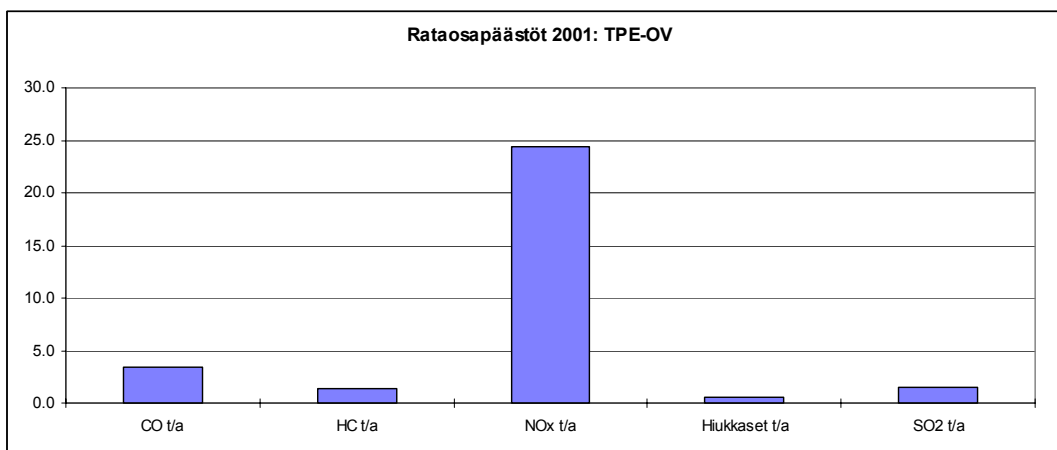
HENKILÖLIIKENNE	CO	HC	NOx	Hiukkaset	SO2	CO2	Polttoneen kulutus	Primäärienergian kulutus GJ/a	Sähköenergian kulutus MWh/a
Sähköveturit	34.4	4.3	88.2	10.1	73.1	45 169		1 465 252	216 431
Dieselveturit	63.9	20.3	427	11.1	13.5	29 881	6 868	289 833	
Vaihtotyö/Dieselvet.	6.7	3.0	36.8	1.5	0.7	1 909	604	25 473	
Lähiliikenne	14.9	1.9	38.2	4.4	31.7	19 552		630 338	93 107
HENKILÖLIIKENNE YHTEENSÄ	120	29.6	590	27.1	119	96 511	7 472	2 410 895	309 538
TAVARALIIKENNE	CO	HC	NOx	Hiukkaset	SO2	CO2	Poltton.	Prim. ener.	Sähkener.
Sähköveturit	31.0	3.9	79.5	9.1	65.9	40 720		1 312 733	193 903
Dieselveturit	278	121	2 179	42.2	35.1	91 554	28 904	1 219 755	
Vaihtotyö/Dieselvet.	77.2	35.1	423.2	17.7	8.4	21 952	6 942	292 944	
TAVARALIIKENNE YHTEENSÄ	387	160	2 682	69.0	109	154 226	35 846	2 825 432	193 903
PELKÄT VETURIT	CO	HC	NOx	Hiukkaset	SO2	CO2	Poltton.	Prim. ener.	Sähkener.
Sähköveturit	0.25	0.03	0.5	0.1	0.5	279		10 505	1 552
Dieselveturit	11.9	5.5	96.3	1.7	1.5	3 852	1 219	51 451	
PELKÄT VETURIT YHTEENSÄ	12.2	5.5	96.8	1.8	1.9	4 131	1 219	61 956	1 552
	CO	HC	NOx	Hiukkaset	SO2	CO2	Poltton.	Prim. ener.	Sähkener.
Sähköjunaliikenne	80.6	10.1	206	23.7	171.2	105 721		3 418 828	504 993
Dieseljunaliikenne	438	185	3 162	74.3	59.2	149 148	44 537	1 879 456	
SÄHKÖ JA DIESEL YHTEENSÄ	519	195	3 369	98.0	230	254 869	44 537	5 298 284	504 993



Kuva 5. Valtakunnalliset junaliikenteen päästöt 2001.

Taulukko 7. Rataosan Tampere-Orivesi päästöt ja energiankulutus vuonna 2001.

	CO	HC	NO _x	Hiuk- kaset	SO ₂	CO ₂	P.a. kulu- tus	Primääri- energian kulutus	Sähkö- en. kulutus
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	GJ/a	MWh/a
Yhteensä	3.4	1.4	24	0.56	1.5	1 655	282	27 736	3 536



Kuva 6. Rataosan Tampere-Orivesi junaliikenteen päästöt 2001.

Taulukko 8. Päästöaikasarja 1980-2021.

	CO	HC	NO _x	Hiuk- kaset	SO ₂	CO ₂	P.a. kulu- tus	Primääri- energian kulutus	Sähköener- gian kulutus
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	GJ/a	MWh/a
1980	917	419	7 369	204	2 663	403 776	90 556	5 360 719	227 363
1981	868	395	6 801	179	2 037	346 428	85 957	5 413 743	263 863
1982	791	357	6 174	161	1 647	312 494	78 413	5 128 324	268 725
1983	760	343	5 880	156	1 369	296 800	74 978	5 143 917	292 445
1984	679	302	5 208	143	1 136	269 069	66 229	4 957 299	319 410
1985	646	284	4 997	144	1 119	273 944	62 640	4 928 207	337 487
1986	558	243	4 255	124	859	235 376	53 823	4 381 083	311 629
1987	611	263	4 645	136	930	261 804	58 905	4 885 217	354 416
1988	638	271	4 814	141	884	271 200	61 391	5 022 043	359 129
1989	584	245	4 335	130	762	247 988	55 604	4 775 608	358 802
1990	616	258	4 574	137	795	263 516	58 820	5 013 056	373 829
1991	588	242	4 357	134	667	260 648	55 986	4 781 519	357 298
1992	603	248	4 382	133	540	254 252	57 462	4 878 073	362 357
1993	671	274	4 817	146	541	284 873	63 504	5 330 852	391 572
1994	693	281	4 924	134	480	309 258	65 236	5 456 273	399 305
1995	651	264	4 505	121	377	280 888	60 401	5 373 647	417 241
1996	601	243	4 164	114	269	288 359	55 157	5 240 696	430 290
1997	642	259	4 410	120	266	297 650	58 722	5 557 827	454 906
1998	611	242	4 142	114	264	287 337	55 354	5 470 355	462 985
1999	591	233	3 989	111	263	282 501	53 234	5 430 647	470 330
2000	567	220	3 718	105	212	245 000	50 439	5 454 329	491 251
2001	519	195	3 369	98	230	254 869	44 537	5 298 284	504 993
2002	595	236	4 031	109	247	282 804	54 097	5 871 090	530 011
2003	597	235	4 009	109	251	288 014	53 375	5 870 469	534 421
2004	602	237	4 037	109	246	289 949	53 375	5 807 901	525 179
2005	599	235	4 004	108	242	289 660	52 936	5 789 386	525 179
2006	591	232	3 942	107	243	287 344	50 081	5 752 808	537 572
2007	587	230	3 908	106	241	287 922	50 081	5 752 808	537 572
2008	591	232	3 938	107	240	291 234	47 874	5 634 758	533 892
2009	587	230	3 903	106	237	291 812	47 874	5 634 758	533 892
2010	588	231	3 903	106	236	292 397	47 874	5 607 566	529 875
2011	588	231	3 903	106	236	292 397	47 874	5 607 566	529 875
2012	588	231	3 903	106	236	292 397	47 874	5 607 566	529 875
2013	588	231	3 903	106	236	292 397	47 874	5 607 566	529 875
2014	588	231	3 903	106	236	292 397	47 874	5 607 566	529 875
2015	588	231	3 903	106	236	292 397	47 874	5 607 566	529 875
2016	588	231	3 903	106	236	292 397	47 874	5 607 566	529 875
2017	588	231	3 903	106	236	292 397	47 874	5 607 566	529 875
2018	588	231	3 903	106	236	292 397	47 874	5 607 566	529 875
2019	588	231	3 903	106	236	292 397	47 874	5 607 566	529 875
2020	588	231	3 903	106	236	292 397	47 874	5 607 566	529 875
2021	588	231	3 903	106	236	292 397	47 874	5 607 566	529 875

5.2 Päästöjen vertailu

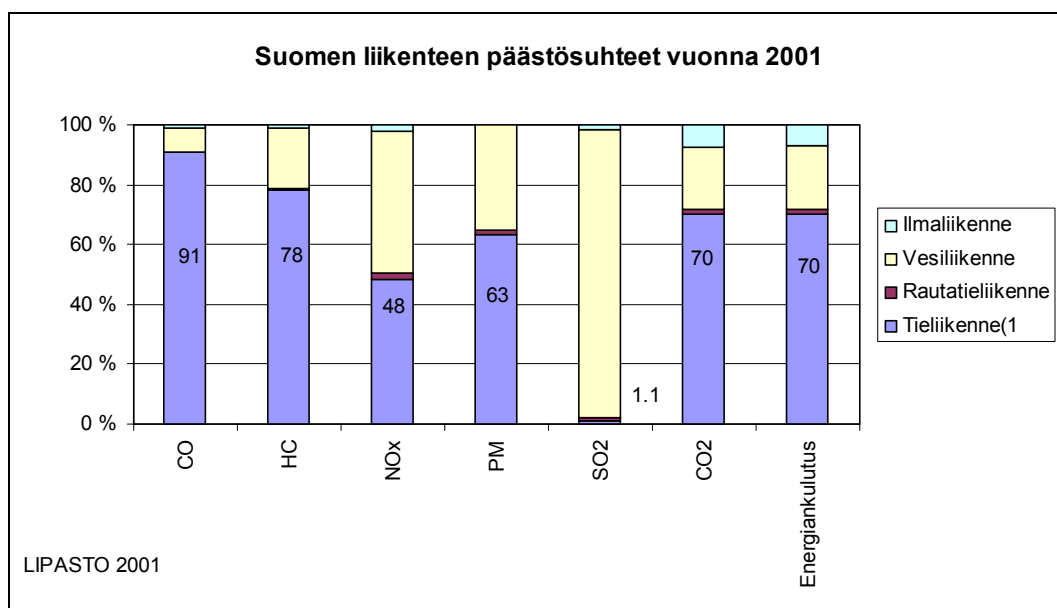
Taulukossa 9 ja kuvassa 7 on esitetty eri liikennemuotojen aiheuttamien päästömäärien vertailu vuodelta 2001. Tulokset ovat Suomen liikenteen päästöjen laskentajärjestelmä LIPASTO 2001:stä, johon rautatieliikenteen osuus tuotetaan RAILI 2001 mallilla. Rautatieliikenteen osuus liikenteen kokonaispäästöistä on kaikkien yhdisteiden sekä energiankulutuksen osalta hyvin pieni. Lisäksi osa päästöistä tulee sähköntuotannon päästöinä eli vaikutukset eivät ole paikallisia vaan alueellisia. Vain ilmaliikenteen päästöt ovat hiilivetyjen (HC), typen oksidien (NO_x) sekä rikkidioksidin (SO₂) tapauksissa pienemmät, mutta molempien liikennemuotojen päästöt ovat kokonaisuutta ajatellen näissä tapauksissa hyvin pienet. Liitteessä 6 on esitetty kuvina Suomen liikenteen aiheuttamien päästömäärien arvioitu kehitys vuodesta 1980 vuoteen 2021.

Taulukko 9. Suomen liikenteen päästöt ja energiankulutus 2001.

	CO t/a	HC t/a	NO _x t/a	Hiukkaset t/a	SO ₂ t/a	CO ₂ t/a	Energian kulutus PJ/a
Tieliikenne	320 341	40 100	75 187	3 886	224	11 032 252	151
Rautatieliikenne	519	195	3 369	98	230	254 869	5.3
Vesiliikenne	28 661	10 471	73 762	2 137	18 927	3 307 300	46
Ilmaliikenne	3 234	437	3 389	0 ⁽²⁾	283	1 137 717	15
Yhteensä	352 755	51 203	155 706	6 121	19 664	15 732 138	217

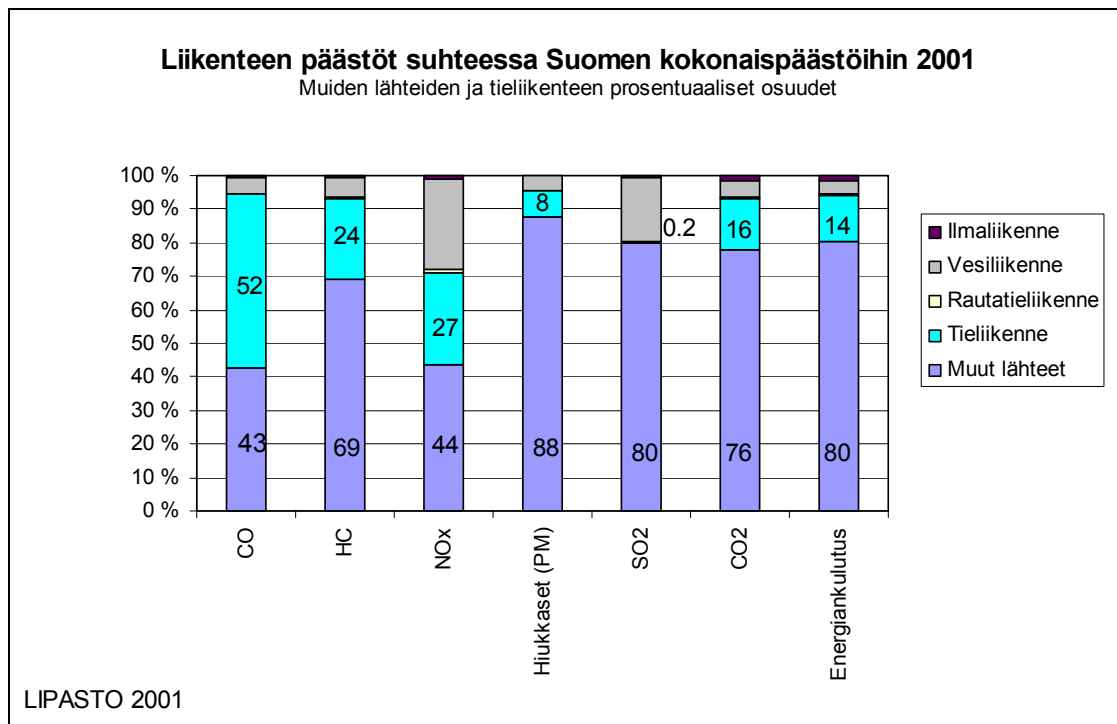
⁽¹⁾ tieliikenteen päästöluvut muuttuneet huomattavasti päästömallin kehittämisen seurauksena

⁽²⁾ ilmaliikenteen hiukkastiedot puuttuvat



Kuva 7. Suomen liikenteen päästöt 2001. Eri liikennemuotojen osuus päästöistä ja energiankulutuksesta (%) (ilmaliikenteen hiukkaspäästötiedot puuttuvat).

Kuvassa 8 on vertailtu liikenteen päästöjä suhteessa Suomen kokonaispäästöihin (muut lähteet ovat kiinteitä lähteitä, kuten teollisuus ja energiantuotanto). Kuva osoittaa, että liikenteellä on hyvin erilainen osuus eri yhdisteissä. Hiilivety- ja typpioksidipäästöissä osuus on n. 60 %, kun taas rikkidioksidissa 20 %. Vaikka vesiliikenteen rikkidioksidipäästöt ovat liikenteen päästöjen joukossa runsaat (vesiliikenne sisältää myös ulkomaanliikenteen Suomen talousvyöhykkeen sisällä), ovat kiinteiden lähteiden rikkidioksidipäästöt edelleen ylivoimaisen suuria kokonaispäästöissä. Rautatieliikenteen päästöt eivät tässäkään vertailussa juuri eroa viivan paksuudesta. Liikenteen päästöt ovat kokonaisuudessaan joka tapauksessa ratkaisevassa asemassa useiden yhdisteiden kohdalla.



Kuva 8. Liikenteen päästöt suhteessa Suomen kokonaispäästöihin (ilmaliikenteen hiukkaspäästötiedot puuttuvat).

Kansainvälisiin tarkoituksiin laskettavissa kansallisissa päästöraporteissa ulkomaanliikenteen päästöjä ei lasketa kokonaispäästöihin, vaan ne ilmoitetaan erikseen (taulukko 10). Esimerkiksi ilma- ja vesiliikenteessä varsinaisiksi liikenteen kansallisiksi päästöiksi lasketaan kotimaanliikenne ja ulkomaanliikenne ilmoitetaan erikseen. Vesiliikenteen osalta ei varsinaisesti ole olemassa yhtenäistä laskentatapaa ulkomaanliikenteen osalle, yleisimmin käytetään ulkomaan laivaliikenteen tankkaamaa polttonestemäärää eli bunkrausta muunlaisen tiedon puuttuessa. Sähköjunaliikenteen käyttämän sähköenergian aiheuttamat päästöt lasketaan sähköntuotannon päästöiksi ja varsinaisiksi rautatieliikenteen päästöiksi jäävät siten dieseljunaliikenteen aiheuttamat päästöt.

Taulukko 10. Liikenteen päästöt ja energiankulutus ilmaistuna IPCC:n suosittamalla jaotuksella sekä muiden lähteiden päästöt ja energiankulutus.

Suomen liikenteen päästöt vuonna 2001 IPCC:n suosituksen mukaisella jaottelulla [t]							
	CO	HC	NOx	Hiukkaset	SO ₂	CO ₂	Energian- kulutus [TJ]
Tieliikenne	320 341	40 100	75 187	3 886	224	11 032 252	151 035
Rautatieliikenne ⁽¹⁾	438	185	3 162	74	59	149 148	1 879
Vesiliikenne ⁽²⁾	24 485	8 596	6 715	482	1 144	413 755	5 741
Ilmaliikenne ⁽³⁾	2 029	160	1 283	0 ⁽⁴⁾	93	375 633	5 050
Kotimaan liikenne yht.	347 294	49 041	86 347	4 442	1 520	11 970 789	163 705
Ulkomailla suuntautuvan liikenteen tankkaus (bunkraus)							Poltonesteen kulutus
Vesiliikenne, polttoöljyt ⁽⁵⁾	2 540	1 120	38 500	950	9 550	1 810 000	23 900 585 000
Ilmaliikenne, lentopetrolit ⁽⁵⁾	1 660	406	3 290	149	275	1 050 000	14 900 344 000
Ulkomaan tankkaus yhteensä	4 200	1 520	41 800	1 100	9 830	2 860 000	38 800 929 000

⁽¹⁾ Ei sähköjunaliikennettä
⁽²⁾ Sisältää kotimaan kauppamerenkulun lisäksi jäänmurtajat, työveneet ja huviveneet
⁽³⁾ Sisältää kotimaan liikenteen, ei sotilasilmailua eikä helikoptereita
⁽⁴⁾ Tieto puuttuu
⁽⁵⁾ Ennakoarvio

Muut liikenteen päästöt Suomen alueella vuonna 2001 [t]							
	CO	HC	NOx	Hiukkaset	SO ₂	CO ₂	Energian- kulutus [TJ]
Rautateiden sähköliikenne	81	10	206	24	171	105 721	3 419
Vesiliikenteen ulkomaanliikenne ⁽²⁾	3 796	1 752	64 256	1 596	17 690	2 762 221	38 167
Kalastusalukset	380	123	2 791	60	93	131 323	1 781
Ilmaliikenteen ulkomaanliikenne ⁽²⁾	978	254	1 838	0 ⁽¹⁾	127	509 693	6 849
Ilmaliikenteen ylilennot ⁽²⁾	226	23	268	0 ⁽¹⁾	63	252 391	3 392
Muu liikenne yhteensä	5 461	2 162	69 360	1 679	18 145	3 761 348	53 607

⁽¹⁾ Tieto puuttuu
⁽²⁾ Tässä esitetty ulkomaanliikenteen päästö tapahtuu Suomen talousvyöhykkeen sisällä eikä sitä lasketa IPCC:n jaottelussa Suomelle

Lähde: LIPASTO 2001 laskentajärjestelmä

Muut Suomen päästölähteet vuonna 2001 [t]							
	CO	HC	NOx	Hiukkaset	SO ₂	CO ₂	Energian- kulutus [TJ]
Muut lähteet (ennuste) ⁽¹⁾	262 000	115 000	121 000	44 000	78 000	55 000 000	880 000

⁽¹⁾ Sisältää polttoaineet, siten mukana eivät ole ydin-, vesi-, tuulivoima, sähkön nettotuonti eikä teollisuuden reaktiolämpö

Lähde: Tilastokeskus

6 Yhteenveto

RAILI 2001-laskentajärjestelmä

Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä RAILI on ensimmäinen vuosittain päivitettävä rautatieliikenteen laskentamalli Suomessa. Järjestelmän ensimmäinen versio RAILI 96 valmistui vuonna 1997. Tämä tutkimusraportti käsittelee kuudetta, vuoden 2001 tiedoilla päivitettyä versiota RAILI 2001. RAILI 2001 projekti kuuluu osana LIPASTO 2001 projektiin, jossa selvitetään kaikkien liikennemuotojen päästöjä Suomessa.

RAILI 2001 malli laskee rautatieliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna 2001. Laskentatulokset saadaan sekä valtakunnallisesti että rataosa- ja ratapihakohtaisesti. Laskentajärjestelmä koskee sekä sähkö- että dieselveitoista henkilö-, tavara- ja lähijunaliikennettä Suomessa. Lähijunaliikenteen aiheuttamat päästöt on laskettu omana kokonaisuutenaan. Karkealla tasolla päästömäärät on ennustettu vuodesta 1980 vuoteen 2021.

RAILI 2001-laskentajärjestelmän perustan muodostavat rataosa- ja ratapihakohtaiset liikennöinti- ja polttonesteenkulutustiedot. Näiden tietojen perusteella lasketaan 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), rikkidioksidi (SO₂) sekä hiilidioksidi (CO₂). Tuloksina saadaan lisäksi dieseljunaliikenteen polttonesteenkulutus ja sähköjunaliikenteen sähköenergiankulutus. RAILI 2001 järjestelmä on tarkoitettu lähinnä liikenneministeriön, Ratahallintokeskuksen ja VTT:n käyttöön. Tietoa LIPASTO 2001 ja RAILI 2001 laskenta-järjestelmistä on nähtävissä VTT rakennus- ja yhdyskuntatekniikan Web sivulla:

<http://lipasto.vtt.fi>

Laskentatulokset

Suomen rautatieliikenteen aiheuttamat päästöt vuonna 2001 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 519 t, hiilivetyjä (HC) 195 t, typen oksideja (NO_x) 3 370 t, hiukkasia 98 t, rikkidioksidia (SO₂) 230 t ja hiilidioksidia (CO₂) 255 000 t. Kevyttä polttoöljyä kulutettiin yhteensä 44 500 t ja sähköenergiaa 505 000 MWh. Rautatieliikenteen kokonaisenergiankulutus oli vuonna 2001 5.3 PJ. Luvut sisältävät sähköveturien sähkökulutuksen aiheuttamat päästöt voimalaitoksissa. Vedettyjen bruttotonnikilometrien kokonaismäärä oli 27 600 miljoonaa brtkm.

Päästöt jakautuivat diesel- ja sähkövetoisen liikenteen kesken taulukon 11 mukaisesti. Dieseljunaliikenteen aiheuttamien typen oksidien (NO_x) määrä oli yli kymmenkertainen sähköjunaliikenteeseen verrattuna. Ainoastaan rikkidioksidipäästöt (SO₂) olivat sähköjunaliikenteellä dieseljunaliikennettä suuremmat. Sähkö- ja dieselveitoisen junaliikenteen päästöjen vertailun tekee vaikeaksi se, että sähköjunaliikenteen päästöt eivät synny paikan päällä, siis rataosilla, vaan sähkön tuotannon yhteydessä voimalaitoksissa.

Taulukko 11. Suomen rautatieliikenteen päästöt 2001.

	CO	HC	NO _x	Hiuk- kaset	SO ₂	CO ₂	P.a. kulutus	Kokonais- energian- kulutus	Sähkön. kulutus
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	GJ/a	MWh/a
Sähköjunat	81	10	168	24	151	90 658		3 418 828	504 993
Dieseljunat	438	185	3 162	74	59	149 148	44 537	1 879 456	
Yhteensä	519	195	3 330	98	210	239 806	44 537	5 298 284	504 993

Rautatieliikenteen päästöjen kehityksessä ei näyttäisi tulevaisuudessa tapahtuvan suuria muutoksia nykyhetkeen verrattuna. Rikkidioksidin, hiilimonoksidin, hiilivetyjen, hiukkasten ja typen oksidien vuotuiset päästömäärät pysyvät ennusteen mukaan noin vuoden 2001 tasolla vuoteen 2021 asti, tai laskevat dieselkaluston uusimisen ja rataosien sähköistyksen vaikutuksesta hiukan. Rautatieliikenteen kokonaisenergiankulutus ja siten myös hiilidioksidinpäästöt näyttäisivät suoritteen kasvun myötä lievästi kasvavan.

Lähdeluettelo

Fortum 30.1.2002 Kirjallinen tiedonanto.

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.

Mäkelä k., Tuominen A. & Pääkkönen E., Suomen liikenteen päästöjen laskentajärjestelmä LIPASTO 2001. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, tutkimusraportti RTE /02, MOBILE² raportti M2T9916-13. 42 s. + 6 liit.

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.

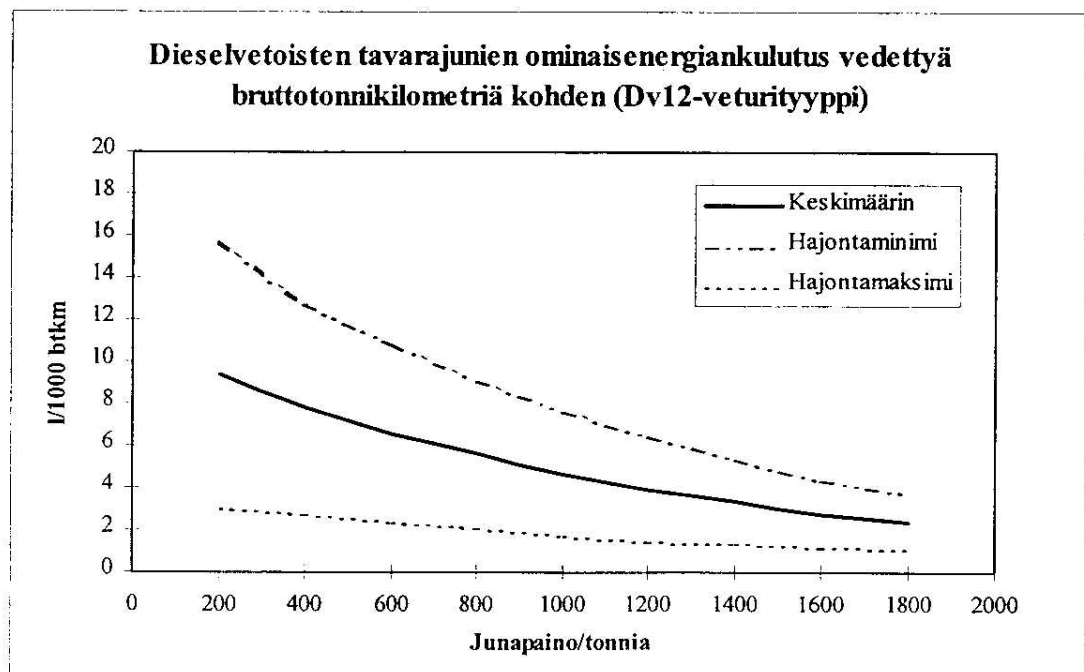
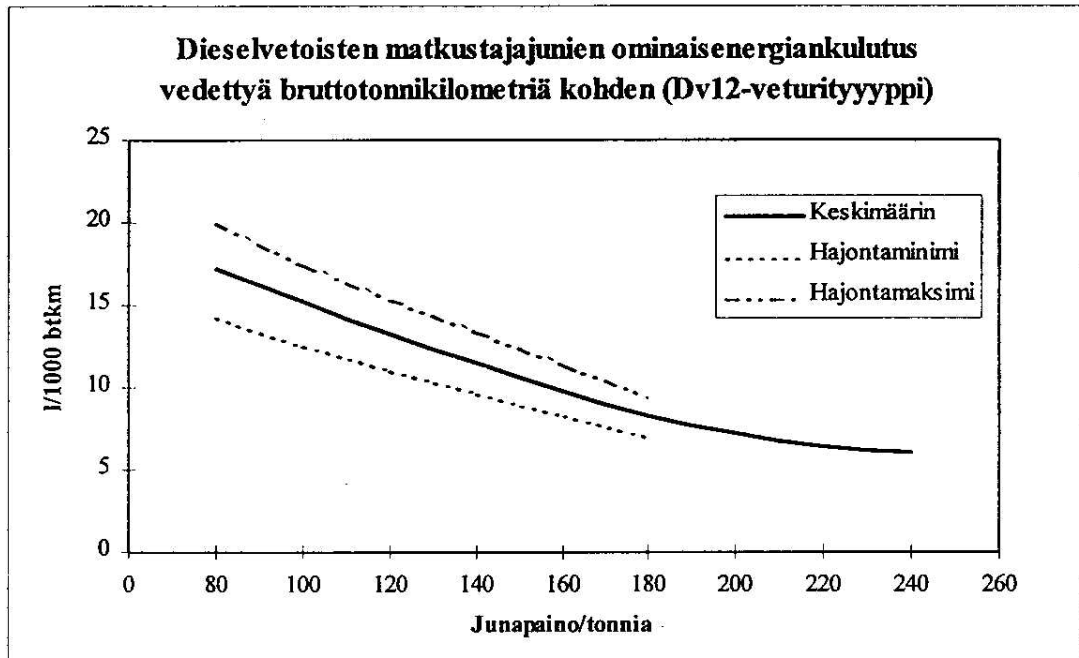
Ratahallintokeskus 2002. Suomen Rautatietilasto 2002. Helsinki 2002. 51 s.

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

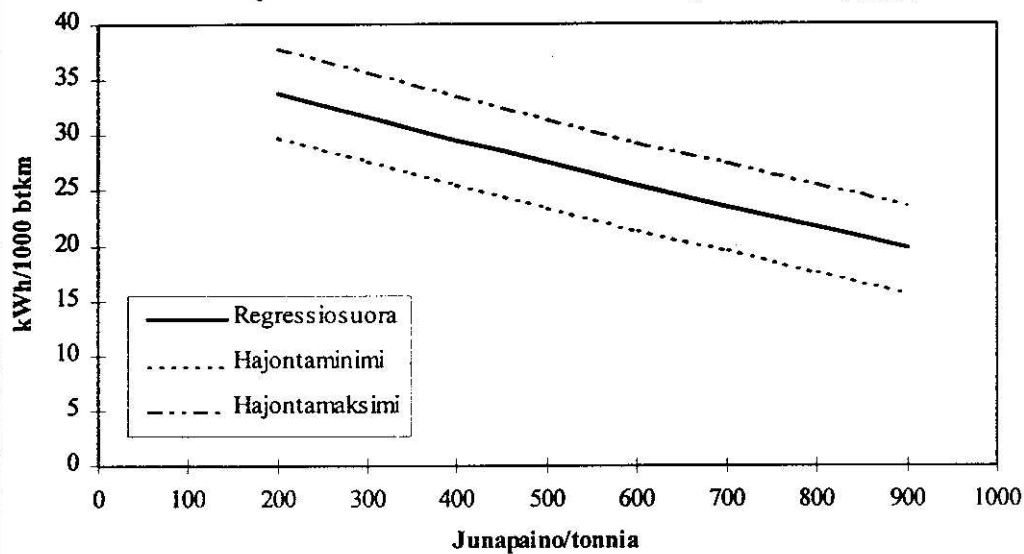
Liite A

Ominaisenergiankulutuskäyrät

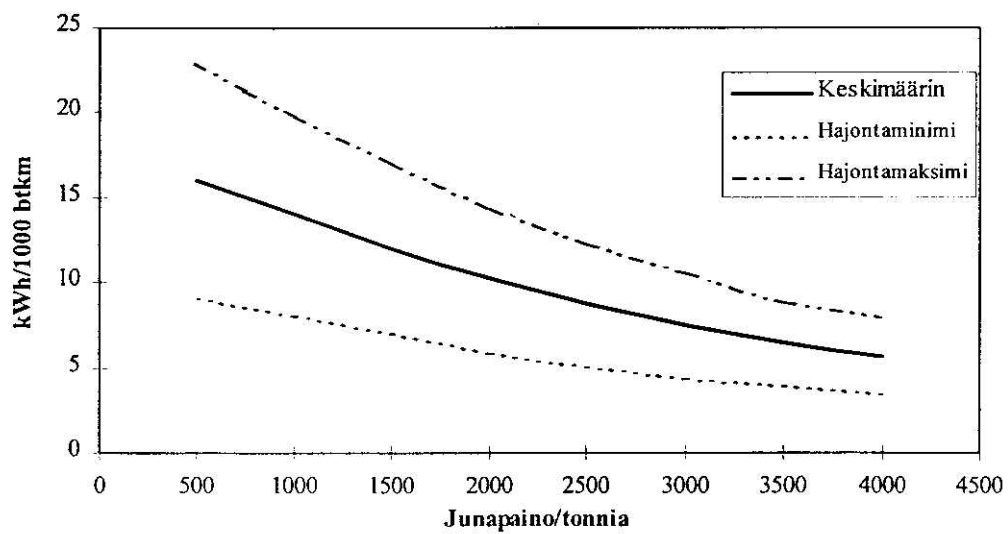
Ohessa on esitetty käyrät ominaisenergiankulutuksen määrittämiseksi dieselvetoisille matkustaja- ja tavarajunille sekä sähkövetoisille matkustaja- ja tavarajunille junapainon perusteella. Ominaisenergiankulutus määritetään vedettyä 1000 bruttotonnikilometriä kohti (Pussinen 1997).



Sähkövetoisten matkustajajunien ominaisenergiankulutus vedettyä bruttotonnikilometriä kohden (Sr1-veturityyppi)



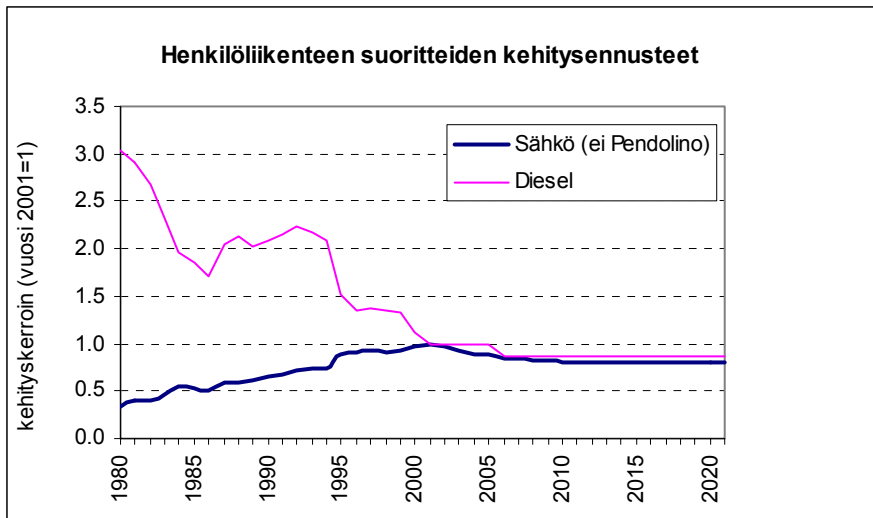
Sähkövetoisten tavarajunien ominaisenergiankulutus vedettyä bruttotonnikilometriä kohden (Sr1-veturityyppi)



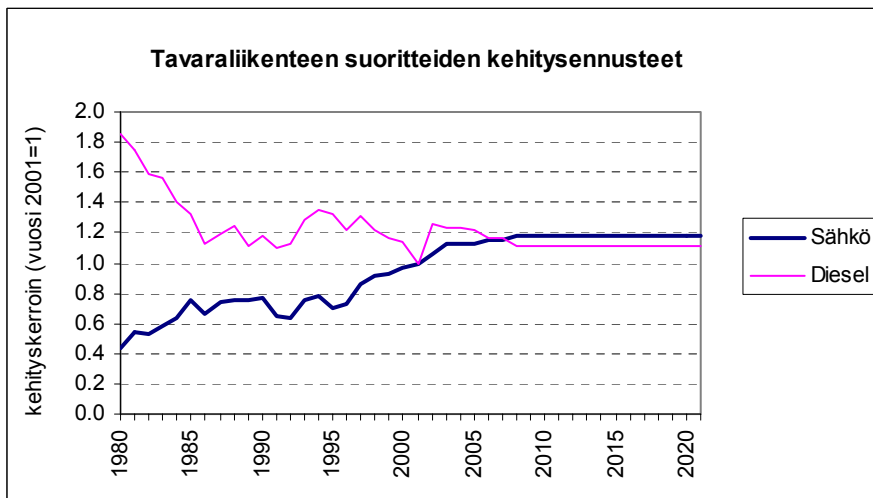
Liite B:

Rautatieliikenteen suoritteiden kehityskertoimet

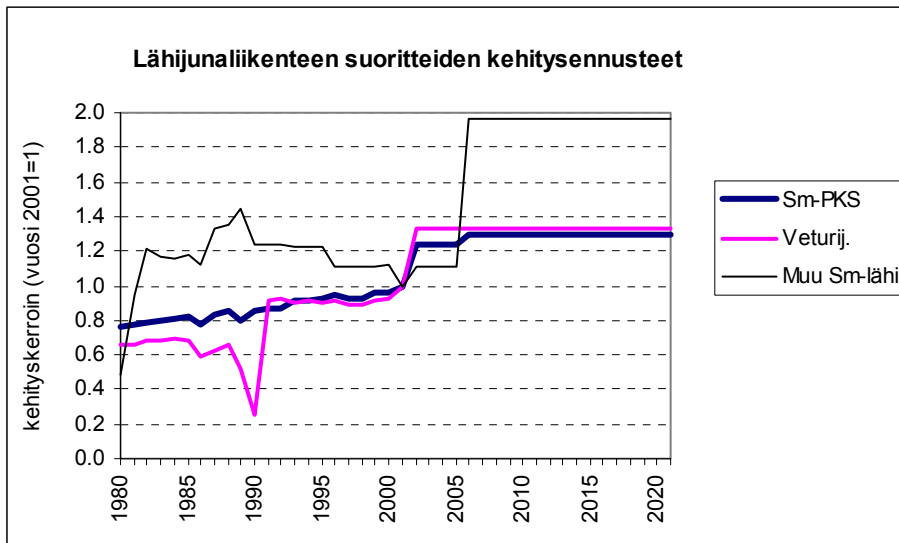
Rautatieliikenteen suoritteiden (vedetyt bruttotonnikilometrit) kehityskertoimet on esitetty erikseen sähkö- ja dieselvetoiselle henkilöliikenteelle (kuva 1), sähkö- ja dieselvetoiselle tavaraliikenteelle (kuva 2) sekä lähiliikenteelle (kuva 3). Lähiliikenteessä on kehityskertoimet pääkaupunkiseudun Sm-liikenteelle, pääkaupunkiseudun veturijunaliikenteelle, sekä muun Suomen Sm-liikenteelle. Sm3-moottorijunan (Pendolino-juna) suoritteiden kasvu on esitetty oma kehityksensä (kuva 4), koska sen yhdistäminen muuhun sähköjunaliikenteeseen olisi mahdotonta suoritteiden suuren kasvuennusteen vuoksi. Perusvuoden 2001 arvo on 1.0. Ratapihojen suoritteet (vaihtotyöt) sisältyvät kehitysenusteisiin. Ennusteet perustuvat VR:n ja Ratahallintokeskuksen arvioihin.



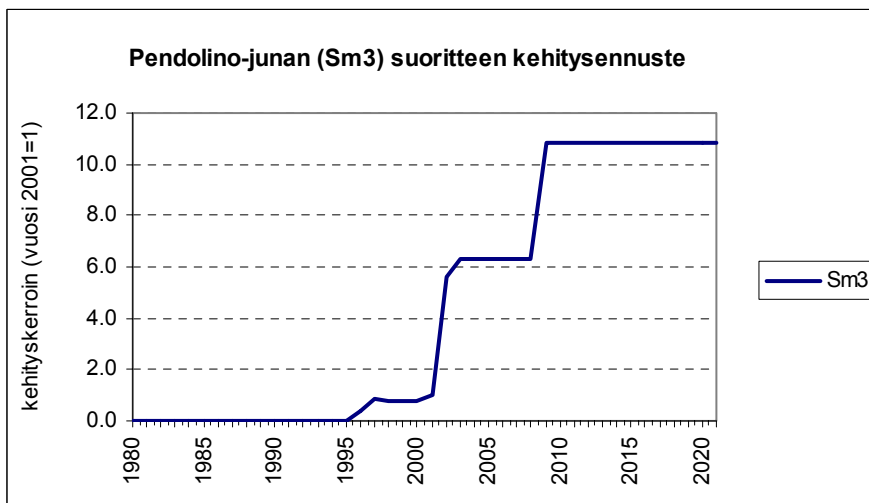
Liite B kuva 1. Henkilöliikenteen suoritteiden (vedetyt bruttotonnikilometrit) kehitysenusteet



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



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

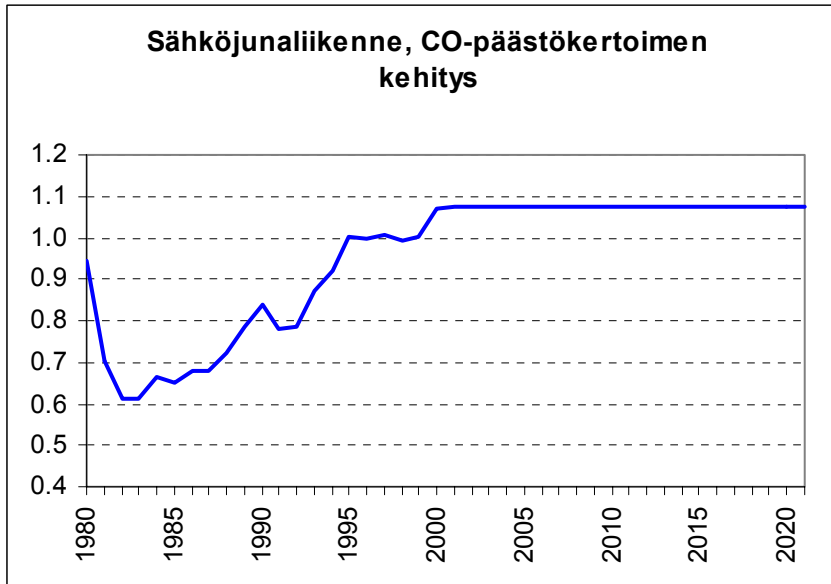


Liite B kuva 4. Pendolino-junan (Sm3) suoritteiden (junakilometrit) kehityssennuste.

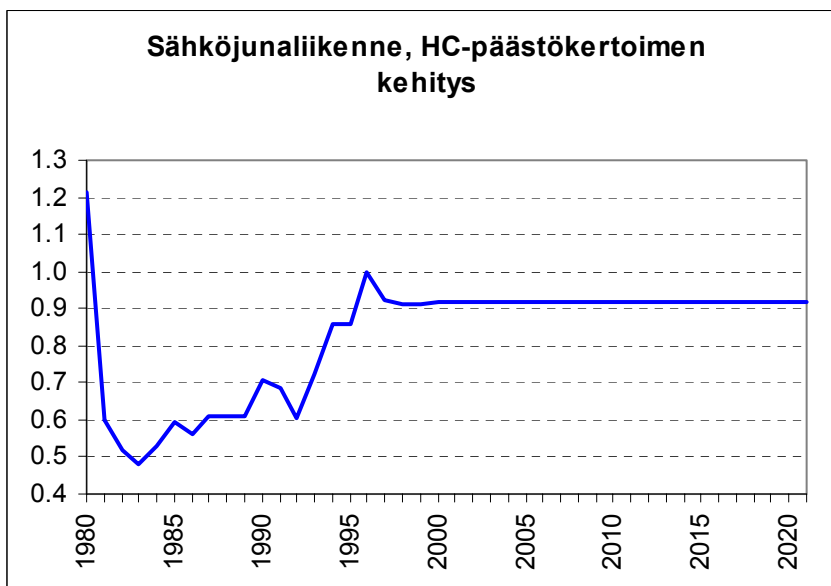
Liite C:

Päästökertointen kehityskertoimet.

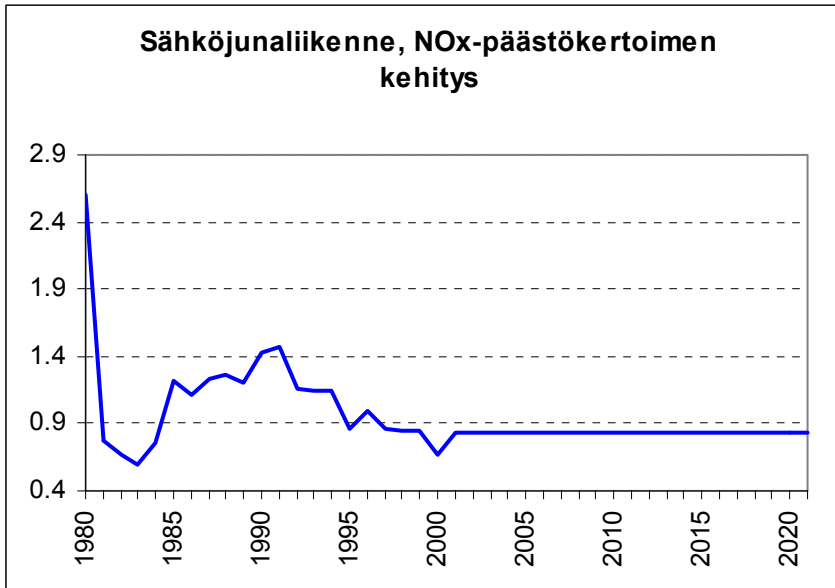
Seuraavassa on esitetty sähköntuotannon päästökertointen kehitystä kuvaavat luvut seuraavista yhdisteistä: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiukkaset, rikkidioksidi (SO₂) ja hiilidioksidi (CO₂). Kertoimet kuvaavat päästökertoimien muutosta suhteessa vuoteen 1996, joka oli ensimmäisen RAILI-järjestelmän perusvuosi. Kaikkien yhdisteiden kertoimien arvot vuonna 1996 ovat 1.0. Lähteenä on käytetty asiantuntija-arvioita (Fortum). Dieselmoottoreiden päästökertointen arvojen on oletettu pysyvän vuoden 1998 arvojen (mittaustulokset) tasolla, jos olennaisia kalustomuutoksia ei tapahdu.



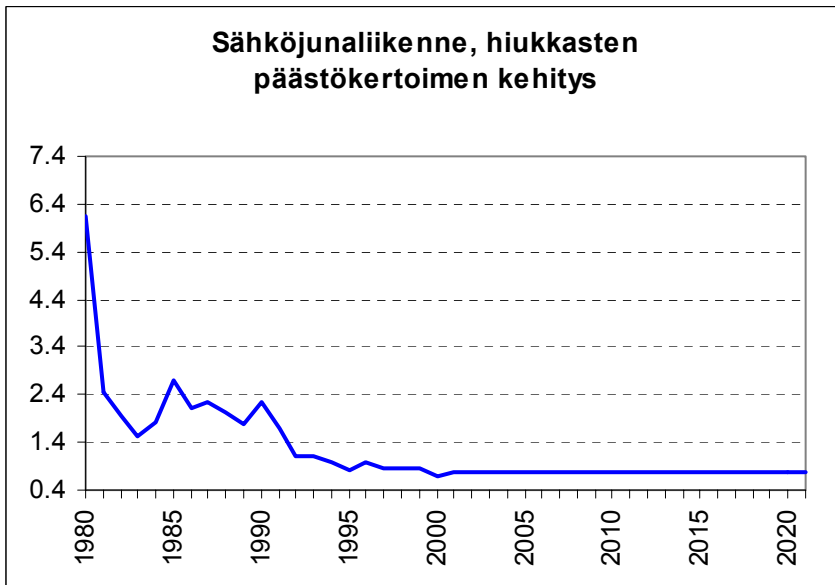
Liite C kuva 1. Sähköjunaliikenne, hiilimonoksidin (CO) päästökertoimen kehitys.



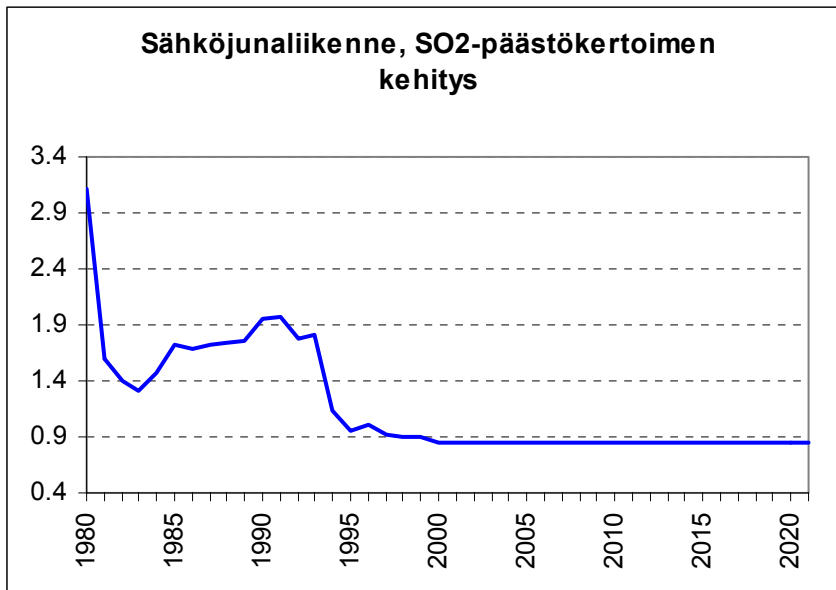
Liite C kuva 2. Sähköjunaliikenne, hiilivetyjen(HC) päästökertoimen kehitys.



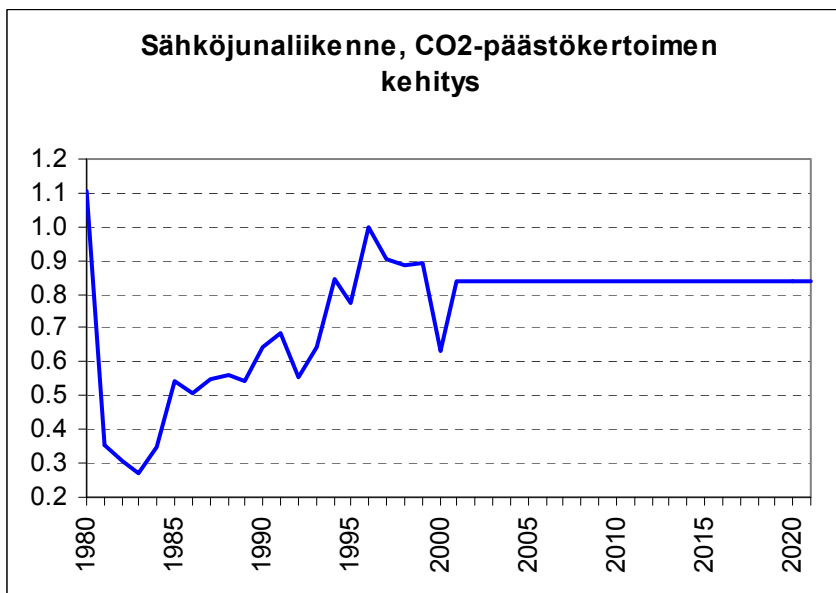
Liite C kuva 3. Sähköjuna liikenne, typen oksidien (NO_x) päästökertoimen kehitys.



Liite C kuva 4. Sähköjuna liikenne, hiukkasten päästökertoimen kehitys.



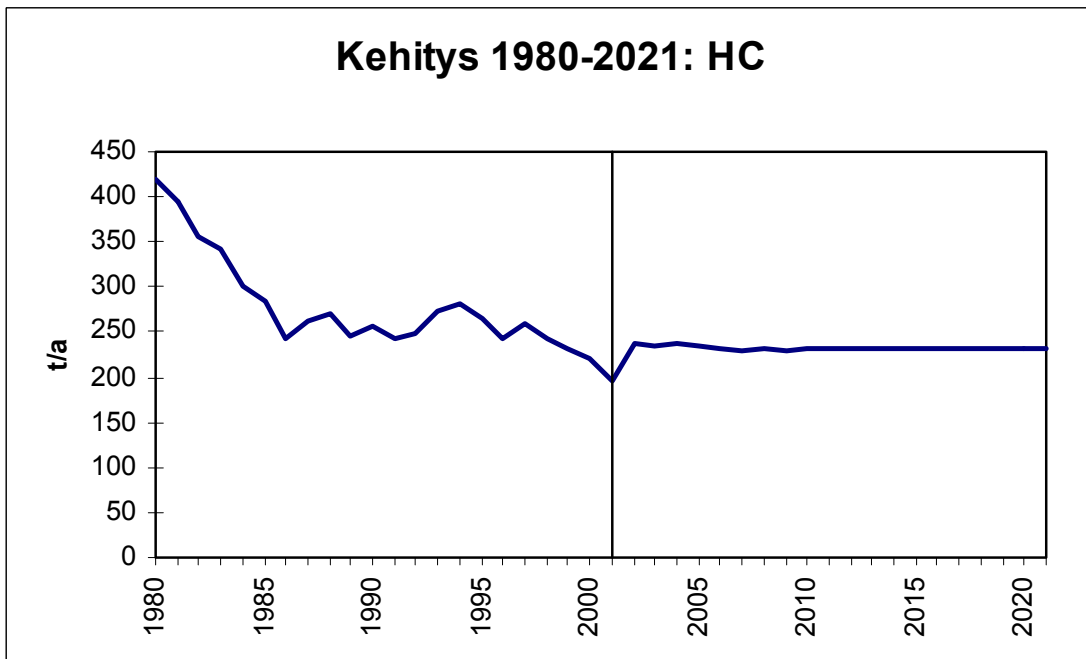
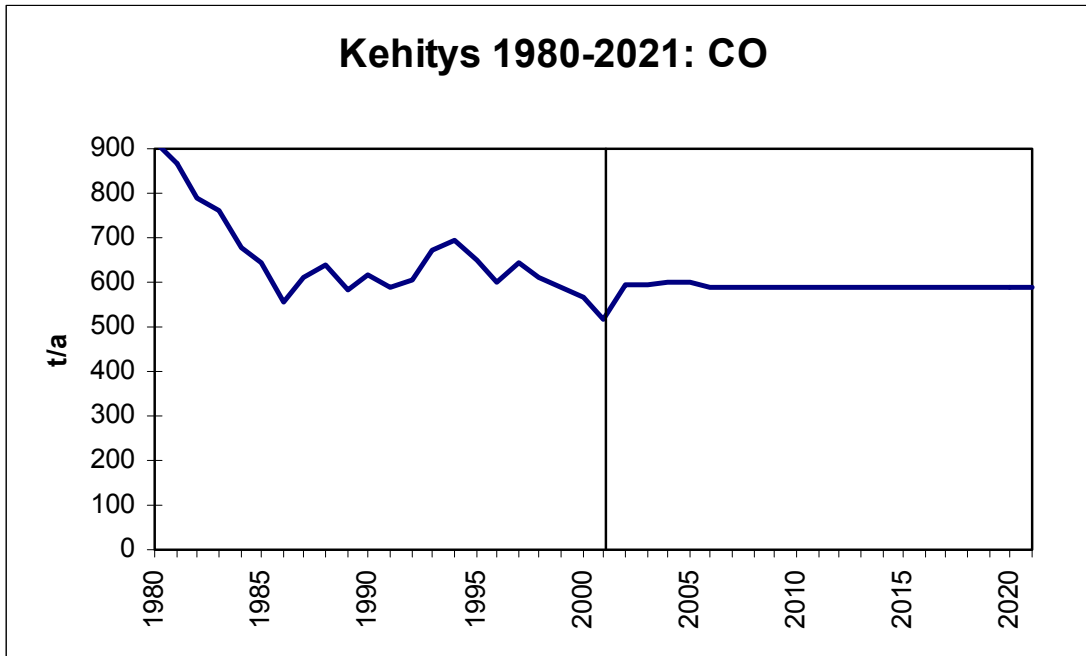
Liite C3 kuva 5. Sähköjuna liikenne, rikkidioksidin (SO₂) päästökertoimen kehitys.



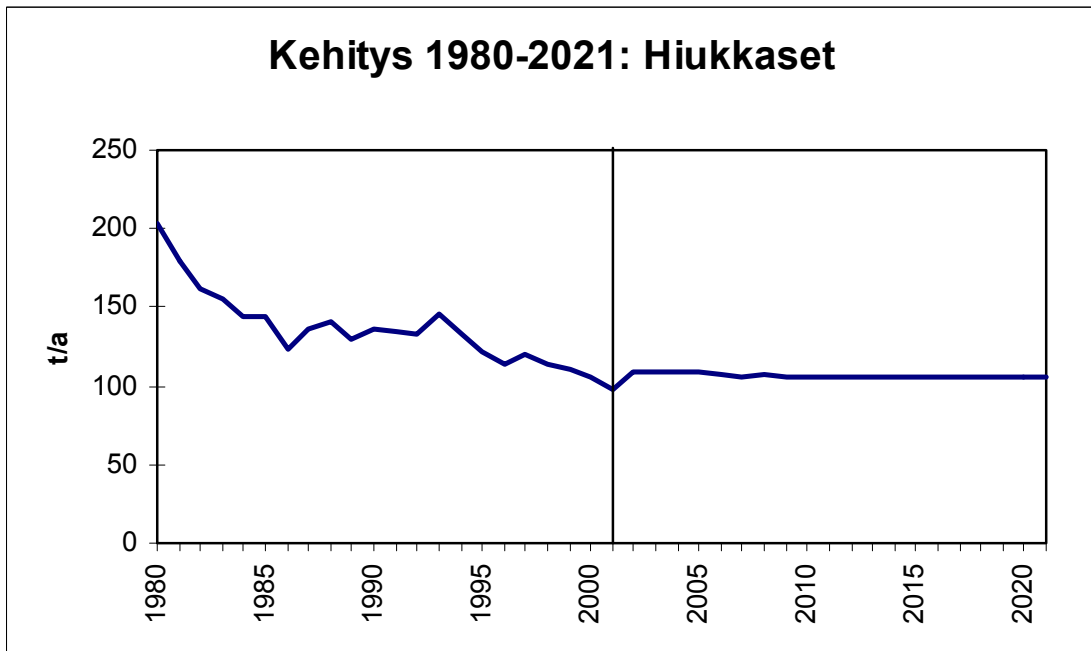
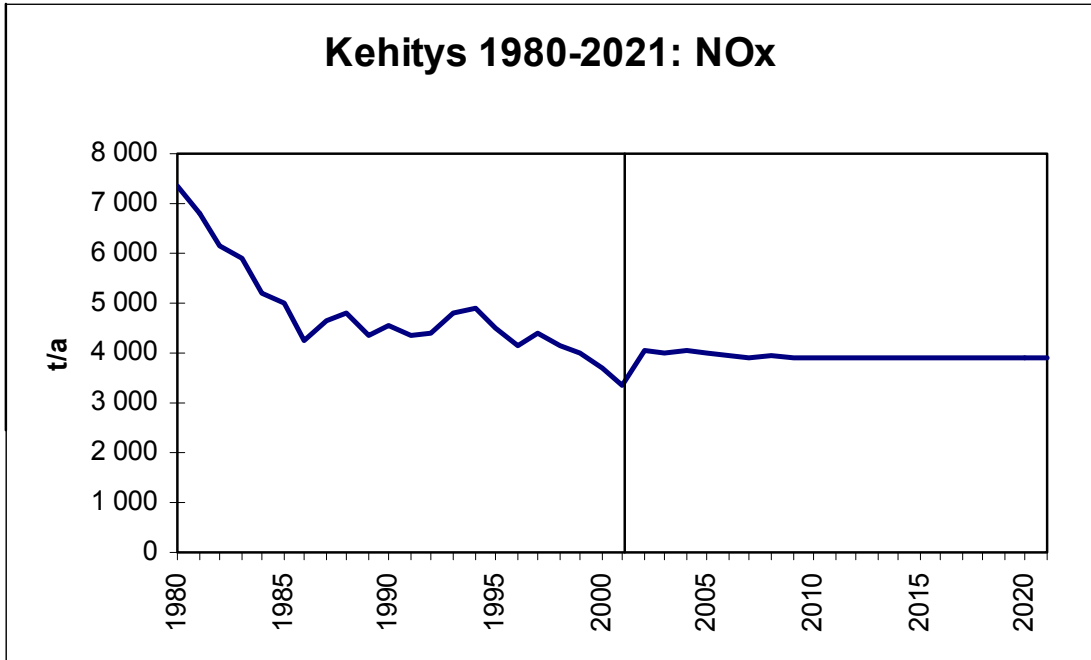
Liite C kuva 6. Sähköjuna liikenne, hiilidioksidin (CO₂) päästökertoimen kehitys.

Liite E:

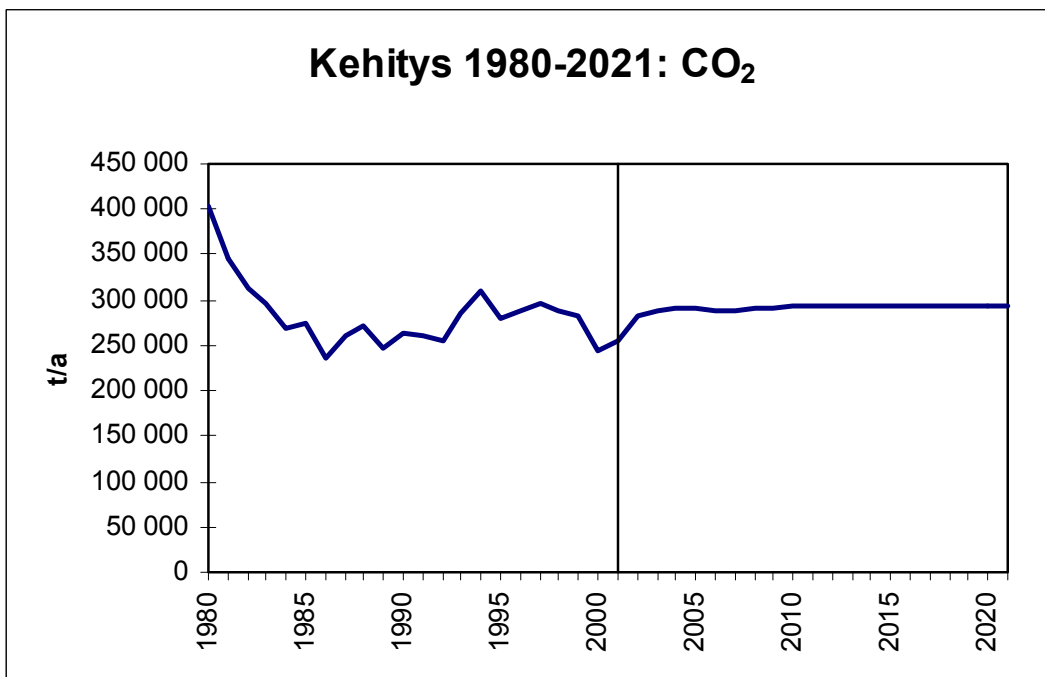
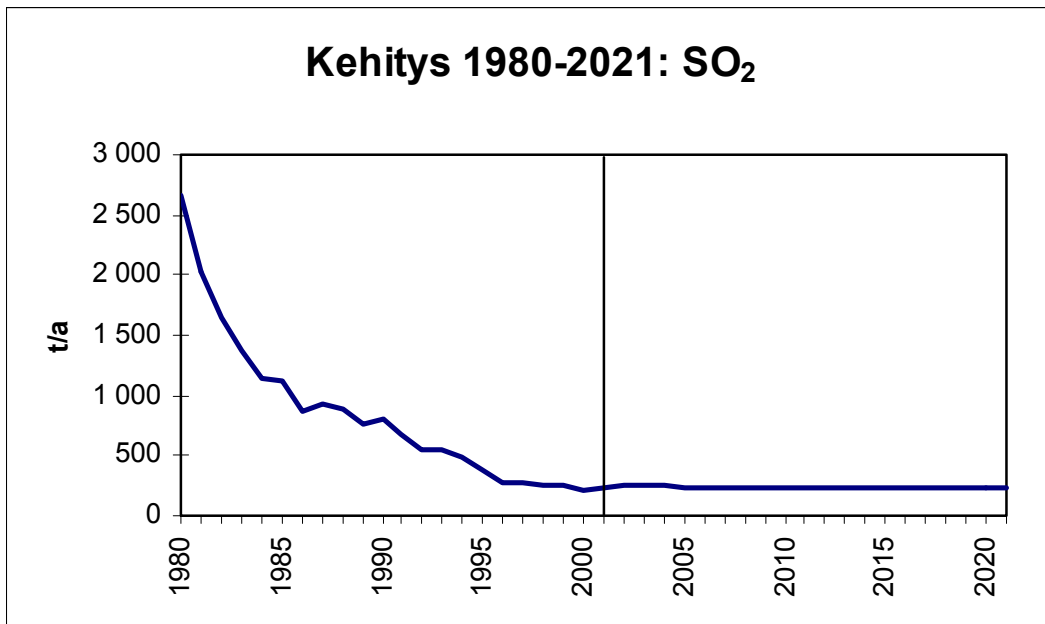
Rautatieliikenteen päästöjen kehitys RAILI 2001 laskentajärjestelmän mukaan



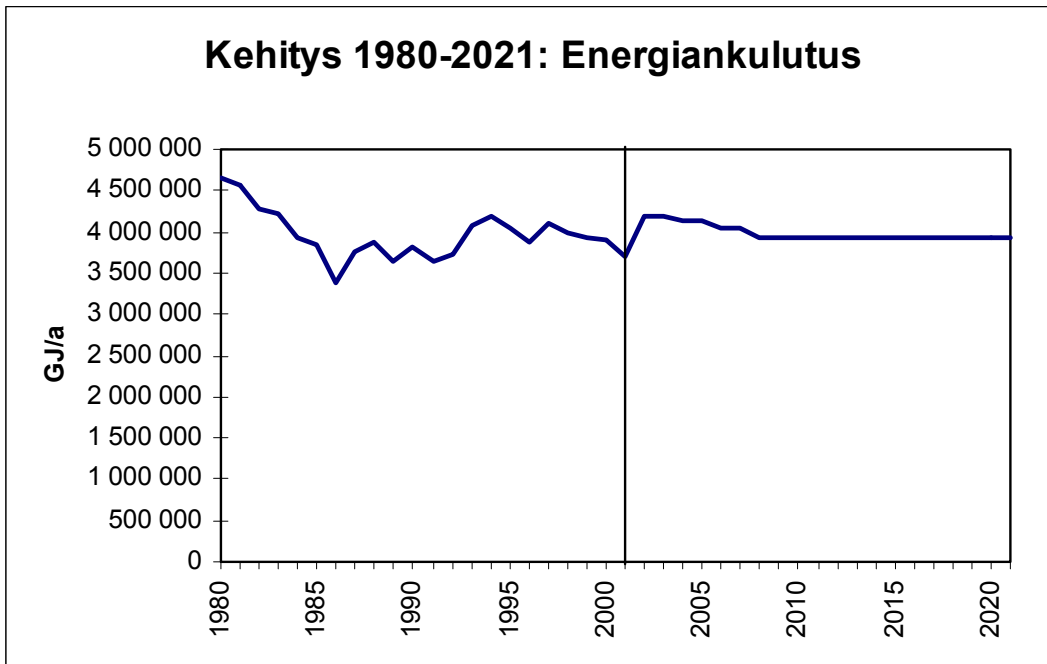
Rautatieliikenteen päästöjen kehitys RAILI 2001 laskentajärjestelmän mukaan



Rautatieliikenteen päästöjen kehitys RAILI 2001 laskentajärjestelmän mukaan

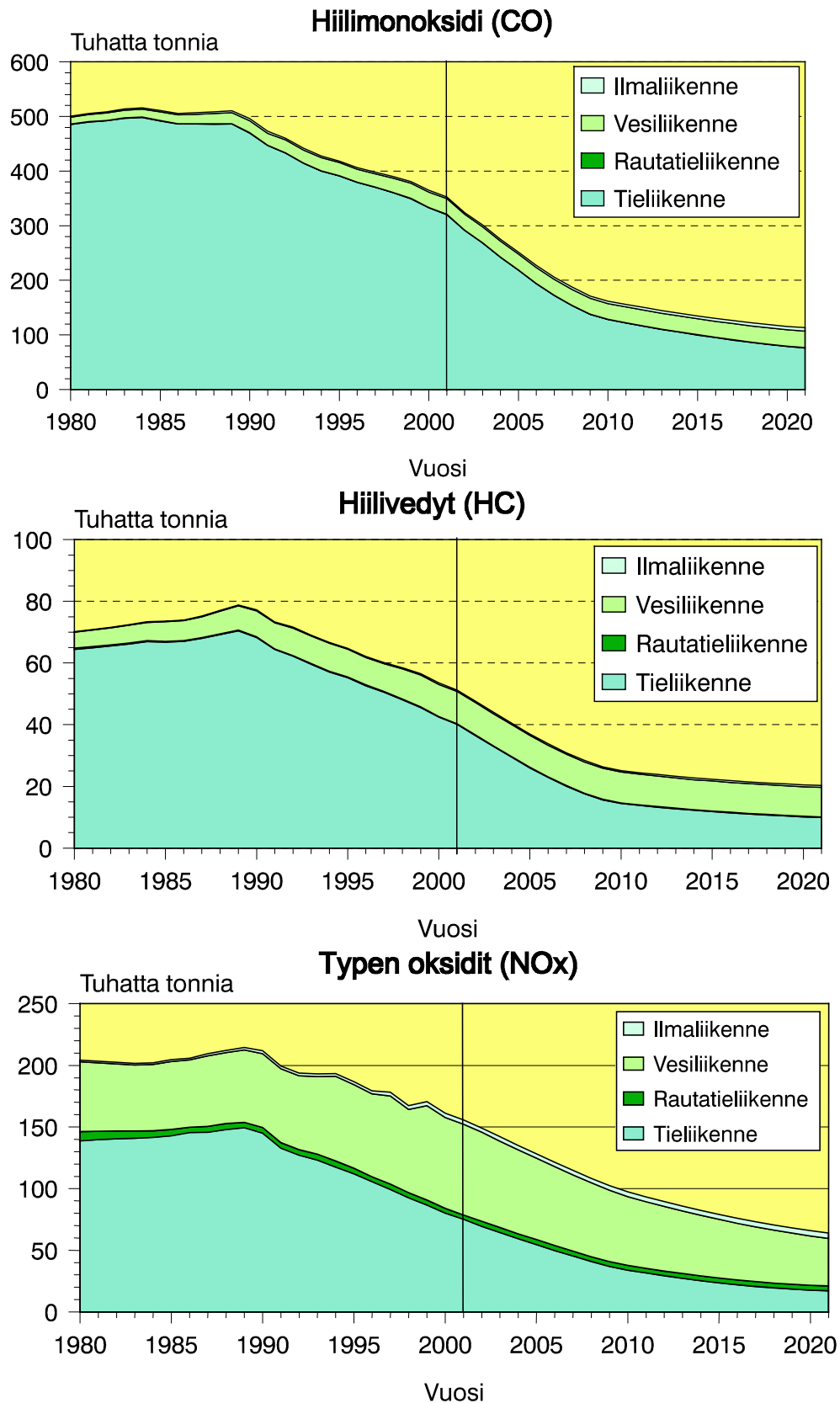


Rautatieliikenteen päästöjen kehitys RAILI 2001 laskentajärjestelmän mukaan



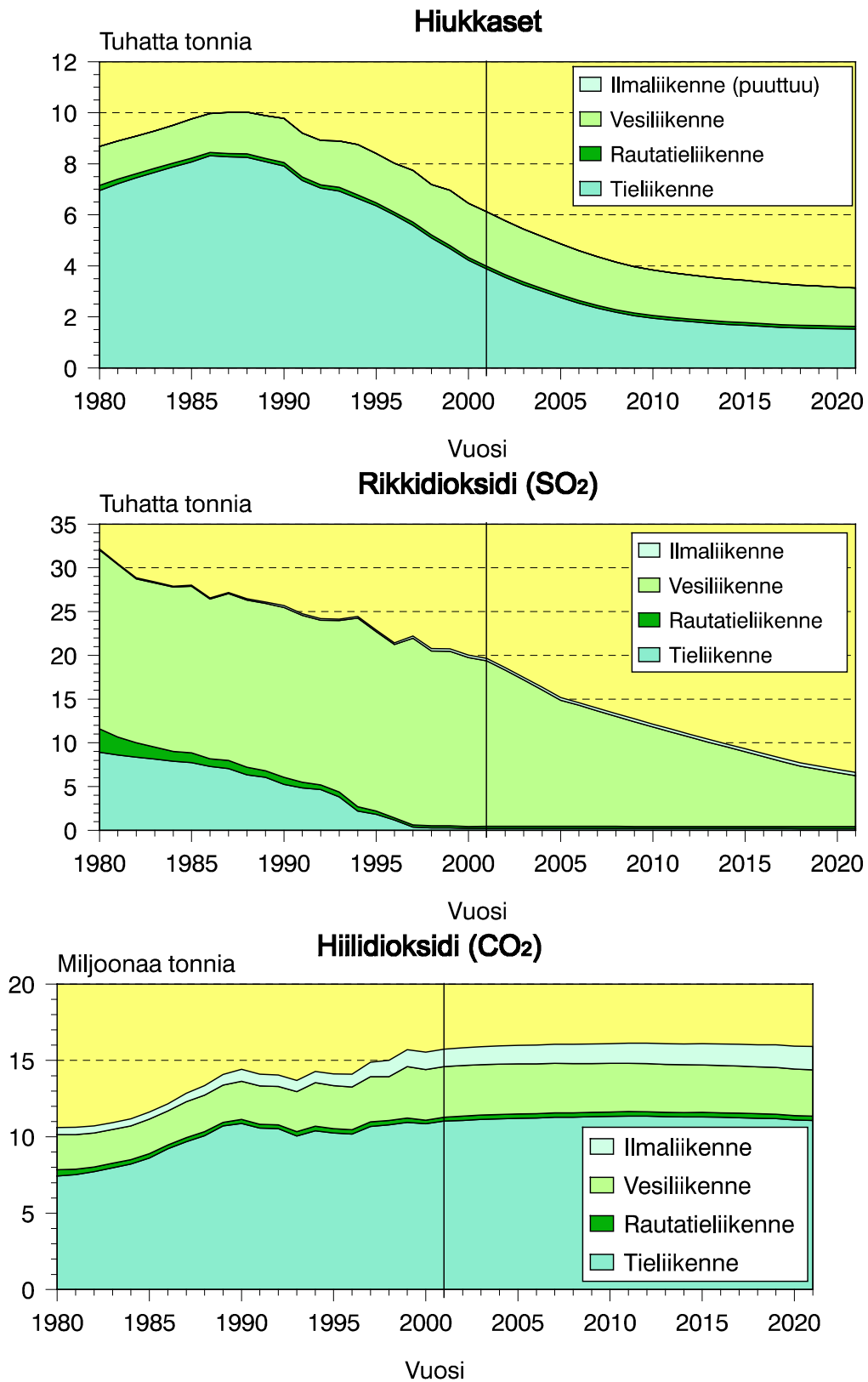
Liite F:

Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen arvioitu kehitys (LIPASTO 2001)



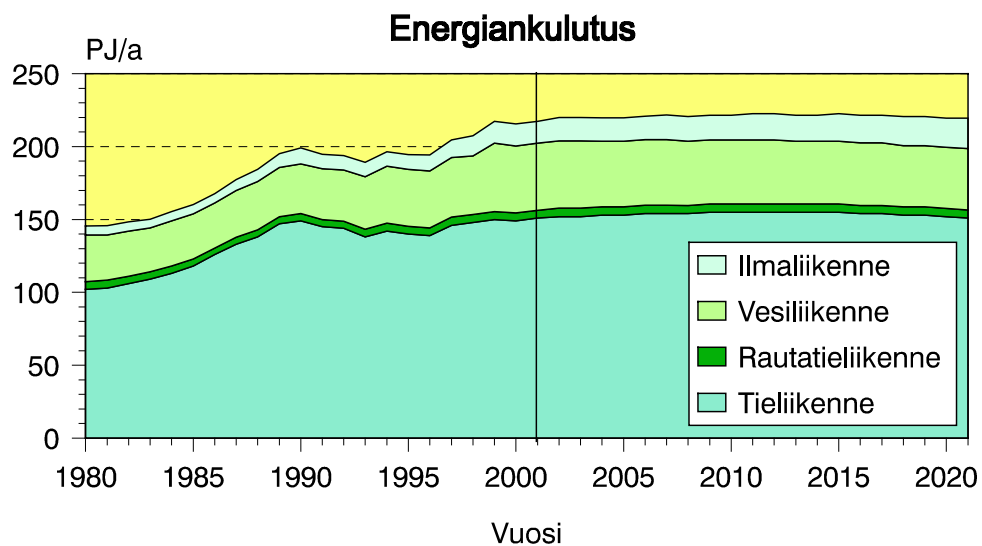
⁽¹⁾ Ennusteet perustuvat suoritteiden osalta pääosin tielaitoksen tarkistettuun perusennusteeseen vuodelta 1999 sekä Ratahallintokeskuksen, Merenkululaitoksen ja Ilmailulaitoksen arvioihin. Päästökerroinnusteet perustuvat VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan selvityksiin. Meri- ja ilmaliikenteessä on mukana ulkomaanliikenne, rautatieliikenne sisältää sähköjuna liikenteen osuuden voimalaitospäästöistä.

Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen arvioitu kehitys (LIPASTO 2001)⁽¹⁾



⁽¹⁾ Ennusteet perustuvat suoritteiden osalta pääosin tielaitoksen tarkistettuun perusennusteeseen vuodelta 1999 sekä Ratahallintokeskuksen, Merenkululaitoksen ja Ilmailulaitoksen arvioihin. Päästökerroinnusteet perustuvat VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan selvityksiin. Meri- ja ilmaliikenteessä on mukana ulkomaanliikenne, rautatieliikenne sisältää sähköjuni liikenteen osuuden voimalaitospäästöistä.

LIIKENTEEN ENERGIANKULUTUKSEN ARVIOITU KEHITYS



VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

LIPASTO 2001

⁽¹⁾ Ennusteet perustuvat suoritteiden osalta pääosin tielaitoksen tarkistettuun perusennusteeseen vuodelta 1999 sekä Ratahallintokeskuksen, Merenkululaitoksen ja Ilmailulaitoksen arvioihin. Päästökerroinnusteet perustuvat VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan selvityksiin. Meri- ja ilmaliikenteessä on mukana ulkomaanliikenne, rautatieliikenne sisältää sähköjuni liikenteen osuuden voimalaitospäästöistä.