

RATAHALLINTOKESKUS

RHK • Kiinteistöyksikkö

Ratahallintokeskuksen
julkaisuja

A
2/1998

SUOMEN RAUTATIELIIKENTEN

PÄÄSTÖJEN LASKENTAJÄRJESTELMÄ

(RAILI 96)

- **Kari Mäkelä**
- **Anu Tuominen**
- **Esa Pääkkönen**

SUOMEN RAUTATIELIIKENTEN PÄÄSTÖJEN

LASKENTAJÄRJESTELMÄ (RAILI 96)

- o Kari Mäkelä**
- o Anu Tuominen**
- o Esa Pääkkönen**

RHK
RATAHALLINTOKESKUS
KAIVOKATU 6, PL 185
00101 HELSINKI

PUH. 09-5840 5111
FAX 09-5840 5100
SÄHKÖPOSTI: info@rhk.fi

ISBN 952-445-006-2
ISSN 1455-2604

Mäkelä Kari – Tuominen Anu – Pääkkönen Esa: Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä (RAILI 96).

Ratahallintokeskus, kiinteistöyksikkö. Helsinki 1998. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 2/1998. 31 sivua + liitt. ISBN 952-445-006-2, ISSN 1455-2604

TIIVISTELMÄ

Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä RAILI 96 on ensimmäinen vuosittain päivitettävä rautatieliikenteen päästöjen laskentamalli Suomessa. RAILI 96 -projekti kuului osana LIPASTO 96 -projektiin, jossa selvitettiin kaikkien liikennemuotojen päästöt Suomessa. RAILI 96 -projektissa valmistui tämän raportin lisäksi tietokoneohjelma RAILI 96 ja sen järjestelmäkuvaus.

RAILI 96 -malli laskee rautatieliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna 1996. Laskentatulokset saadaan sekä valtakunnallisesti että rataosa- ja ratapihakohtaisesti. Laskentajärjestelmä koskee sekä sähkö- että dieselvetoista henkilö-, tavaraj- ja lähijunaliikennettä Suomessa. Lähijunaliikenteen aiheuttamat päästöt on laskettu omana kokonaisuutenaan. Karkealla tasolla päästömäärät on ennustettu vuodesta 1980 vuoteen 2016.

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 sähkönkulutus. RAILI 96 -järjestelmä on tarkoitettu lähinnä liikenneministeriön, Ratahallintokeskuksen ja VTT:n käyttöön. Tietoa LIPASTO 96 ja RAILI 96 -laskentajärjestelmistä on nähtävissä VTT Yhdyskuntatekniikan Internet-sivulla:
<http://www.vtt.fi/yki/lipasto>.

Suomen rautatieliikenteen aiheuttamat päästöt vuonna 1996 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 523 tonnia, hiilivetyjä (HC) 476 tonnia, typen oksideja (NO_x) 3 590 tonnia, hiukkasia 93 tonnia, rikkidioksidia (SO₂) 266 tonnia ja hiilidioksidia (CO₂) 291 000 tonnia. Kevyttä polttoöljyä kulutettiin yhteensä noin 52,7 milj.kg ja sähköenergiaa noin 422 miljoonaa kWh.

Rautatieliikenteen päästöjen kehityksessä ei näyttäisi tulevaisuudessa tapahtuvan suuria muutoksia nykyhetken verrattuna, vaikka liikennemäärät lisääntyvätkin. Rikkidioksidin, hiilimonoksidin sekä hiilidioksidin vuotuiset päästömäärät pysyvät ennusteen mukaan noin vuoden 1996 tasolla vuoteen 2016 asti. Hiilivetyjen, hiukkasten ja typen oksidien määrät näyttäisivät hiukan kasvavan, mutta eivät merkittävästi. On huomattava, että rataverkon jatkosähköistys vähentäisi merkittävästi useimpien päästölajien päästömääriä.

Mäkelä Kari – Tuominen Anu – Pääkkönen Esa: Calculation System for Finnish Railway Traffic Emissions (RAILI 96).

Finnish Rail Administration, Real Estate Unit. Helsinki 1998. Publications of Finnish Rail Administration A 2/1998. 31 pages + app. ISBN 952-445-006-2, ISSN 1455-2604

SUMMARY

RAILI 96, the calculation system for Finnish Railway Traffic Emissions, is the first annually updated calculation model of railway traffic emissions in Finland. RAILI 96 is a sub model of the LIPASTO 96 calculation system which calculates the emissions of all modes in Finland.

RAILI 96 model calculates the amount of exhaust gas emissions and energy consumption caused by railway traffic in the base year 1996. The results can be presented by the whole rail network as well as by rail sections and yards. The system covers both electric and diesel trains as well as passenger, freight and local traffic. The calculation system includes rough forecasts for the years 1980-2016.

Emissions caused by Finnish railway 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). The calculation also includes fuel consumption and energy usage. The calculation system is at disposal of VTT, Finnish Rail Administration and the Ministry of Transport and Communication. The results are presented in the WWW-pages <http://www.vtt.fi/yki/lipastoe/railie/railie.htm>.

Emissions caused by Finnish railway traffic in the year 1996 were as follows: carbon monoxide (CO) 523 tonnes, hydrocarbons (HC) 476 tonnes, nitrogen oxides (NO_x) 3 590 tonnes, particles (PM) 93 tonnes, sulphur dioxide (SO₂) 266 tonnes and carbon dioxide (CO₂) 291 000 tonnes. Fuel consumption was 52.7 million kg and energy consumption 422 million kWh.

There seems to be no major changes in the amount of emissions of Finnish railway traffic although the traffic volumes will increase. The annual emissions of sulphur dioxide, carbon monoxide and carbon monoxide will remain in the level of 1996 until 2016. The amount of hydrocarbons, particles and nitrogen oxides are likely to increase slightly. The further electrification of the Finnish rail network would decrease the amount of most emissions.

ESIPUHE

RAILI 96 -projekti kuului osana LIPASTO 96 -projektiin, jossa selvitetään kaikkien liikennemuotojen päästöjä. Tämän RAILI 96 -projektin ovat rahoittaneet Ratahallintokeskus ja liikenneministeriö.

LIPASTO 96 -projektin seurantaryhmään ovat kuuluneet Mikael Rehula liikenneministeriöstä, Kari Pulli Ratahallintokeskuksesta, Elina Kauppila Ilmailulaitoksesta, Jorma Kämäräinen Merenkulkuhallituksesta, ja Juhani Hienonen ympäristöministeriöstä.

Projektin vastuullisena johtajana on toiminut erikoistutkija Kari Mäkelä VTT Yhdyskuntatekniikasta. Työhön on osallistunut tutkija Anu Tuominen VTT Yhdyskuntatekniikasta. Ohjelmointityön on tehnyt projektipäällikkö Esa Pääkkönen ICL Data Oy:stä.

Helsingissä, maaliskuussa 1998

Ratahallintokeskus
Kiinteistöyksikkö

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

SUMMARY

ESIPUHE

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 ja vetokaluston energiankulutukset	13
3.2.2	Vetokaluston käyttötuntitiedot ja energiankulutus ratapihoilla	13
3.2.3	Lähiliikenteen liikennöintitiedot ja energiankulutus	15
3.2.4	Rautatieliikenteen kehitys.....	15
3.3	Polttonestetiedot	15
3.3.1	Käytetyt polttonesteet	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 määrittely.....	16
3.4.4	Päästökertoimien kehitys	18
4.	JÄRJESTELMÄKUVAUS.....	19
4.1	Must malli	19
4.1.1	MUST-ohjelmistokehittimen rakenne	19
5.	LASKENTATULOKSET.....	22
5.1	Päästömäärät.....	22
5.2	Päästöjen vertailu	26
6.	YHTEENVETO	29

LIITTEET

Liite 1	Ominaisenergiankulutuskäyrät
Liite 2	Rautatieliikenteen suoritteiden kehityskertoimet
Liite 3	Päästökertoimien kehityskertoimet
Liite 4	Malli rataosakohtaisesta tietokannasta
Liite 5	Päästökertoimien määrittely
Liite 6	Rautatieliikenteen päästöjen kehitys RAILI 96 -laskentajärjestelmän mukaan
Liite 7	Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen arvioitu kehitys (LIPASTO 96)

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 yhtenäisten laskentaperusteiden olemassaoloa ja päästöprosessin tuntemusta.

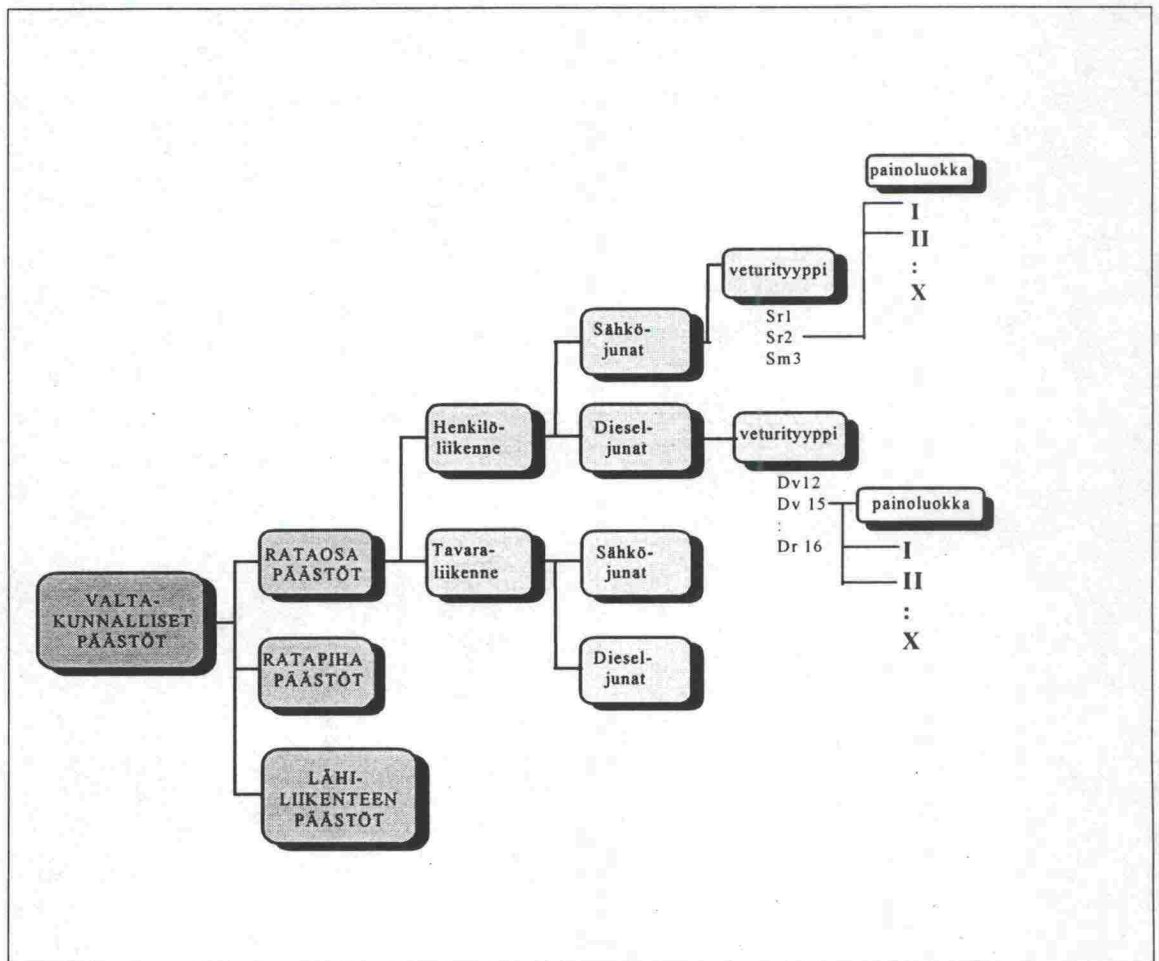
Rautatieliikenne on yksi neljästä liikennemuodosta. Vain tieliikenteestä on tähän asti ollut laskentajärjestelmä. Yhtenäisyyden vuoksi järjestelmä on oltava kaikista liikennemuodoista samoin kuin muistakin päästölähteistä. Liikenteen suurin ympäristökuormitus tulee pakokaasupäästöistä. Nyt valmistunut LIPASTO -järjestelmä sisältää kaikkien liikennemuotojen päästöt ja energiankulutuksen. RAILI 96 -laskentajärjestelmä on LIPASTO:n alamalli rautatieliikenteen päästöjen osalta.

Rautatieliikenteestä, samoin kuin vesi- ja ilmaliikenteestä on tähän saakka ollut vain päästöjen ja energiankulutuksen kertalaskentoja. Toiminnan 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 96 -laskentajärjestelmän perustan muodostavat rataosa- ja ratapihakohtaiset liikennöintitiedot. Järjestelmä laskee rautatieliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna (1996) **rataosilla** ja **ratapihoilla** jaoteltuna junalajin (matkustajajuna, tavarajuna, pelkkä veturi), veturityypin (sähköveturit, dieselveturit) ja junien 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 96 -laskentajärjestelmä sisältää karkeat arviot vuosien 1980-1995 päästömääristä sekä ennusteet vuodesta 1997 vuoteen 2016.



Kuva 1. Laskentamallin rakenne.

2.2 Rataosakohtainen laskenta

Rataosakohtainen laskenta sisältää kaikkiaan 229 rataosan linjaliikenteen energiankulutuksen ja päästöt. Rataosakohtaisen päästölaskennan perustan muodostavat vedettyjen bruttotonnikilometrien 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 energiamäärän selvittämisessä on käytetty apuna VR:llä tehtyjä vetokaluston ominaisenergiankulutustutkimuksia (Sr1-, Sr2- ja Dv12-veturityypit sekä Sm1-sähkömoottorijuna 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). Sr1- ja Dv12-veturityypeille määritetyt ominaisenergiankulutuskäyrät on esitetty liitteessä 1. 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 ominaisenergiankulutus ja vedetyt bruttotonnikilometrit ja laskemalla tulokset yhteen.

Pendolino-junan arvioitu energiankulutus matka-ajossa on noin 15.5 kWh/km (Pussinen 1997). Pendolino -liikenteen aiheuttamat päästöt on saatu kertomalla junien ajama vuosisuoritemäärä (jkm) energiankulutuksella ja eri yhdisteiden päästökertoimilla.

Varsinaisen matka-ajon energiankulutuksen ja päästöjen lisäksi liikennöinnissä 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%), sähköve-

toisella tavaraliikenteellä 1.1367 (n. 14 %) ja dieselvetoisella henkilö- ja tavaraliikenteellä 1.0834 (n. 8%) (Pussinen 1997).

Näiden kertoimien lisäksi sähkövetoisessa liikenteessä on vielä otettu huomioon 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

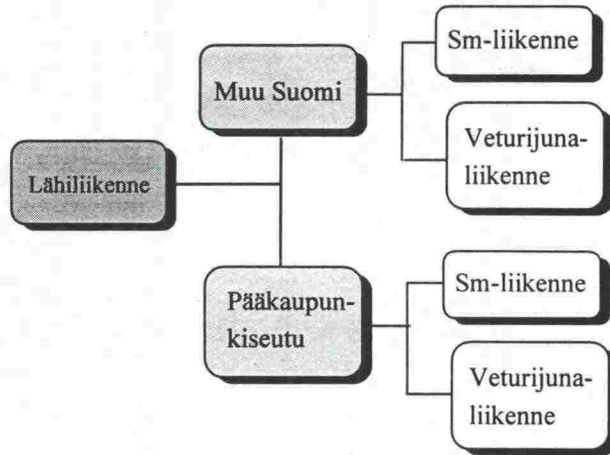
Ratapihakohtainen laskenta sisältää kaikilla Suomen ratapihoilla tehtyjen vaihto-, siirto- ym. töiden päästöt. Laskenta perustuu ratapiha- ja veturityyppikohtaisiin käyttötuntitietoihin/vaihtotyötunteihin. Kullekin veturityypille on määritelty tyyppillinen vaihtotyökulutus (l/h). Ratapihoilla tapahtuva polttonesteenkulutus on saatu kertomalla tuntimäärät vaihtotyökulutuksella ja päästömäärät kertomalla polttonesteenkulutus päästökertoimilla. Lähes kaikki ratapihojen varsinaiset vaihto- ja päivystystyöt tehdään dieselvetoalustolla.

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 matkajossa (Pussinen 1997). Lähiliikenteessä käytettävien veturijunien ominaisenergiankulutusarvot on saatu liitteessä 1 esitetyiltä ominaisenergiankulutuskäyriltä. Lähiliikenteen energiankulutus on saatu kertomalla lähiliikenteen Sm-junayksiköiden ja veturijunien vuosisuoritteet ominaisenergiankulutuksilla, ja päästöt kertomalla tämä energiankulutus eri yhdisteiden päästökertoimilla. Kuvassa 2 on esitetty lähiliikenteen päästöjen laskennan rakenne.

2.5 Valtakunnalliset päästöt

Valtakunnalliset päästö- ja energiankulutusarvot saadaan laskemalla kaikkien rataosien, kaikkien ratapihojen ja lähiliikenteen päästöt ja energiankulutus yhteen. RAILI 96 -järjestelmässä valtakunnallisille päästöille on oma tulostusnäyttönsä.



Kuva 2. Lähiliikenteen päästölaskennan rakenne.

2.6 Aikasarjat ja ennusteet

Laskentajärjestelmä laskee perusvuoden 1996 lisäksi pakokaasupäästöt vuosilta 1980-1995 sekä ennustevuosilta 1997-2016. 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 bruttotonnikielometrien (lähiliikenteessä junayksikkökielometrien) kokonaismäärää perusvuoteen 1996 verrattuna. Päästökertoimien kehityskertoimet (kullekin yhdisteelle omansa) kuvaavat päästökertoimien arvoja perusvuoden 1996 päästökertoinarvoihin verrattuna. Vuoden 1996 kehityskertoimet ovat kaikissa tapauksissa 1.00.

Junaliikenteen suoritteiden kehitysennusteet perustuvat VR:n ja Ratahallintokeskuksen arvioihin. Arviossa ei ole otettu huomioon mahdollista rataverkon jatkosähköistystä. 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

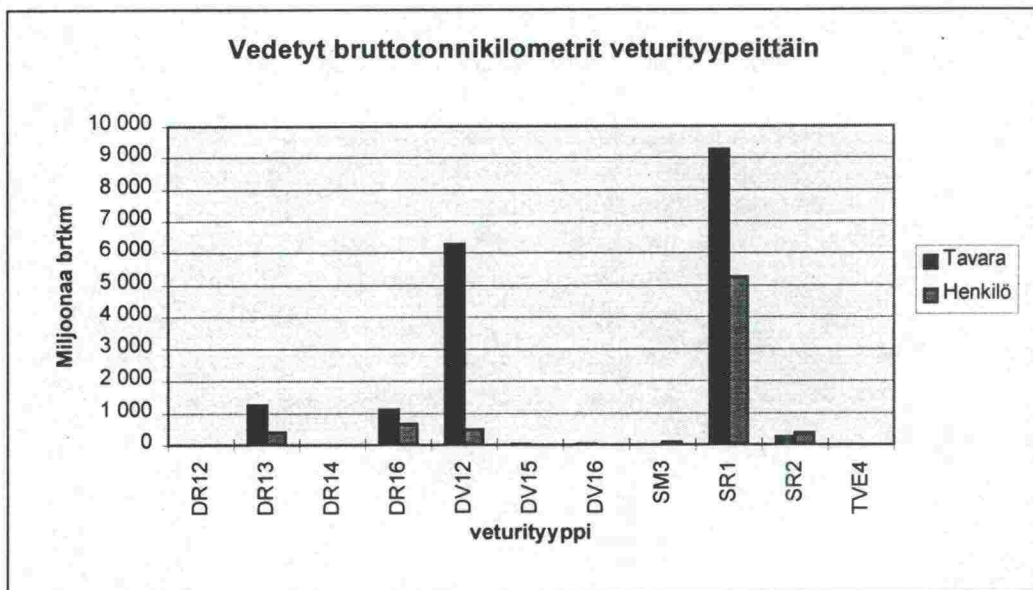
3.1 Rataverkko ja vetovoimakalusto

Vuoden 1997 alussa Suomen rataverkon kokonaispituus oli 5 859 km (RHK 1997). Rataosia oli 229 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 käyttöön otettavan uuden Pendolino-junan myötä myös suurten asutuskeskusten välisessä nopeassa kaukojunaliikenteessä.

RAILI 96 -laskentajärjestelmä sisältää kaksi sähköveturityyppiä eli veturityypit Sr1 ja Sr2. Sähkövetureita käytetään sekä henkilö- että tavaraliikenteessä. Dieselveturityyppejä on kuusi erilaista eli veturityypit Dv12, Dv15, Dv16, Dr13, Dr14 ja Dr16. Veturityypeistä Dv15, Dv16 ja Dr14 toimivat yleensä vain erilaisissa ratapihojen vaununjärjestely- tai vaununvaihtotöissä (Pussinen 1997).

Moottorijunatyyppejä 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 1996.



Kuva 3. Vedetyt bruttotonnikilometrit veturityypeittäin 1996.

3.2 Liikennöinti- ja energiankulutustiedot

3.2.1 Rataosakohtaiset liikennöintitiedot ja vetokaluston energiankulutukset

RAILI 96 -järjestelmän lähtötiedoiksi tarvittavat rataosakohtaiset liikennöintitiedot on saatu VR:ltä. 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 kyseisestä tietokannasta. Tietokanta sisältää RAILI 96: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 ominaisenergiankulutuskäyriä junapainojen perusteella poimitut keskimääräiset ominaisenergiankulutusarvot on esitetty taulukossa 1. Pelkkien veturien tapauksessa veturin on katsottu kuuluvan pienimpään painoluokkaan, eli luokkaan < 250 t. Sr1- ja Dv12-veturityyppien ominaisenergiankulutuskäyrät on esitetty liitteessä 1.

Sm3-moottorivaunun (Pendolino-juna) ominaisenergiankulutuksena on käytetty arvoa 15.5 kWh/km.

3.2.2 Vetokaluston käyttötuntitiedot ja energiankulutus ratapihoilla

Vetokaluston käyttötuntitiedot ratapihoilla on saatu tietokantana VR:ltä. Tietokannassa on esitetty kunkin ratapihan vaihtotyötunnit veturityypeittäin. Taulukossa 2 on esitetty malli tietokannasta (15 ensimmäistä ratapihaa). Eri veturityyppien energiankulutus (l/h) vaihtotyössä on määritelty 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/1000btkm)			
		henkilö / S	tavara / S	henkilö / D	tavara / D
1	<250	33	17.5	7.5	10.2
2	250-499	30	16.5	6.2	8.2
3	500-799	26	15.5	6.2	6.4
4	800-999	21	14.5	6.2	5.2
5	1000-1249	13.5	13.5	6.2	4.2
6	1250-1499	9.5	12.5	6.2	3.8
7	1500-1749	4.5	11.7	6.2	3.0
8	1750-1999	4.5	11	6.2	2.4
9	2000-2249	4.5	10.1	6.2	2.2
10	>2250	4.5	7.5	6.2	2.2

Taulukko 2. Ratapihojen vaihtotyötunnit vuonna 1996 veturityypeittäin (esimerkki).

	DV15-16	DV12	DR14	TVE4	DR13	DR16	TKA
PASILA olk hkm pjm	10461						
ILMALA	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 ja energiankulutus

Lähiliikenteen liikennöintitiedoista rakennettiin 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 sähkömoottorijunayksikön ominaisenergiankulutuksena on käytetty arvoja 7.9 kWh/km ja 5.9 kWh/km (Pussinen 1997).

3.2.4 Rautatieliikenteen kehitys

Junaliikenteen suoritteiden kehitys on arvioitu vuoteen 2016 asti. Arviot on saatu VR:ltä ja Ratahallintokeskukselta. Suoritteiden ennusteet koskevat erikseen sähkö- ja dieselvetoista henkilö- ja tavaraliikennettä (kaukoliikenne) sekä lähiliikennettä. Pendolino-junan suoritteiden kasvuennuste on esitetty erillisenä, koska sen liikennöinnin määrän kasvu on oletettu huomattavasti muuta sähkövetoista henkilöliikennettä suuremmaksi. Vuosien 1980-1996 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 junatyyppien suoritteille kehityskertoimet vuodesta 1980 vuoteen 2016.

3.3 Polttonestetiedot

3.3.1 Käytetyt polttonesteet

Suomen rautateillä käytetystä polttonesteestä on laskentajärjestelmässä arvioitu olevan ns. "länsituotantoa" n. 82 % ja ns. "itätuotantoa" n. 12 %. Arvio on saatu VR:ltä. Polttonesteiden suurin ero on niiden rikkiipitoisuudessa.

3.3.2 Rikkiipitoisuus

"Länsituotannon" rikkiipitoisuudeksi on laskentajärjestelmässä arvioitu n. 0.05 % ja "itätuotannon" n. 0.2 %. Rikkipäästöt 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, rikki-dioksidi (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 määritetty käyttäen hyväksi useita kotimaisia ja ulkomaisia lähteitä. Mittaustuloksia on saatu Ranskasta (VR:n käyttämiä diesel-moottorityyppejä vastaavista moottoreista), Ruotsista (SJ), Tanskasta ja Saksasta (EU-projekti MEET) sekä USA:sta. Mittaustulosten perusteella kullekin yhdisteelle on pyritty määrittämään sitä parhaiten kuvaava arvo (Liite 5). Taulukossa 4 on esitetty RAILI 96:een valitut diesel-moottoreiden päästökerrointen arvot. Veturityypin Dr16 Pielstick -moottorin ja veturityypin Dv12 MGO-moottorin päästöistä on olemassa mittaustuloksia. Muiden Suomessa käytettyjen veturityyppien moottorien ominaisuudet on arvioitu Dv12:n MGO-moottorin kaltaisiksi mittaustulosten puutteen vuoksi.

Taulukko 4. RAILI 96:ssa käytetyt päästökertoimet diesel-moottoreille.

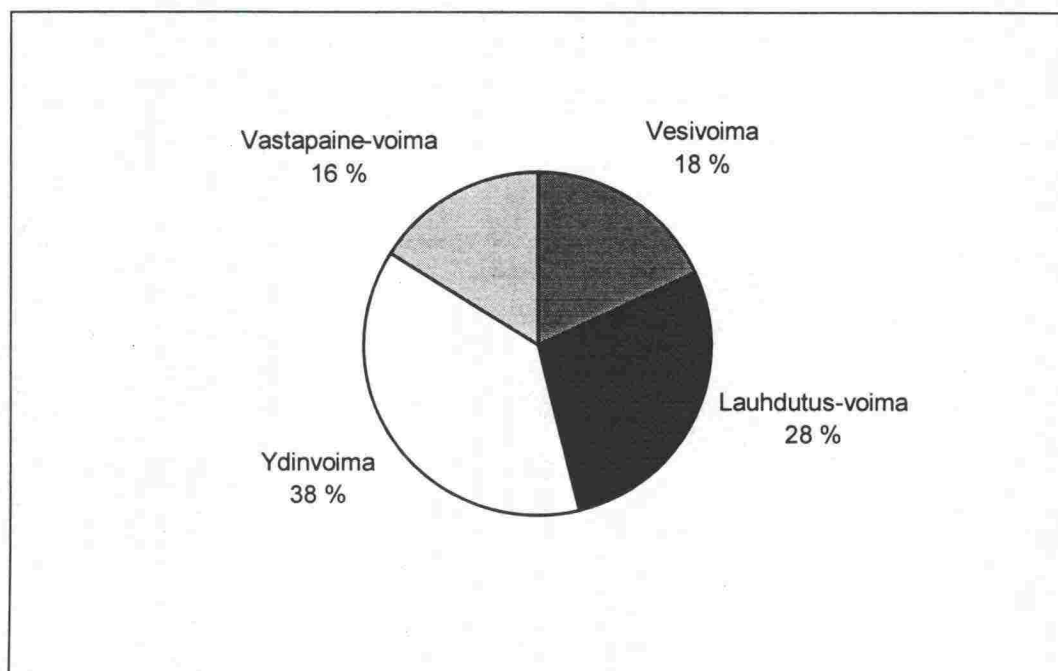
Moottorityyppi	CO (g/kg _{pa})	HC (g/kg _{pa})	NO _x (g/kg _{pa})	hiukkaset (g/kg _{pa})	CO ₂ (g/kg _{pa})
Pielstick (Dr16)	12	2.5	18	1.3	3167
MGO (Dv12 + muut)	8	10	72	1.3	3167

Sähköjunaliikenteen päästökertoimina (g/kWh) on käytetty Suomen sähköntuotannon ominaispäästöarvoja vuodelta 1996. Sähköntuotannon ominaispäästöarvot on laskettu Imatran Voima Oy:n ympäristönsuojeluyksikössä. Taulukossa 5 on esitetty päästölajeittain laskentajärjestelmässä käytetyt ominaispäästöarvot. Kerroimet kuvaavat vain sähkön tuotantovaiheen päästöjä.

Taulukko 5. Suomen sähköntuotannon ominaispäästöt 1996 (vain tuotantovaihe)(IVO 1997).

	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	SO ₂ (g/kWh)	hiukkaset (g/kWh)	CO ₂ (g/kWh)
Ominaispäästöt tuotantovaiheen osalta	0.130	0.019	0.478	0.419	0.054	274

Suomen sähköntuotannolle on tunnusomaista, että yli puolet tarvittavasta sähköenergiasta tuotetaan ydinvoimalla ja vesivoimalla. Loppuosa tarvittavasta sähköstä tuotetaan lauhdutusvoimalla ja vastapainevoimalla. Kuvassa 4 on esitetty Suomen sähköntuotannon jakautuminen eri tuotantotavoille 1996 IVO-yhtiöiden mukaan.



Kuva 4. Suomen sähköntuotantojakauma tuotantotavoittain (%) vuonna 1996 (IVO-yhtiöt 1997).

3.4.4 Päästökertoimien kehitys

Eri yhdisteiden päästökerrointen arvojen kehitys on arvioitu vuodesta 1980 vuoteen 2016 asti. Kehityskertoimien arvot ovat karkeita ja vain suuntaa antavia. Lähteinä on käytetty dieselmootoreiden osalta ulko- ja kotimaisia selvityksiä (mm. Thune-Larsen et al. 1997) ja sähköntuotannon osalta asiantuntija-arvioita (IVO). Liitteessä 3 on esitetty kuvaajat eri yhdisteiden kehityskertoimille vuodesta 1980 vuoteen 2016.

4. JÄRJESTELMÄKUVAUS

4.1 Must malli

Laskentajärjestelmä on toteutettu ViSolutions Oy:n kehittämää MUST (MULTI purpose System modelling Tool) ohjelmistoa käyttäen. Tietojen esitykseen ja näyttöjen rakentamiseen on käytetty Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelman versiota 5.0.

4.1.1 MUST-ohjelmistokehittimen rakenne

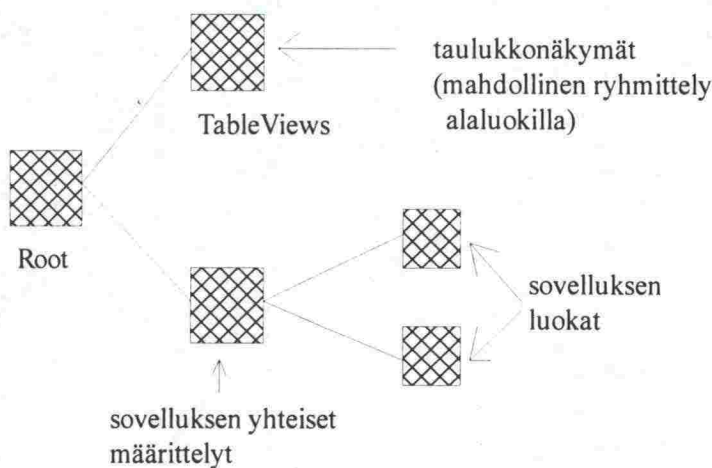
MUST-sovellusrakenne

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

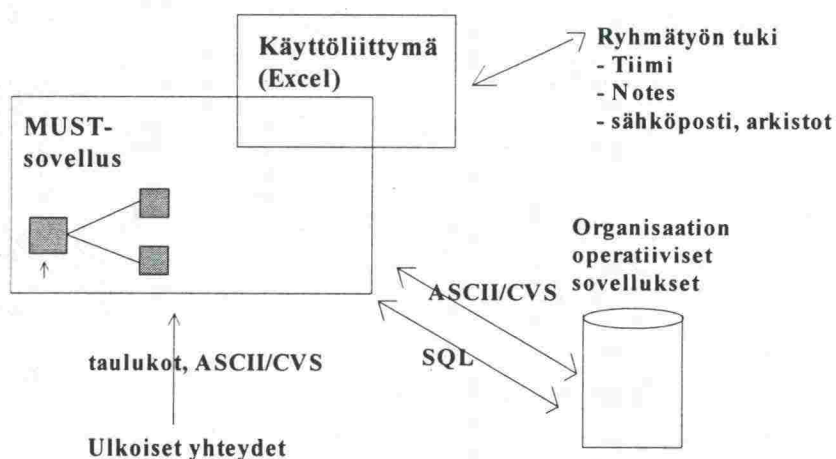
- MUSTissa luokkahierarkiassa toimii dynaaminen moniperintä
 - muutokset heijastuvat välittömästi kaikkiin alaluokkiin ja datataulukoihin
 - luokalla voi olla useampia yläluokkia
- linkin tai muuttujan määrittely on perusmäärittely (base relation, base item) silloin, kun määrittely ei ole peritty
- peritty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

- merkitys laskentasaäntöjen 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 Päästömäärät

Taulukossa 6 on esitetty Suomen rautatieliikenteen aiheuttamat päästöt vuonna 1996 (RAILI 96 -laskentajärjestelmän tuloste "valtakunnalliset päästöt"). Päästömäärät olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 523 tonnia, hiilivetyjä (HC) 476 tonnia, typen oksideja (NO_x) 3 590 tonnia, hiukkasia 93 tonnia, rikkidioksidia (SO₂) 266 tonnia ja hiilidioksidia (CO₂) 291 000 tonnia. Kevyttä polttoöljyä kulutettiin yhteensä noin 52.7 milj. kg ja sähköenergiaa 422 miljoonaa kWh. Rautatieliikenteen kokonaisenergiankulutus vuonna 1996 oli 3.7 PJ. Vedettyjen bruttotonnikilometrien kokonaismäärä oli 24 846 miljoonaa. Tulostaulukoiden luvut on esitetty tarkalleen 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 1980-2016, yhteensä 36 vuotta. Aikajakso on sama kuin LIPASTO 96 -järjestelmässä. Vuodet 1980-1996 kuvaavat vedettyjen bruttotonni- ja junakilometrien osalta todellista, tapahtunutta kehitystä ja vuodet 1997-2016 arvioitua tulevaisuuden kehitystä. Taulukossa 8 on esitetty eri yhdisteiden päästömäärien arvioitu kehitys (rautatieliikenne yhteensä) sekä rautatieliikenteen polttoaineen- ja sähkönkulutus yhteensä vuodesta 1980 vuoteen 2016.

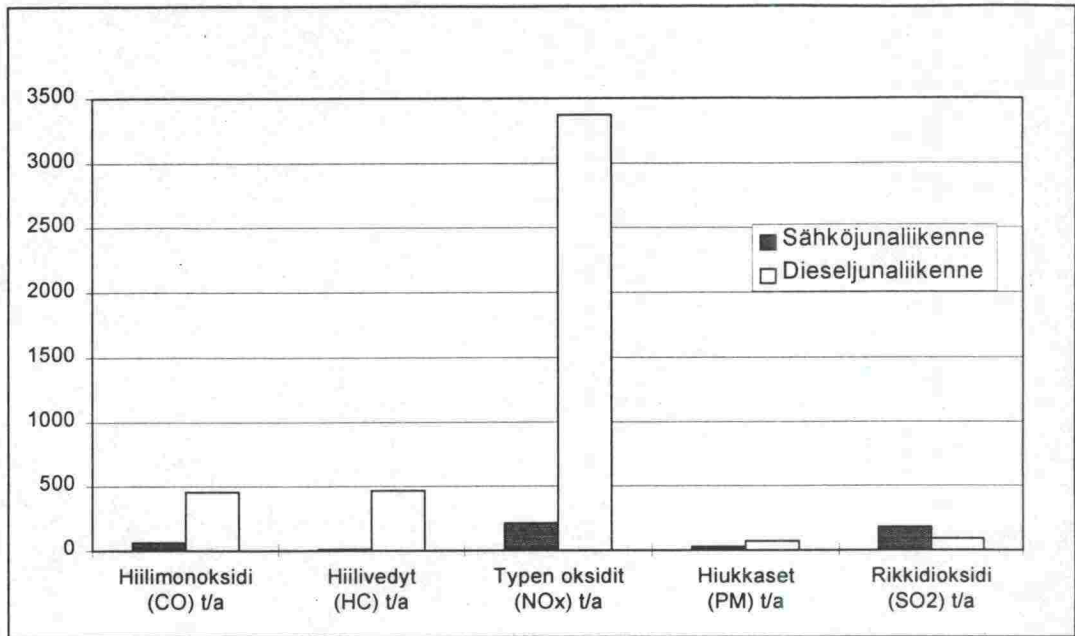
Liitteessä 6 on esitetty kuvina rautatieliikenteen päästöjen ja energiankulutuksen kehitys vuodesta 1980 vuoteen 1996 sekä ennuste vuosille 1997-2016. Hiilimonoksidipäästöt (CO) alenivat ja vakiintuivat 80-luvulla noin 500 tonnin tasolle eikä odotettavissa ole muutoksia (liite 6/1). Päästöjen alenema aiheutui ratojen sähköistyksestä ja sähköjunaliikenteeseen siirtymisestä. Samantapainen kehitys on ollut myös hiilivedyillä (HC). Typen oksidien (NO_x) päästöt alenivat 80-luvulla sähköjunien korvatussa dieselkalustoa. Hiukkaspäästöissä kehitys ja kehityksen syyt ovat samat kuin typen oksideissa. Rikkidioksidipäästöjen määrässä on tapahtunut raju lasku polttonesteiden rikkipitoisuuden alenemisen ja sähköntuotannon ominaispäästöjen alenemisen myötä. Hiilidioksidipäästöt (CO₂) ja energiankulutus ovat rataverkon sähköistyksen myötä koko ajan alentuneet. On huomattava, että rataverkon jatkosähköistys vähentäisi merkittävästi useimpien päästöläajien päästömääriä.

Taulukko 6. Suomen rautatieliikenteen päästömäärät 1996.

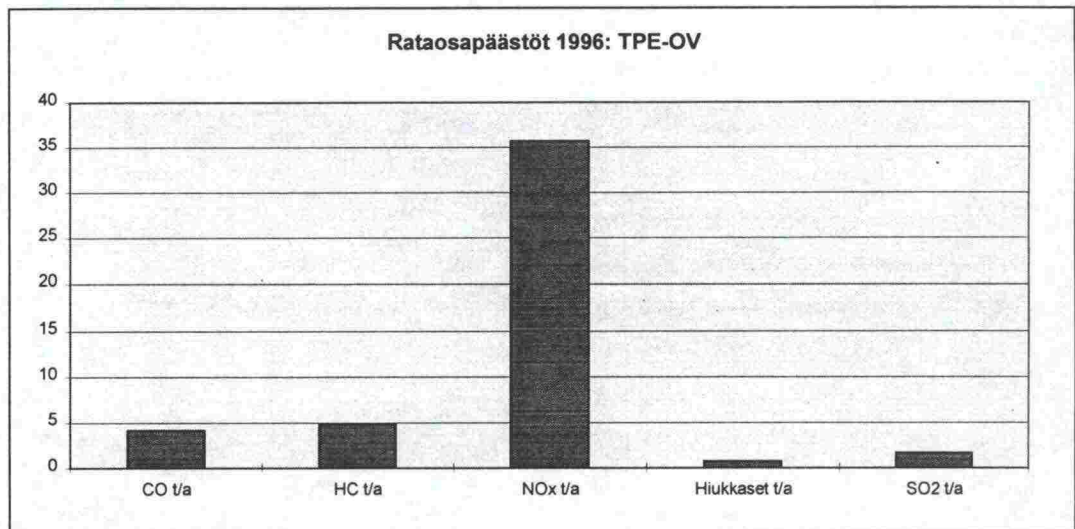
	CO	HC	NO _x	Hiuk- kaset	SO ₂	CO ₂	P.a. kulutus	Energian- kulutus	Sähkönkulu- tus
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	GJ/a	MWh/a
Henkilöliikenne									
Sähköveturit	25.0	3.8	91.8	10.4	80.4	52 599		693 101	192 528
Dieselveturit	93.4	65.8	480.7	12.6	21.2	40 529	9 291	392 061	
Vaihtotyö	5.6	6.7	48.1	0.9	1.1	2 175	686.8	28 985	
Lähiliikenne	21.1	1.8	52.2	5.9	39.6	21 593		323 892	89 970
Yhteensä	145.0	78.1	672.7	29.7	142.3	116 896	9 977	1 438 039	282 498
Tavaraliikenne									
Sähköveturit	18.2	2.8	66.8	7.5	58.5	38 283		502 982	139 717
Dieselveturit	294.2	318	2 287	45.2	53.3	110 115	34 714	1 464 929	
Vaihtotyö	64.4	76.8	552.7	10.3	12.1	25 013	7 899	333 325	
Lähiliikenne	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Yhteensä	378	397	2 906	63.0	123.9	173 410	42 613	2 301 237	139 717
Pelkät veturit									
Sähköveturit	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	45.4		596.7	165.8
Dieselveturit	0.8	1.0	6.8	0.1	0.2	302.5	97.3	4 104	
Yhteensä	0.8	1.0	6.9	0.1	0.2	348	97.3	4 701	165.8
Sähköjunaliikenne	64.3	8.4	210.8	23.8	178.6	112 519		1 520 571	422 381
Dieseljunaliikenne	458.3	468	3 375	69.1	87.8	178 135	52 687	2 223 405	
Yhteensä	523	476	3 586	92.9	266.4	290 654	52 687	3 743 976	422 381

Taulukko 7. Rataosan Tampere-Orivesi päästöt ja energiankulutus.

	CO	HC	NO _x	Hiuk- kaset	SO ₂	CO ₂	P.a. ku- lutus	Energian- kulutus	Sähkön- kulutus
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	GJ/a	MWh/a
Yhteensä	4.1	4.8	35.7	0.7	1.6	2 143.3	480.4	20 272.9	2 093.0



Kuva 5. Valtakunnalliset junaliikenteen päästöt 1996



Kuva 6. Rataosan Tampere-Orivesi junaliikenteen päästöt 1996.

Taulukko 8. Päästöaikasarja 1980-2016

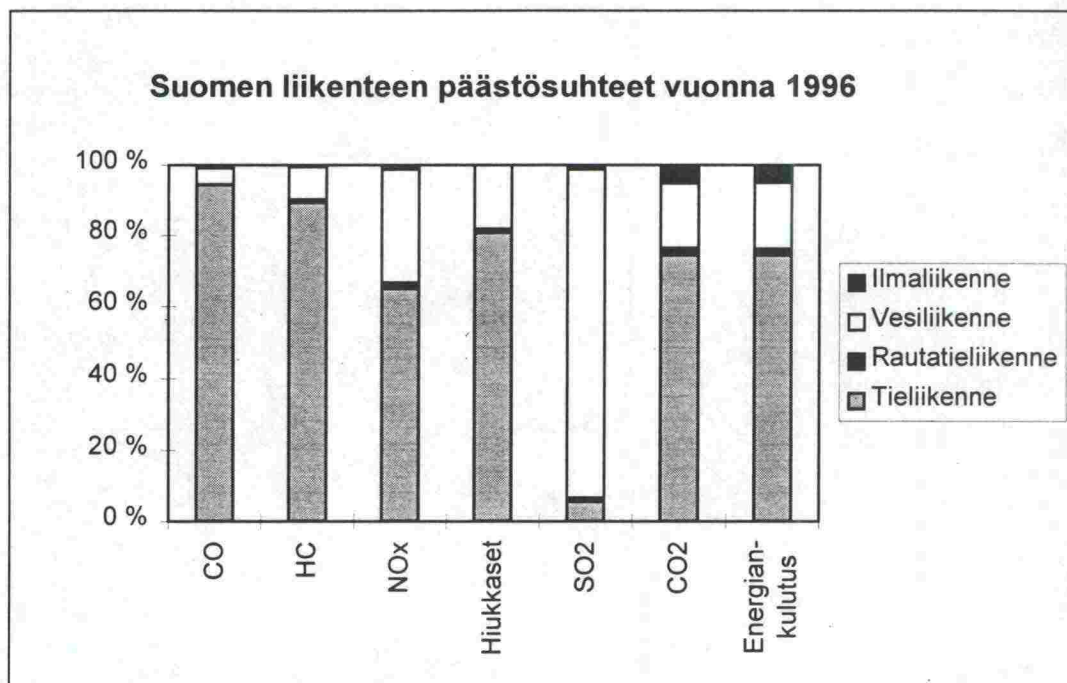
	CO	HC	NO _x	Hiuk- kaset	SO ₂	CO ₂	P.a. kulutus	Energian- kulutus	Sähkönku- lutus
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	GJ/a	MWh/a
1980	802	840	6 339	168	2 608	399 752	86 774	3 661 860	217 600
1981	759	794	5 815	144	1 989	339 167	82 373	3 476 146	252 574
1982	692	721	5 277	131	1 609	307 337	75 152	3 171 421	257 424
1983	661	688	5 038	125	1 335	290 061	71 776	3 028 937	279 828
1984	592	606	4 473	117	1 110	264 745	63 378	2 674 534	306 176
1985	563	571	4 309	119	1 097	272 527	59 938	2 529 368	322 294
1986	488	486	3 662	103	842	233 042	51 538	2 174 913	293 148
1987	537	527	3 994	114	913	260 597	56 465	2 382 809	332 824
1988	562	546	4 140	118	868	270 666	58 851	2 483 507	338 989
1989	515	490	3 723	109	748	246 687	53 334	2 250 694	330 963
1990	540	516	3 930	114	780	263 634	56 402	2 380 178	319 858
1991	561	529	4 066	123	702	280 099	58 076	2 450 800	379 400
1992	578	541	4 100	121	569	271 740	59 935	2 529 264	385 871
1993	592	548	4 145	123	532	284 575	60 865	2 568 522	386 004
1994	609	562	4 243	110	472	311 391	62 478	2 636 566	394 309
1995	566	522	3 893	98	370	281 204	57 708	2 435 273	410 366
1996	523	476	3 586	93	266	290 654	52 687	2 223 405	422 381
1997	555	508	3 815	97	274	303 235	56 252	2 373 833	430 828
1998	552	501	3 730	95	269	299 923	55 818	2 355 520	432 226
1999	544	489	3 622	92	264	295 775	54 827	2 313 683	439 401
2000	540	483	3 550	90	259	292 908	54 455	2 298 000	443 252
2001	529	470	3 429	87	253	287 122	53 185	2 244 401	448 501
2002	533	470	3 403	86	250	287 089	53 619	2 262 715	451 991
2003	538	463	3 342	86	256	290 987	53 185	2 244 401	485 919
2004	542	464	3 313	85	250	289 771	53 619	2 262 715	485 212
2005	539	456	3 236	83	246	287 913	53 185	2 244 401	492 206
2006	531	446	3 142	81	249	289 610	52 163	2 201 275	508 827
2007	528	439	3 065	80	249	290 833	51 729	2 182 961	511 970
2008	531	439	3 035	79	250	294 109	52 163	2 201 275	513 188
2009	528	432	2 957	78	249	294 346	51 729	2 182 961	512 482
2010	528	429	2 903	77	251	297 726	51 729	2 182 961	518 423
2011	528	426	2 875	76	251	296 867	51 729	2 182 961	518 423
2012	528	424	2 848	76	251	296 007	51 729	2 182 961	518 423
2013	528	422	2 820	75	251	295 148	51 729	2 182 961	518 423
2014	528	419	2 793	75	251	294 288	51 729	2 182 961	518 423
2015	528	417	2 765	74	251	293 429	51 729	2 182 961	518 423
2016	528	415	2 738	73	251	292 570	51 729	2 182 961	518 423

5.2 Päästöjen vertailu

Taulukossa 9 ja kuvassa 7 on esitetty eri liikennemuotojen aiheuttamien päästö-
määrien vertailu vuodelta 1996. Tulokset ovat Suomen liikenteen päästöjen las-
kentajärjestelmä LIPASTO 96:sta, johon rautatieliikenteen osuus tuotetaan
RAILI 96 -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 7 on esitetty kuvina Suomen liikenteen aiheuttamien
päästö-
määrien arvioitu kehitys vuodesta 1980 vuoteen 2016.

Taulukko 9. Suomen liikenteen päästöt ja energiankulutus 1996 (ilmaliikenteen
hiukkaspäästöt puuttuvat).

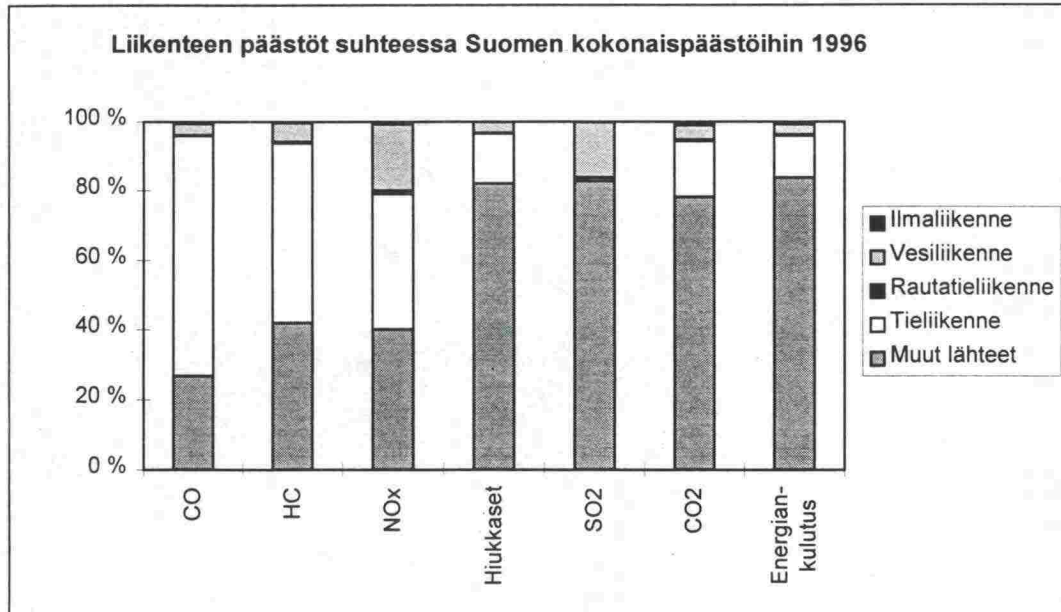
	CO t/a	HC t/a	NOx t/a	Hiukkaset t/a	SO2 t/a	CO2 t/a	Energian kulutus MJ/a
Tieliikenne	295 514	49 012	127 037	7 557	1 175	10 300 791	141 060 829 630
Rautatieliikenne	523	476	3 586	93	266	290 654	3 743 976 296
Vesiliikenne	14 214	5 145	62 513	1 702	19 619	2 533 861	34 936 045 700
Ilmaliikenne	2 774	317	2 495	0	271	728 281	9 788 698 774
Yhteensä	313 025	54 949	195 630	9 351	21 332	13 853 586	189 529 550 400



Kuva 7. Suomen liikenteen päästöt 1996. Eri liikennemuotojen osuus päästöistä
ja energiankulutuksesta (%) (ilmaliikenteen hiukkaspäästötiedot puut-
tavat).

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 noin puolet, kun taas rikkidioksidissa 17 %. Vaikka vesiliikenteen rikkidioksidipäästöt ovat liikenteen päästöjen joukossa runsaat, 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. Myös sähköjunaliikenteen käyttämän sähköenergian aiheuttamat päästöt lasketaan yleensä sähköntuotannon päästöiksi ja varsinaisiksi rautatieliikenteen päästöiksi jäävät siten vain dieseljunaliikenteen aiheuttamat päästöt.

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

Suomen liikenteen päästöt vuonna 1996 IPCC:n suosituksen mukaisella jaottelulla [t]							
	CO	HC	NOx	Hiuk- kaset	SO ₂	CO ₂	Energian- kulutus [TJ]
Tieliikenne	295 514	49 012	127 037	7 557	1 175	10 300 791	141 061
Rautatieliikenne ⁽¹⁾	458	468	3 375	69	88	178 135	2 223
Vesiliikenne ⁽²⁾	11 110	3 697	6 878	339	1 511	327 917	5 288
Ilmaliikenne ⁽³⁾	2 183	112	906	0 ⁽⁴⁾	104	276 067	3 710
KOTIMAAN LIIKENNE YHT.	309 266	53 289	138 195	7 965	2 878	11 082 910	152 283
Rautateiden sähköliikenne ⁽⁵⁾	64	8	211	24	179	112 519	1 521
Vesiliikenteen ulkomaanliikenne	3 102	1 448	55 634	1 364	18 039	2 205 911	29 647
Ilmaliikenteen ulkomaanliikenne	591	180	1 583	0 ⁽⁴⁾	167	446 614	6 000
KAIKKI YHTEENSÄ	313 024	54 926	195 623	9 353	21 263	13 847 954	189 450
⁽¹⁾ Ei sähköjunaliikennettä							
⁽²⁾ Sisältää kotimaan kauppamerenkulun lisäksi jäänmurtaajat, kalastusalukset, työvenet ja huviveneet							
⁽³⁾ Sisältää kotimaan liikenteen.							
⁽⁴⁾ Tieto puuttuu							
⁽⁵⁾ IPCC:n luokituksessa rautateiden sähköjunien päästöt lasketaan osaksi sähköntuotantoa eivätkä ne näin ollen kuulu liikenteen päästöihin.							
Muut Suomen päästölähteet							
	CO	HC	NOx	Hiuk- kaset	SO ₂	CO ₂	Energian- kulutus [TJ]
Muut lähteet	115 000	40 000	131 300	43 000	102 400	49 900 000	982 033
⁽¹⁾ Sisältää polttoaineet, siten mukana eivät ole ydin-, vesi-, tuulivoima, sähkön nettotuonti eikä teollisuuden reaktioliämpö							
Lähde: Tilastokeskus							

6. YHTEENVETO

RAILI 96 -laskentajärjestelmä

Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä RAILI 96 on ensimmäinen vuosittain päivitettävä rautatieliikenteen laskentamalli Suomessa. RAILI 96 -projekti kuului osana LIPASTO 96 -projektiin, jossa selvitetään kaikkien liikennemuotojen päästöt Suomessa.

Malli laskee rautatieliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna 1996. 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 2016.

RAILI 96 -laskentajärjestelmän perustan muodostavat rataosa- ja ratapihakohtaiset liikennöinti- ja energiankulutustiedot. 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 96 -järjestelmä on tarkoitettu lähinnä liikenneministeriön, Ratahallintokeskuksen ja VTT:n käyttöön. Tietoa LIPASTO 96 ja RAILI 96 -laskentajärjestelmistä on nähtävissä VTT Yhdyskuntatekniikan Web sivulla: <http://www.vtt.fi/yki/lipasto>.

Laskentatulokset

Suomen rautatieliikenteen aiheuttamat päästöt vuonna 1996 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 523 tonnia, hiilivetyjä (HC) 476 tonnia, typen oksideja (NO_x) 3 590 tonnia, hiukkasia 93 tonnia, rikkidioksidia (SO₂) 266 tonnia ja hiilidioksidia (CO₂) 291 000 tonnia. Kevyttä polttoöljyä kulutettiin yhteensä noin 52.7 milj. kg ja sähköenergiaa 422 miljoonaa kWh. Vedettyjen bruttotonnikilometrien kokonaisuus oli 24 846 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 dieselvetoisen junaliikenteen päästöjen vertailun tekee vaikeaksi se, että sähköjunaliikenteen päästöt eivät synny paikan päällä, siis rataosilla, vaan sähköntuotannon yhteydessä voimalaitoksissa.

Taulukko 11. Suomen rautatieliikenteen päästöt 1996.

	CO	HC	NO _x	Hiuk- kaset	SO ₂	CO ₂	P.a. ku- lutus	Energian- kulutus	Sähkön- kulutus
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	GJ/a	MWh/a
Sähköjuna liikenne	64.3	8.4	210.8	23.8	178.6	112 519.3		1 520 571.3	422 380.9
Dieseljuna liikenne	458.3	467.7	3 375.0	69.1	87.8	178 134.7	52 687.3	2 223 405.0	
Yhteensä	522.6	476.1	3 585.8	92.9	266.4	290 654.0	52 687.3	3 743 976.3	422 380.9

Rautatieliikenteen päästöjen kehityksessä ei näyttäisi tulevaisuudessa tapahtuvan suuria muutoksia nykyhetkeen verrattuna, vaikka liikennemäärät lisääntyvätkin. Rikkidioksidin, hiilimonoksidin sekä hiilidioksidin vuotuiset päästömäärät pysyvät ennusteen mukaan noin vuoden 1996 tasolla vuoteen 2016 asti, hiilivetyjen, hiukkasten ja typen oksidien määrät näyttäisivät hiukan kasvavan, mutta eivät merkittävästi. On huomattava, että rataverkon jatkosähköistys vähentäisi merkittävästi useimpien päästölajien päästömääriä.

LÄHDELUETTELO

IVO, Ympäristönsuojeluosasto. Heikkinen A. Kirjallinen tiedonanto 1997.

Jørgensen Morten W., Sorenson Spencer C. 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.

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

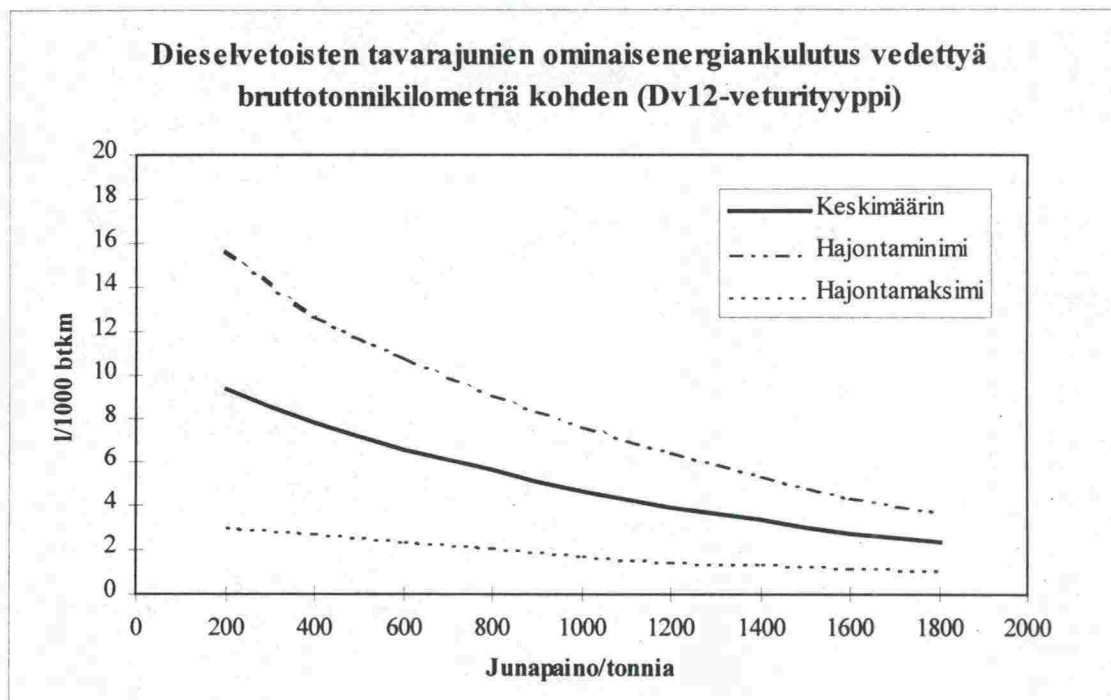
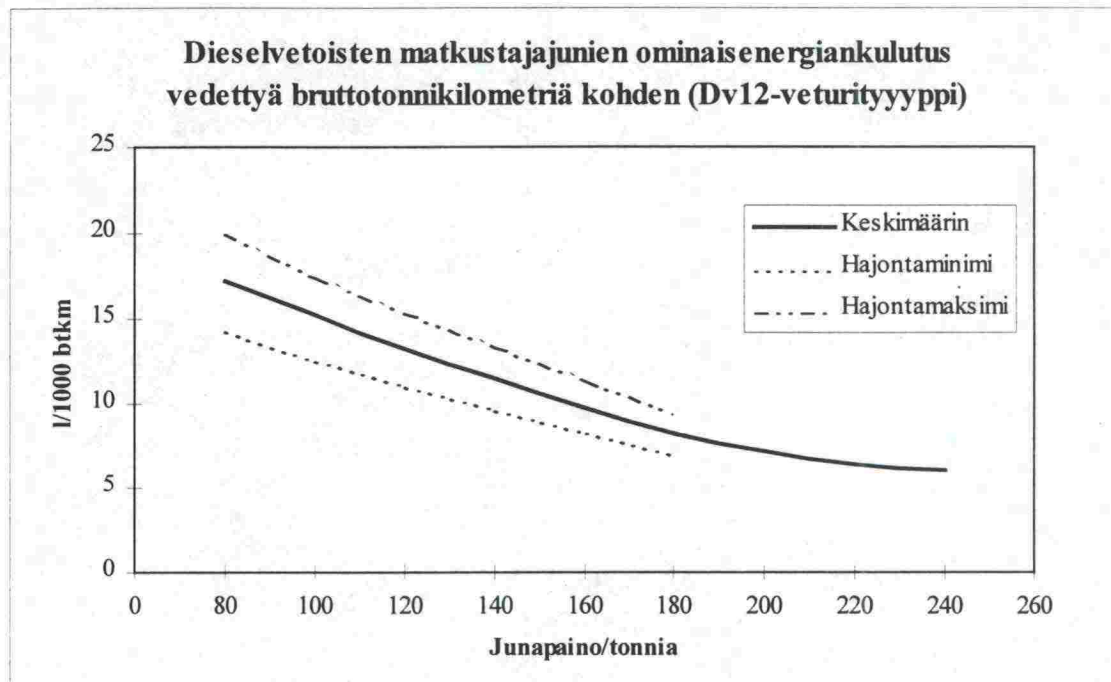
Pussinen Jyrki. Rautatieliikenteen energiankulutus ja päästöt Suomessa. Diplomityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Rakennustekniikan osasto. Liikenne- ja kuljetustekniikka. Tampere 1997. 96 s.+ liitt.

Suomen Rautatietilasto 1995-1996. Ratahallintokeskus. Helsinki 1996.

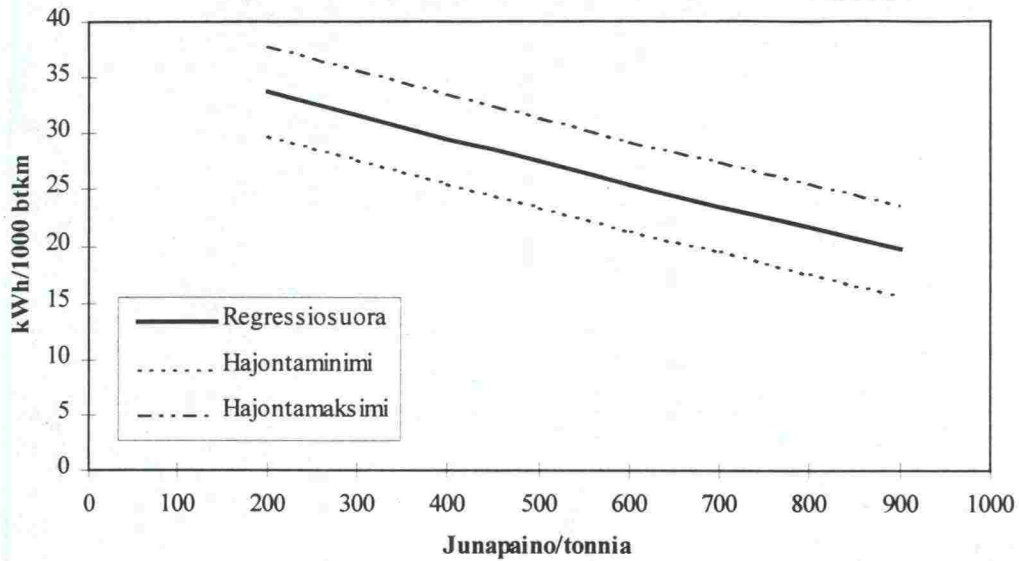
Thune-Larsen Harald, Madslien Anne, Lindfjord Jan Erik. Energieffektivitet og utslipp I transport. Transportøkonomisk institutt. Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning. TÖI notat 1078/1997. 32s. + liitt.

Liite 1. Ominaisenergiankulutuskäyrät

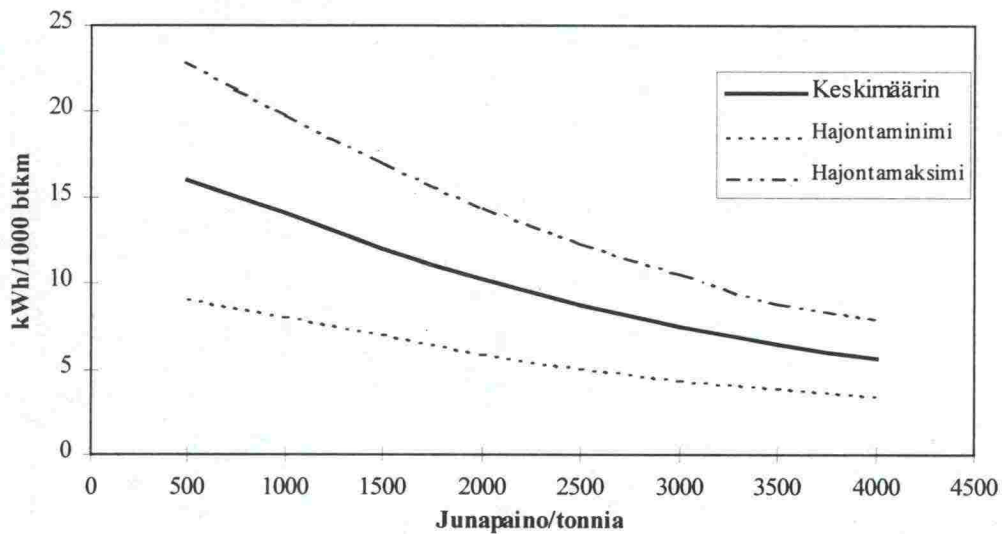
Ohessa on esitetty käyrät ominaisenergiankulutuksen määrittämiseksi dieselvetoisille matkustaja- ja tavarajunille sekä sähkövetoisille matkustaja- ja tavarajunille junapainon perusteella. Ominaisenergiankulutus määritetään vedettyä bruttotonnikilometriä kohti (Pussinen 1997).



Sähköveitoisten matkustajajunien ominaisenergiankulutus vedettyä bruttotonnikilometriä kohden (Sr1-veturityyppi)

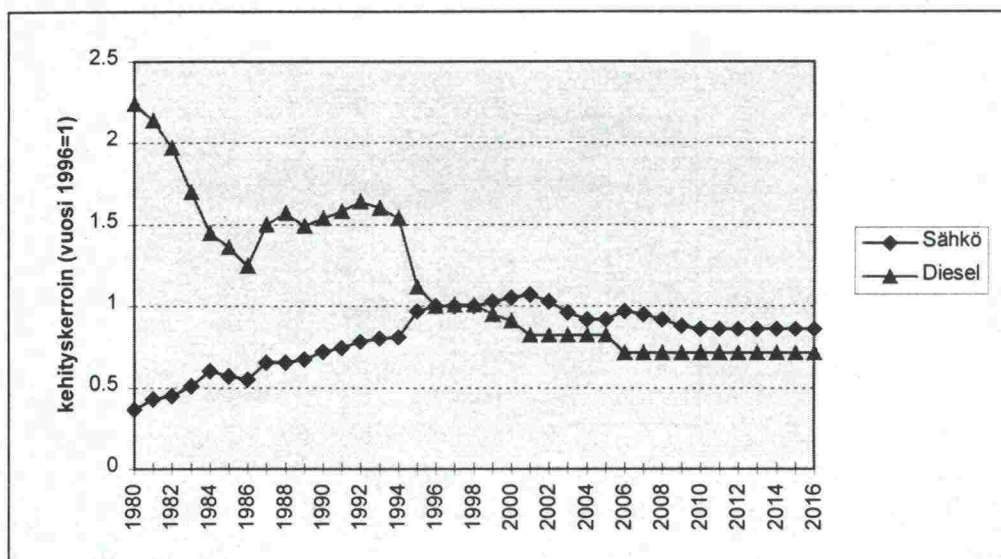


Sähköveitoisten tavarajunien ominaisenergiankulutus vedettyä bruttotonnikilometriä kohden (Sr1-veturityyppi)

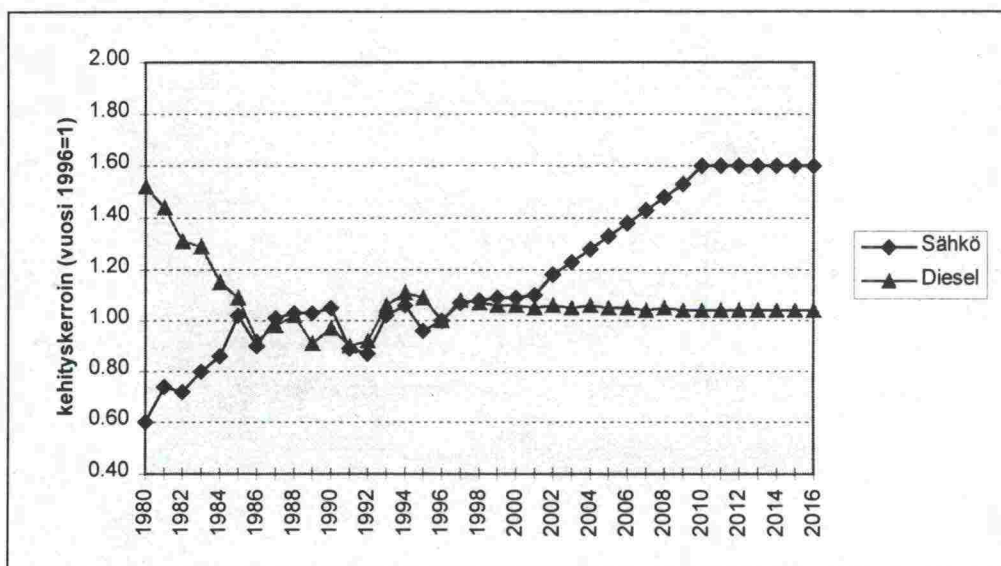


Liite 2. Rautatieliikenteen suoritteiden kehityskertoimet

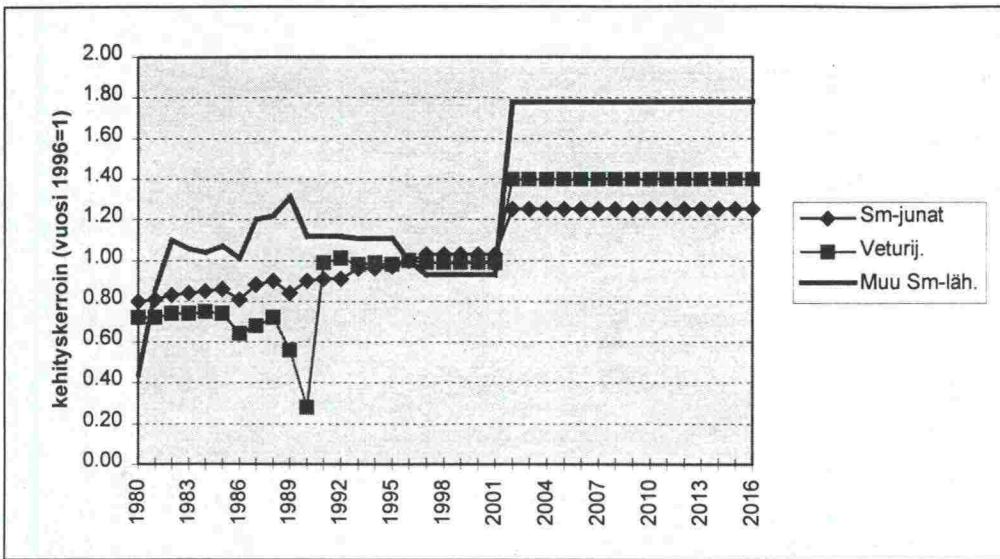
Rautatieliikenteen suoritteiden (vedetyt bruttotonnikilometrit) kehityskertoimet on esitetty erikseen sähkö- ja dieselvetoiselle henkilöliikenteelle (kuva 1), sähkö- ja dieselvetoiselle tavaraliikenteelle (kuva 2) sekä lähiliikenteelle (kuva 3). Lähiliikenteessä on kehityskertoimet pääkaupunkiseudun Sm-junaliikenteelle, pääkaupunkiseudun veturijunaliikenteelle, sekä muun Suomen Sm-junaliikenteelle. Lisäksi Sm3-moottorijunan (Pendolino-juna) suoritteiden kasvulle on esitetty oma kehityksensä (kuva 4), koska sen yhdistäminen muuhun sähköjunaliikenteeseen olisi mahdotonta suoritteiden suuren kasvuennusteen vuoksi. Perusvuoden 1996 arvo on 1.0. Ratapihojen suoritteet (vaihtotyöt) sisältyvät kehitysennusteisiin. Ennusteet perustuvat VR:n ja Ratahallintokeskuksen arvioihin.



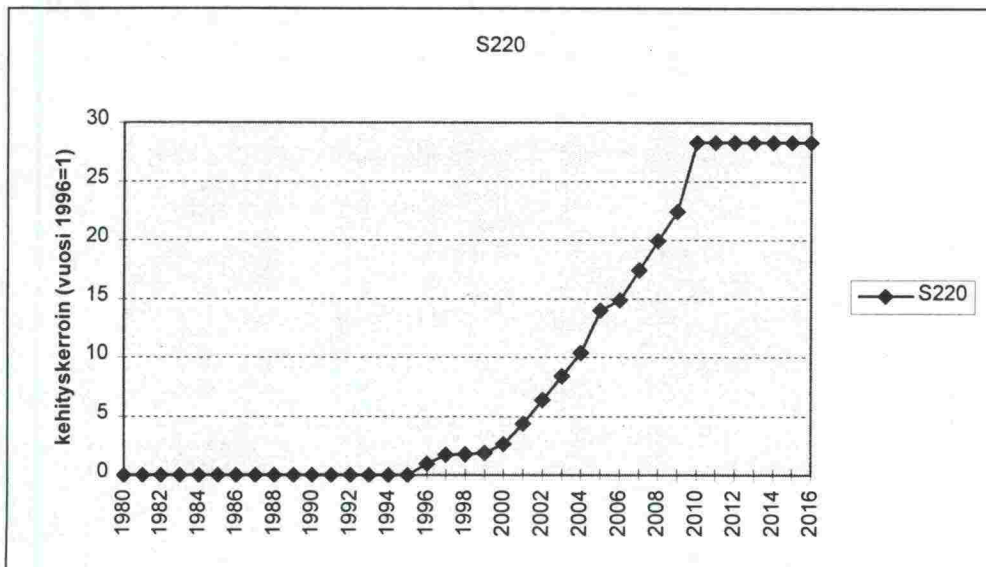
Liite 2 kuva 1. Veturivetoisen henkilöliikenteen suoritteiden (vedetyt bruttotonnikilometrit) kehityskertoimet.



Liite 2 kuva 2. Tavaraliikenteen suoritteiden (vedetyt bruttotonnikilometrit) kehityskertoimet.



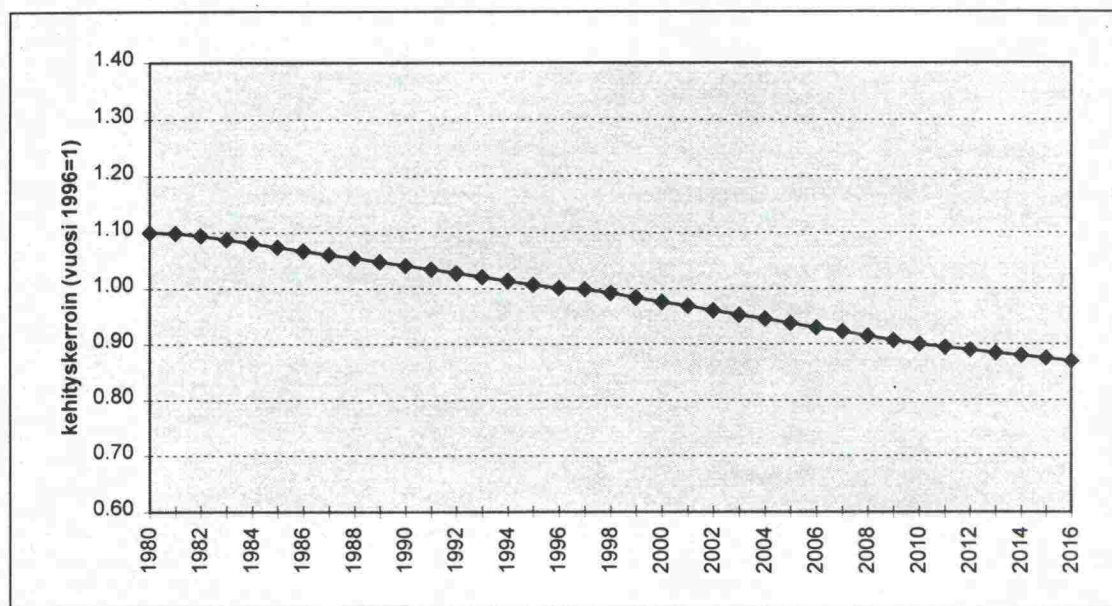
Liite 2 kuva 3. Lähiliikenteen suoritteiden (junayksikkö-/junakilometrit) kehityskertoimet.



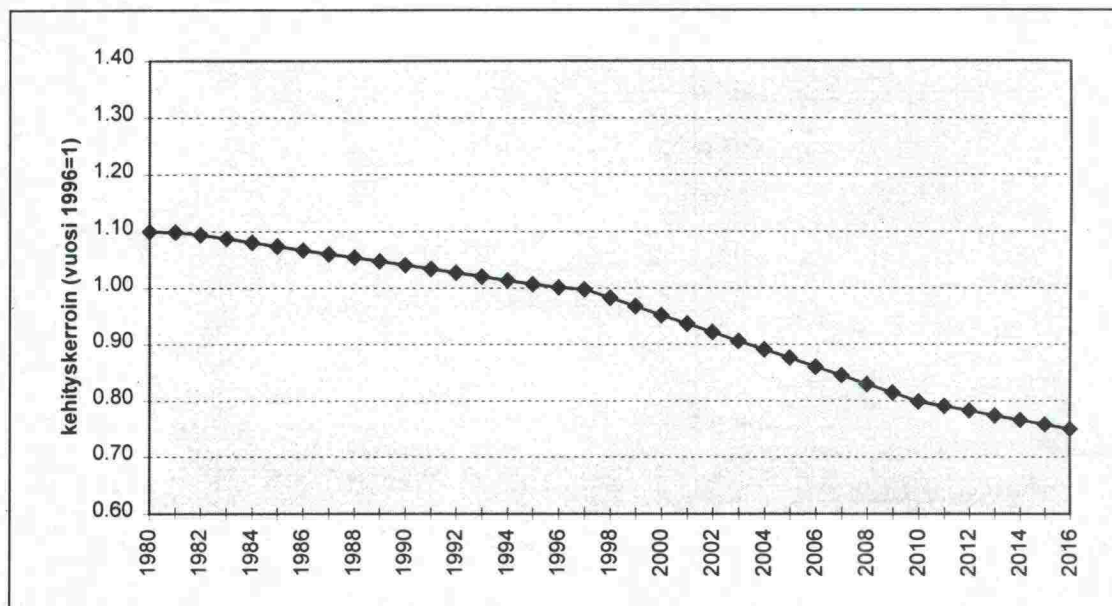
Liite 2 kuva 4. Pendolino-junan suoritteiden (junakilometrit) kehityskertoimet.

Liite 3. Päästökerrointen kehityskertoimet.

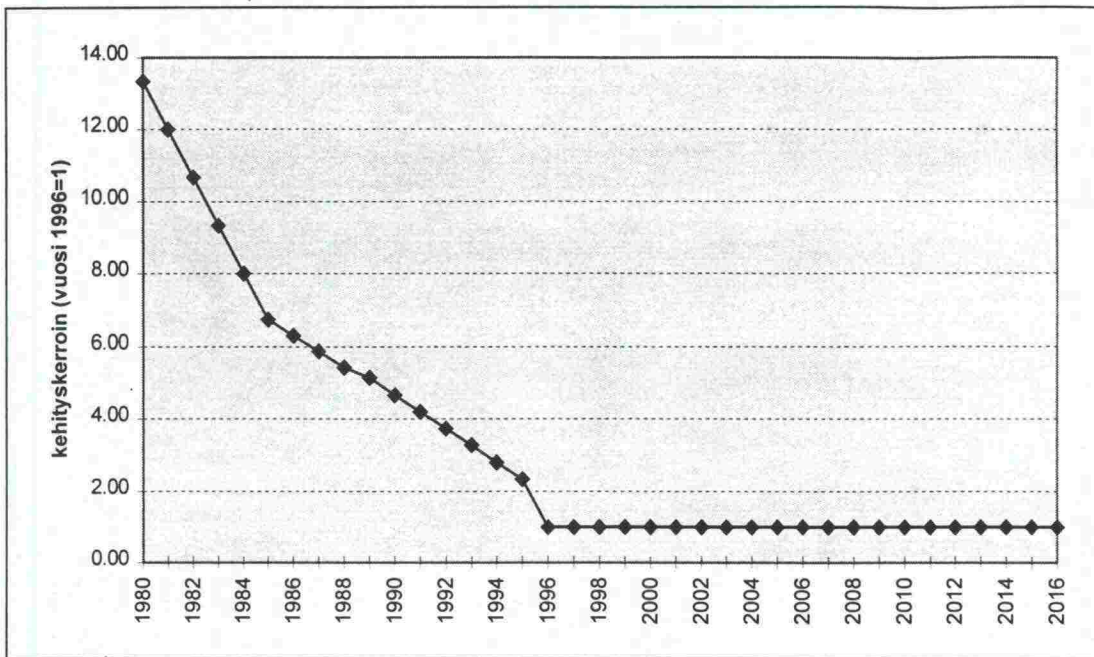
Seuraavassa on esitetty päästökerrointen kehitystä kuvaavat luvut seuraavista yhdisteistä: hiilimonoksidi (CO), vain sähköntuotanto, dieselmoottoreilla kertoimena on käytetty lukua 1), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiilidioksidi (SO_2), hiukkaset ja rikkidioksidi (CO_2). Kehityskertoimet on määritetty erikseen diesel- ja sähköjuni liikenteelle. Lähteenä on käytetty koti- ja ulkomaisia tutkimuksia sekä asiantuntija-arvioita (Thune-Larsen et al 1997, IVO 1997).



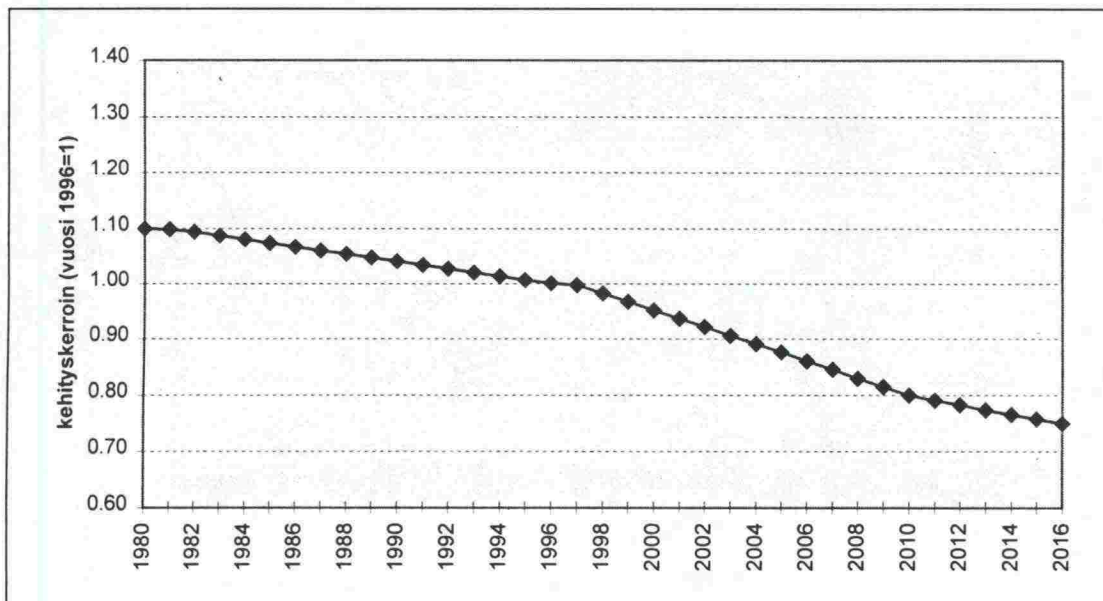
Liite 3 kuva 1. Dieseljuni liikenne, hiilivetyjen (HC) kehityskerroin.



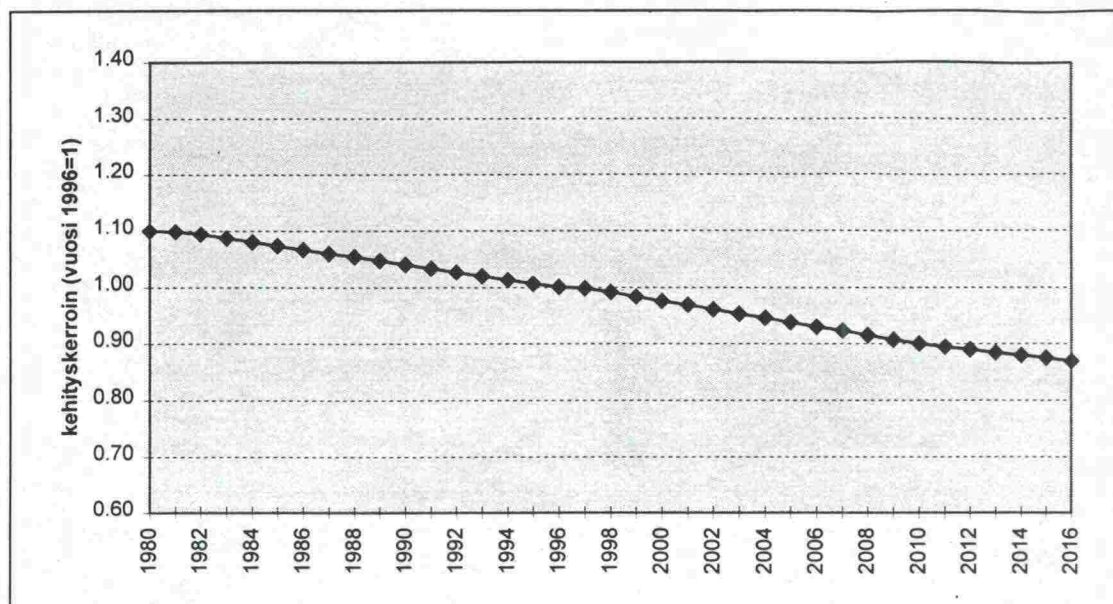
Liite 3 kuva 2. Dieseljuni liikenne, typen oksidien (NO_x) kehityskerroin.



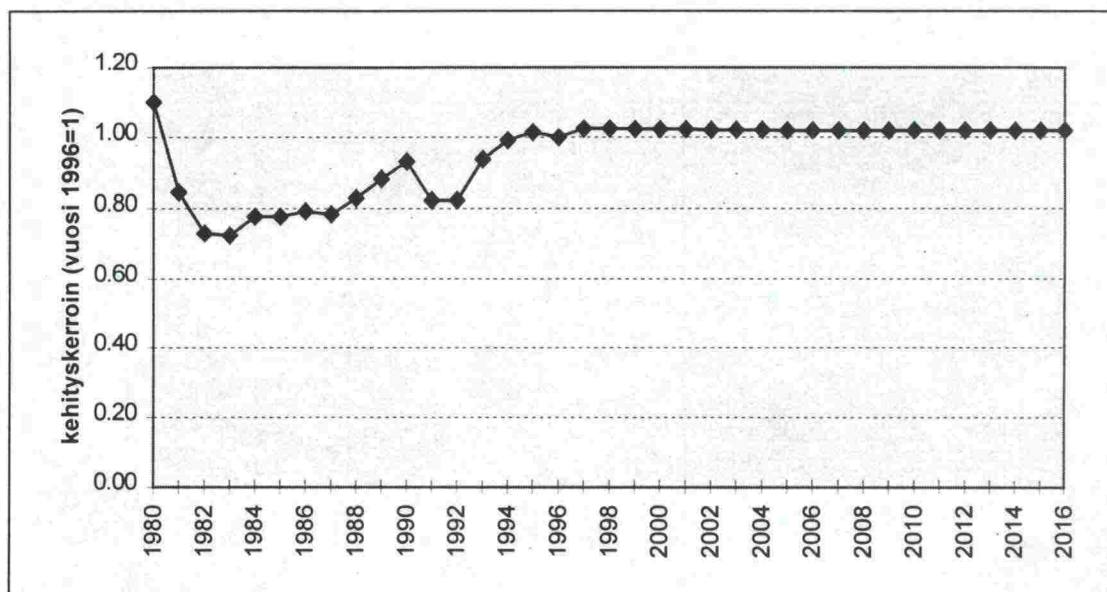
Liite 3 kuva 3. Dieseljunaliiikenne, rikkidioksidin (SO₂) kehityskerroin.



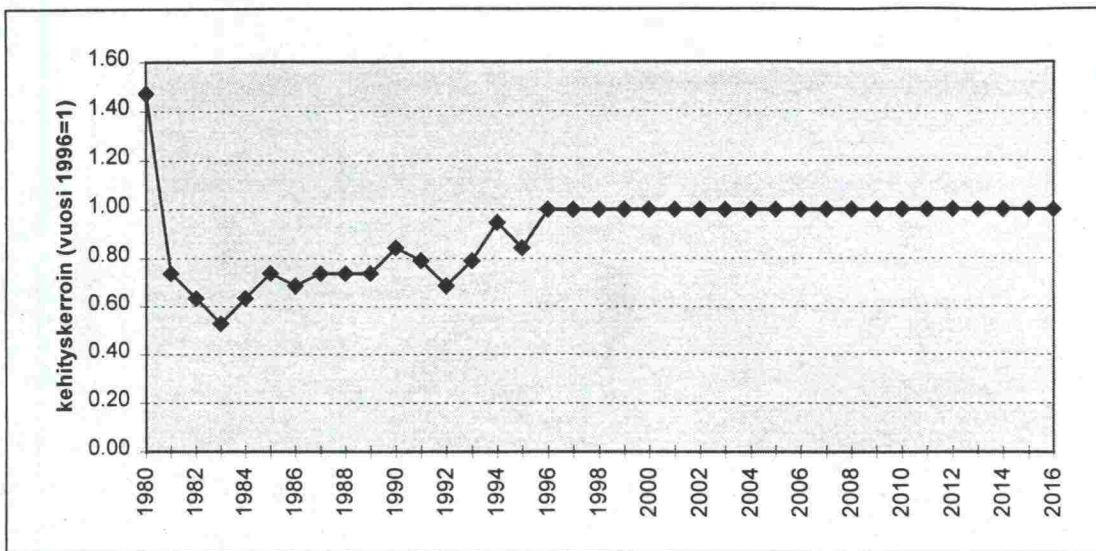
Liite 3 kuva 4. Dieseljunaliiikenne, hiukkasten kehityskerroin.



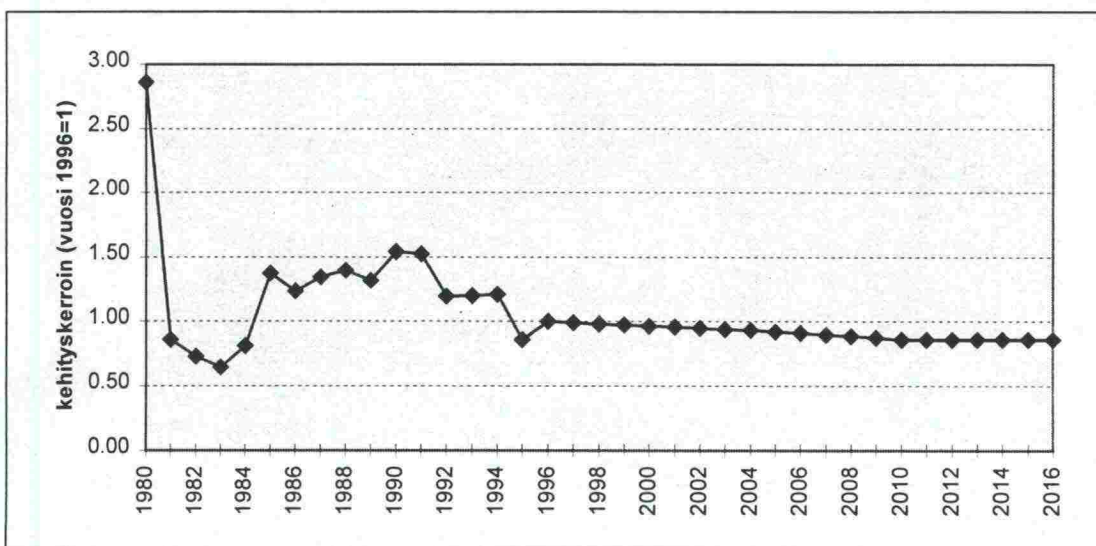
Liite 3 kuva 5. Dieseljuna liikenne, hiilidioksidin (CO₂) kehityskerroin.



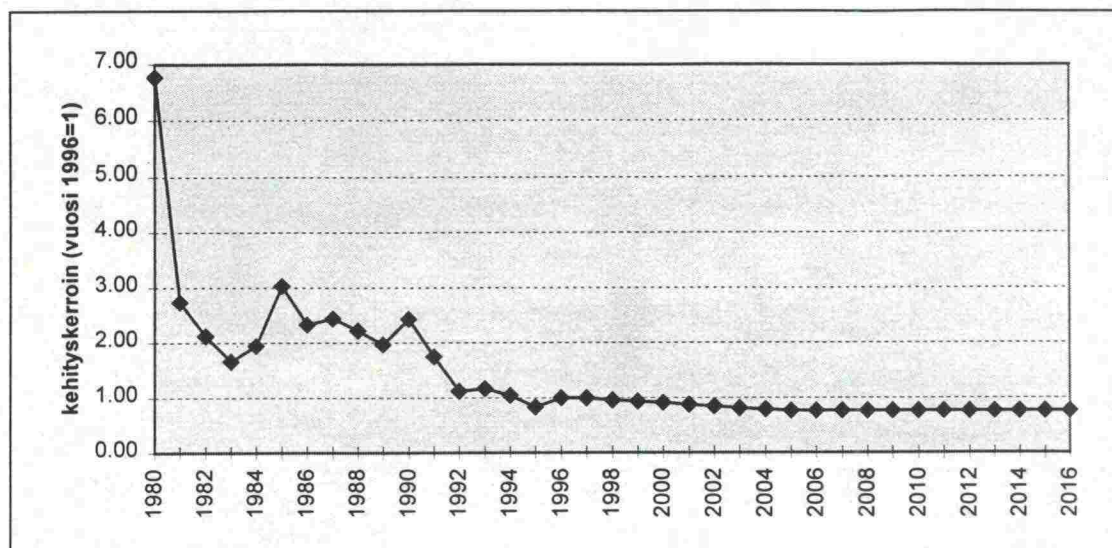
Liite 3 kuva 6. Sähköjuna liikenne, hiilimonoksidin (CO) kehityskerroin.



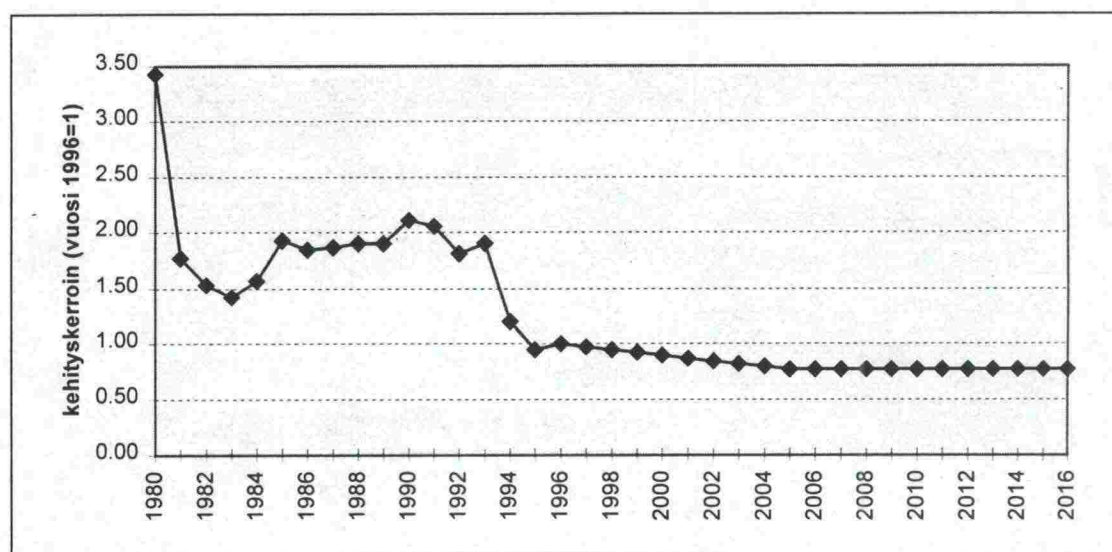
Liite 3 kuva 7. Sähköjuna liikenne, hiilivetyjen (HC) kehityskerroin.



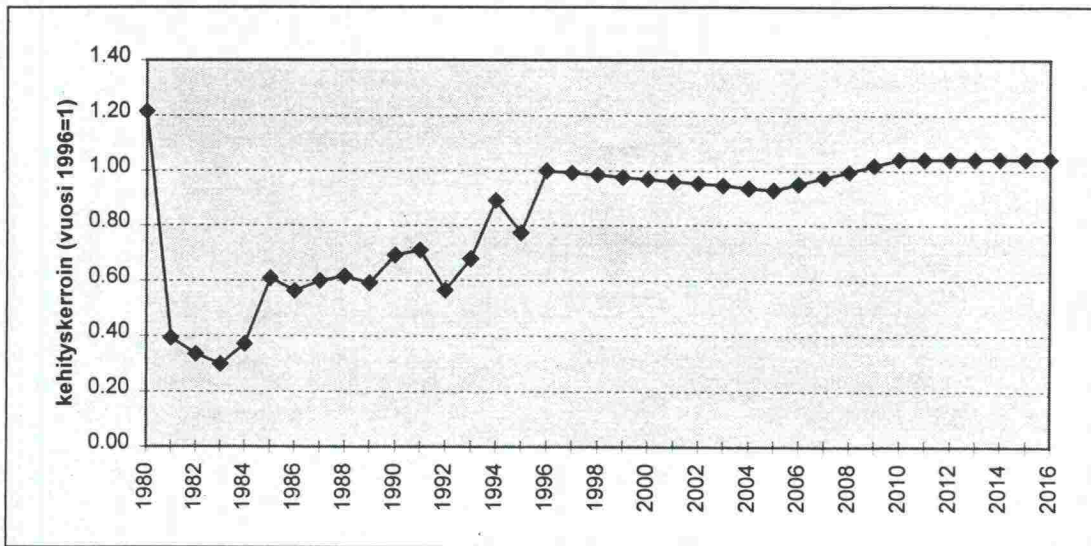
Liite 3 kuva 8. Sähköjuna liikenne, typen oksidien (NO_x) kehityskerroin.



Liite 3 kuva 9. Sähköjunaliikenne, rikkidioksidin (SO₂) kehityskerroin.



Liite 3 kuva 10. Sähköjunaliikenne, hiukkasten kehityskerroin.

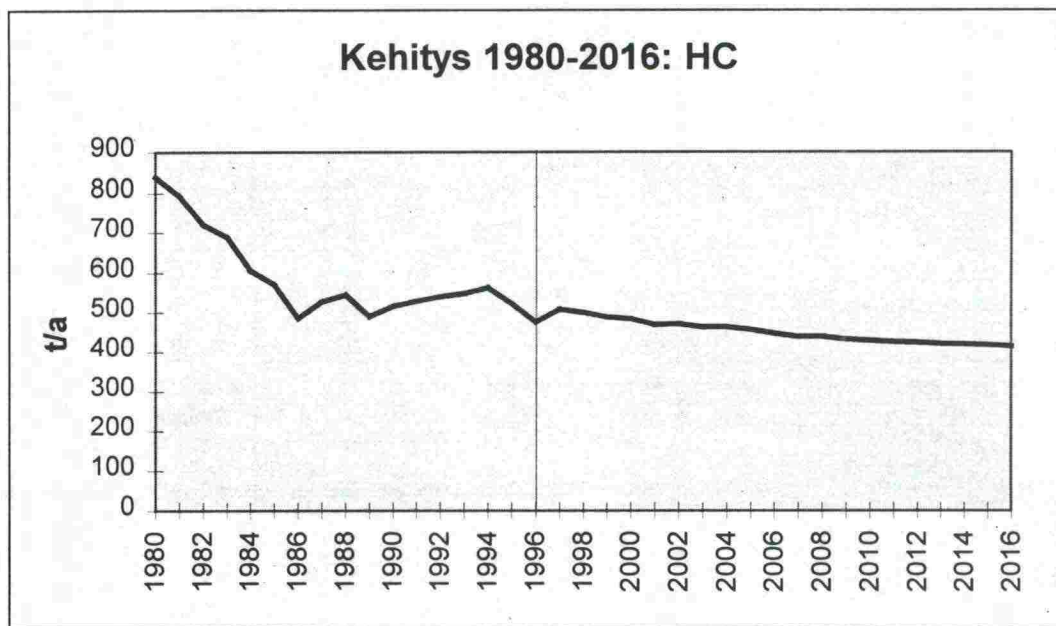
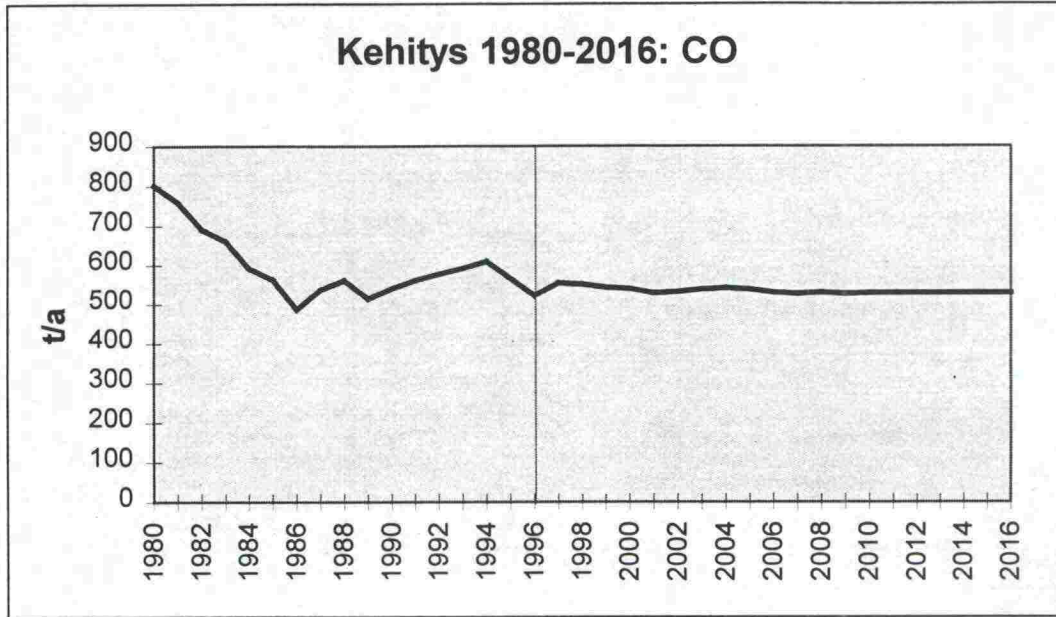


Liite 3 kuva 11. Sähköjuna liikenne, hiilidioksidin (CO₂) kehityskerroin.

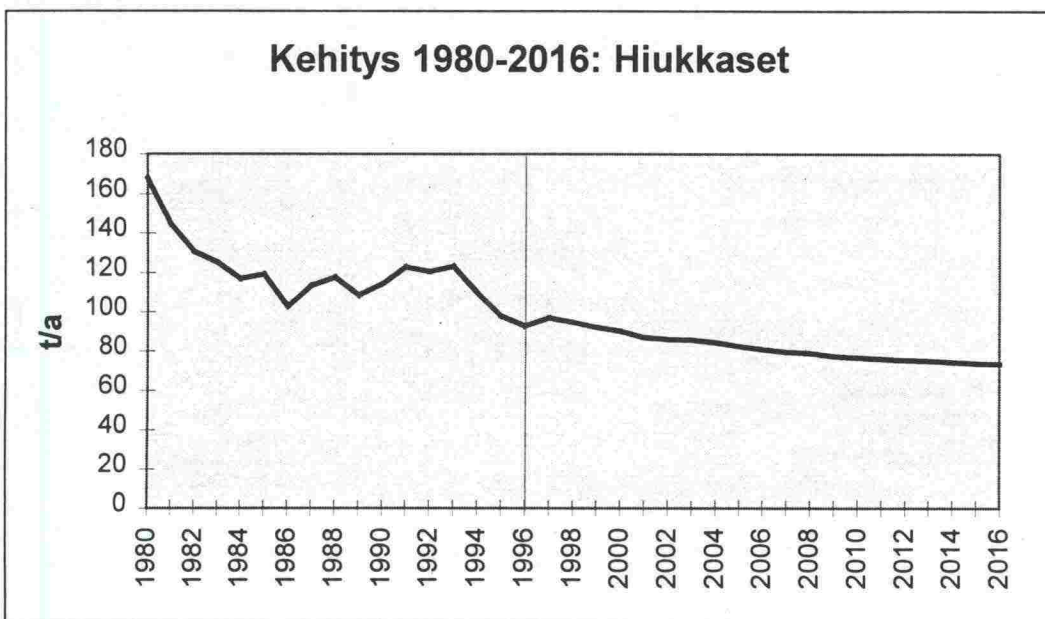
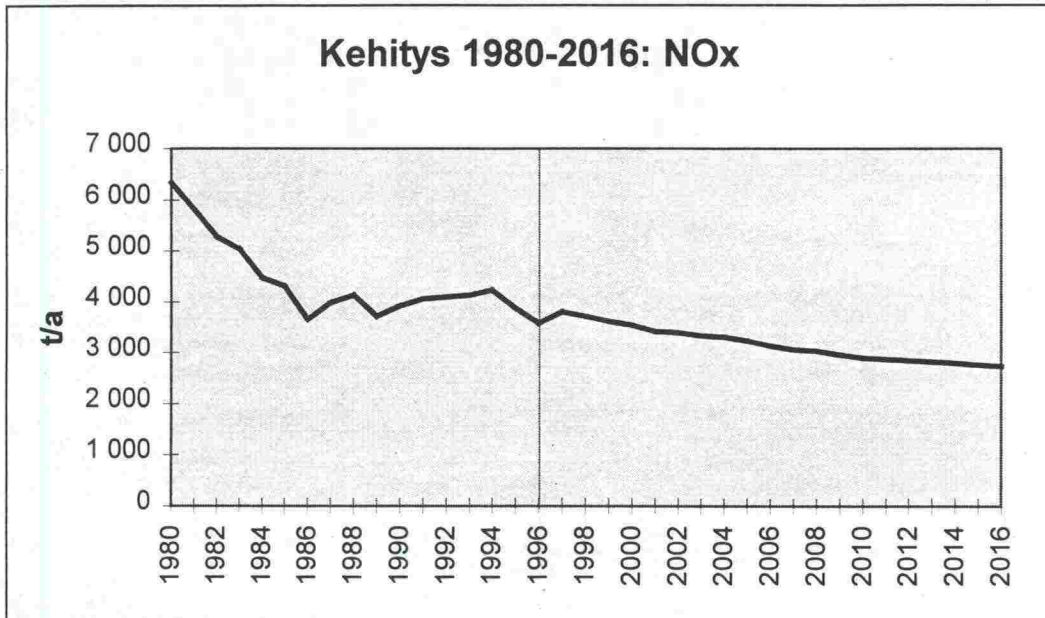
Liite 5. Päästökertoimien määrittely.

NO_x					RAILI
Moottorityyppi	RHK	MEET	USA	Ruotsi	
	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}
MGO+muut	72				72
Pielstick	18				18
keskim.		53	40-56	20	
CO					
Moottorityyppi	RHK	MEET	USA	Ruotsi	
	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}
MGO+muut	8				8
Pielstick	12				12
keskim.		22	7.9-22	22	
CO₂					
Moottorityyppi	RHK	MEET	USA	Ruotsi	
	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}
MGO+muut	3167				3167
Pielstick	3167				3167
keskim.		3180		3253	
HC					
Moottorityyppi	RHK	MEET	USA	Ruotsi	
	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}
MGO+muut	10				10
Pielstick	2.5				2.5
keskim.		11	3.4-18	1.9	
PM					
Moottorityyppi	RHK	MEET	USA	Ruotsi	
	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}	g/kg _{pa}
MGO+muut	1.3				1.3
Pielstick	1.3				1.3
keskim.		3			

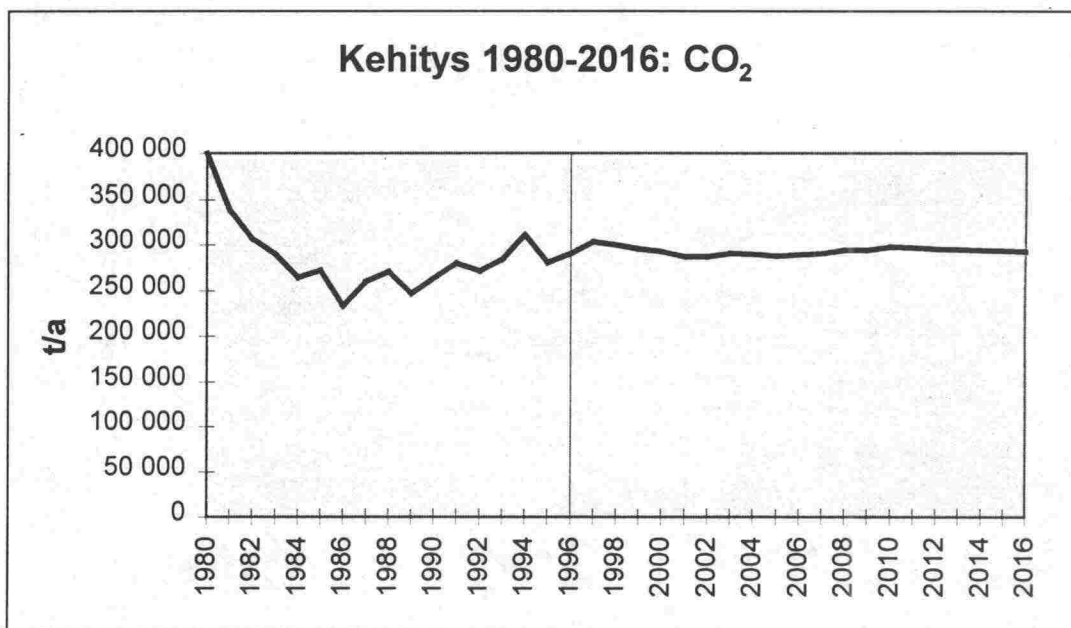
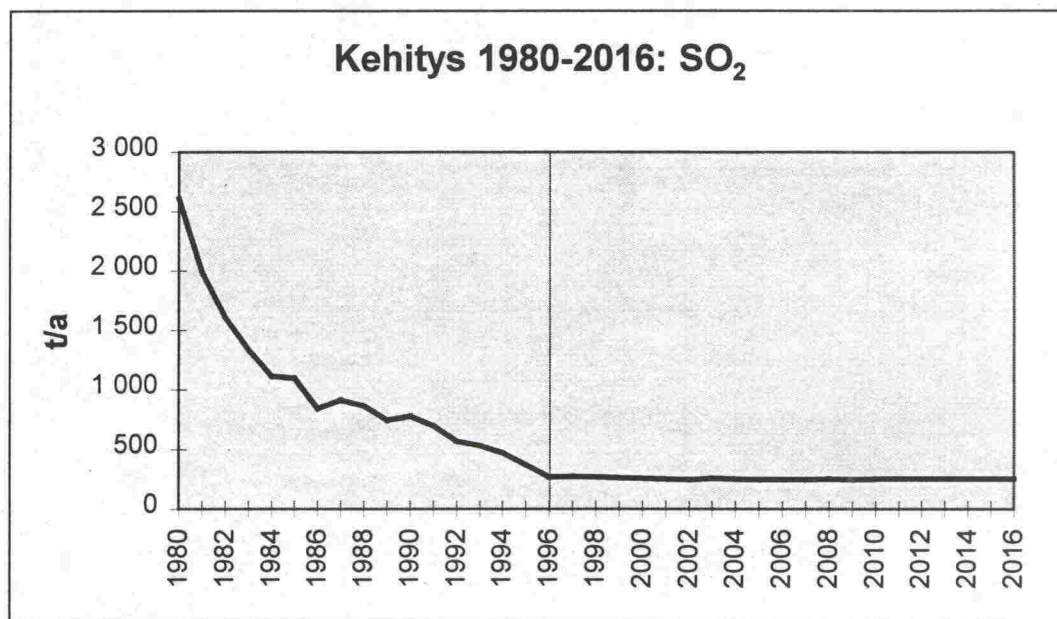
Liite 6. Rautatieliikenteen päästöjen kehitys RAILI 96 -laskentajärjestelmän mukaan



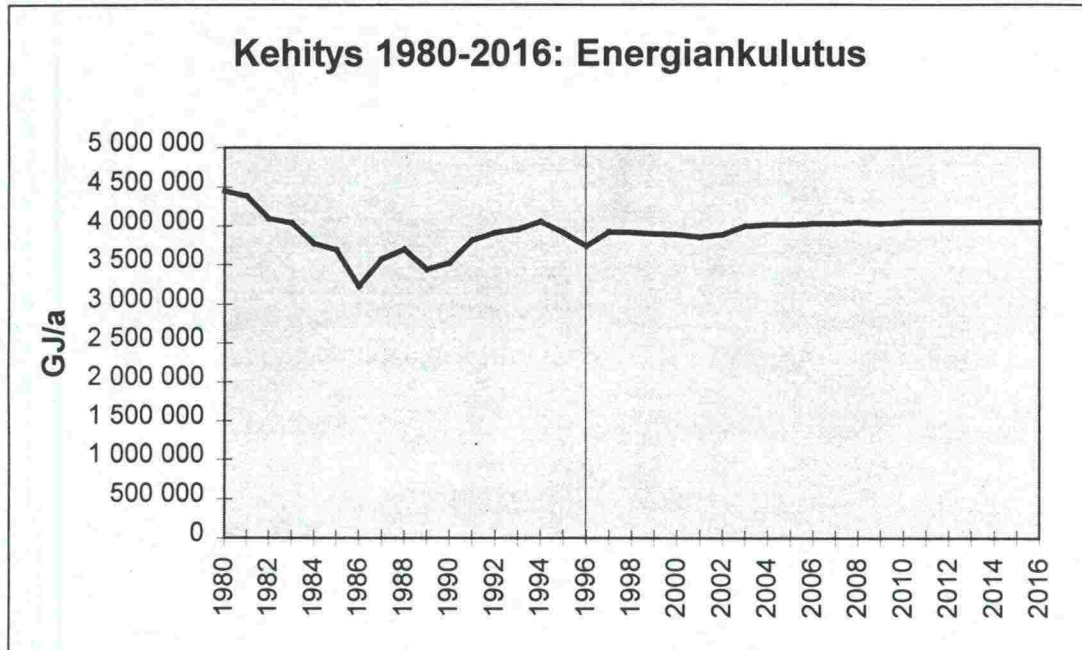
Rautatieliikenteen päästöjen kehitys RAILI 96 -laskentajärjestelmän mukaan

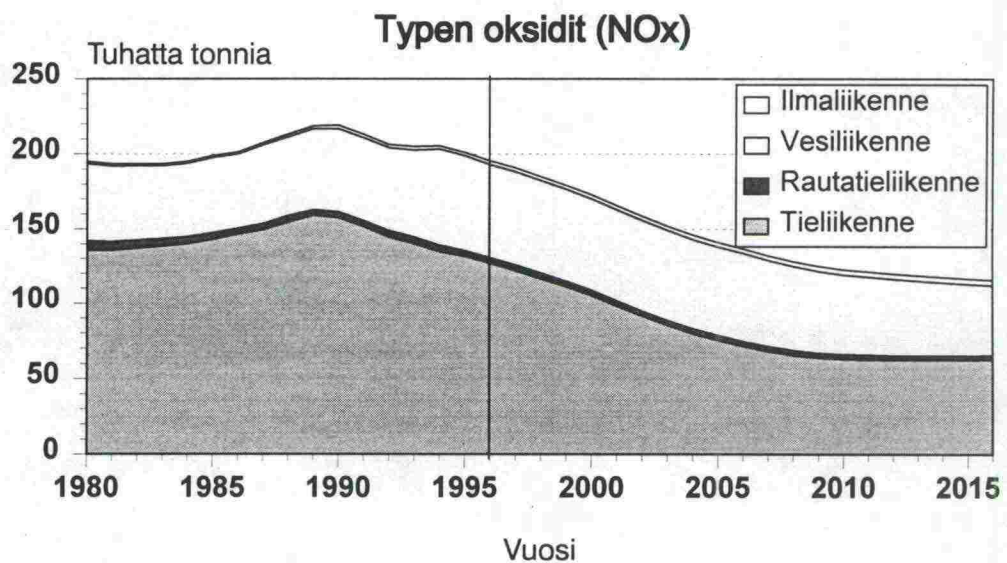
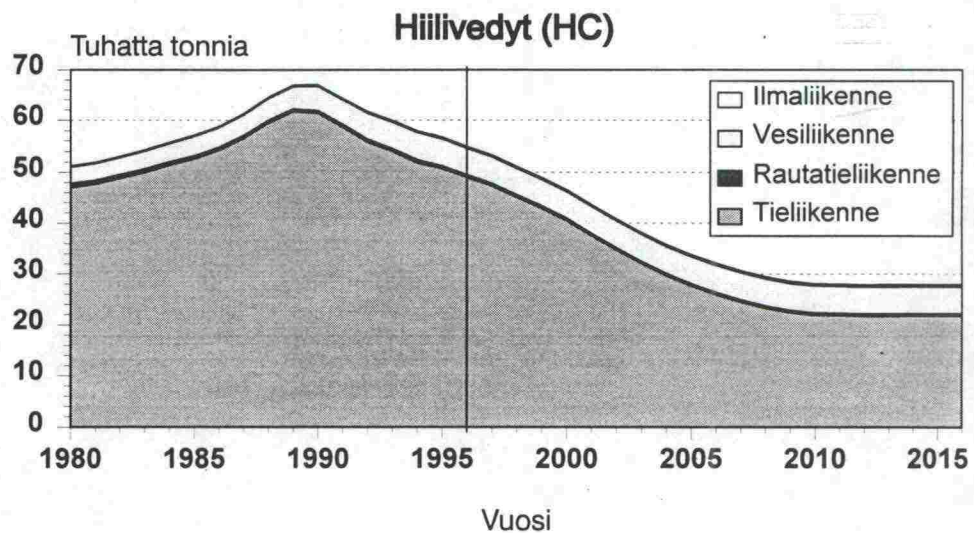
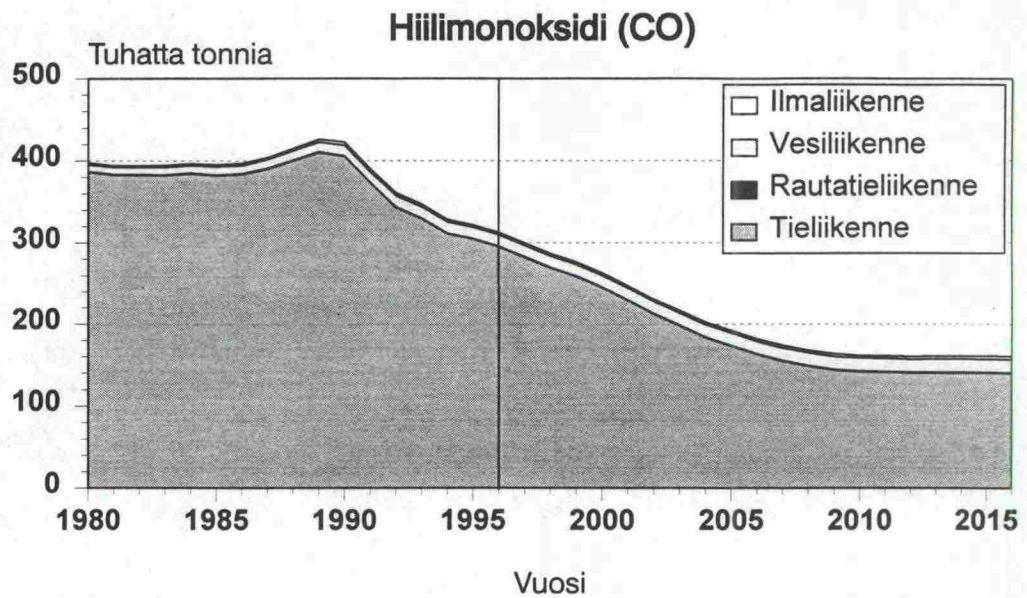


Rautatieliikenteen päästöjen kehitys RAILI 96 -laskentajärjestelmän mukaan

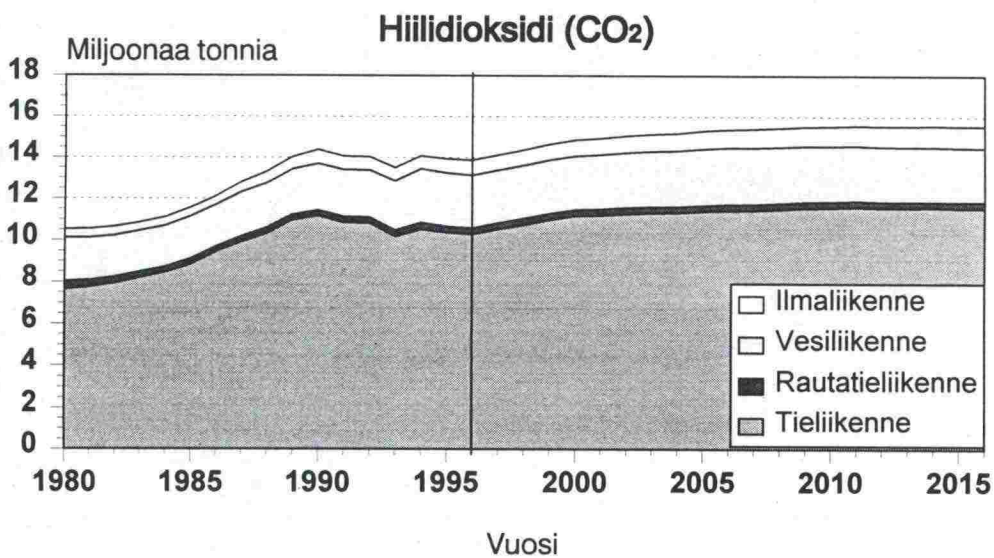
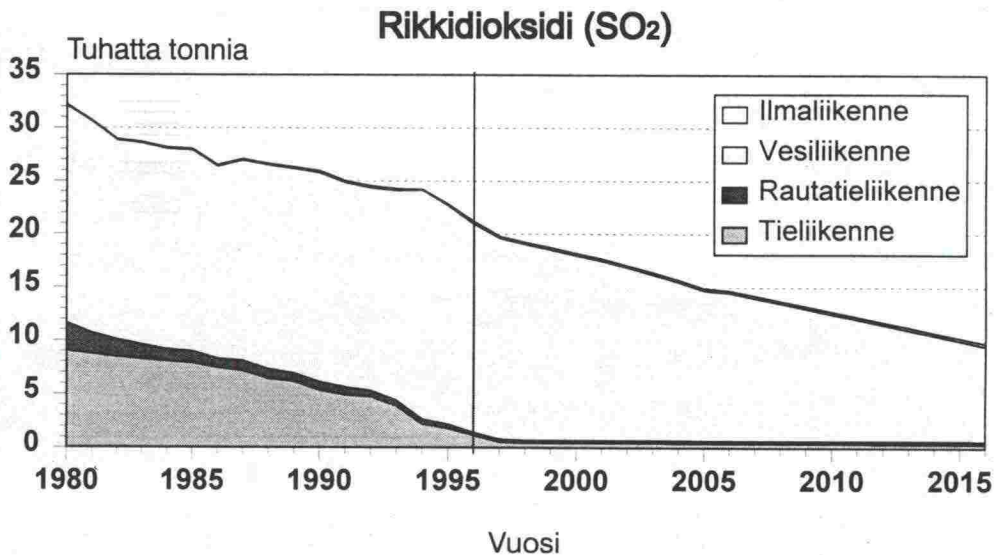
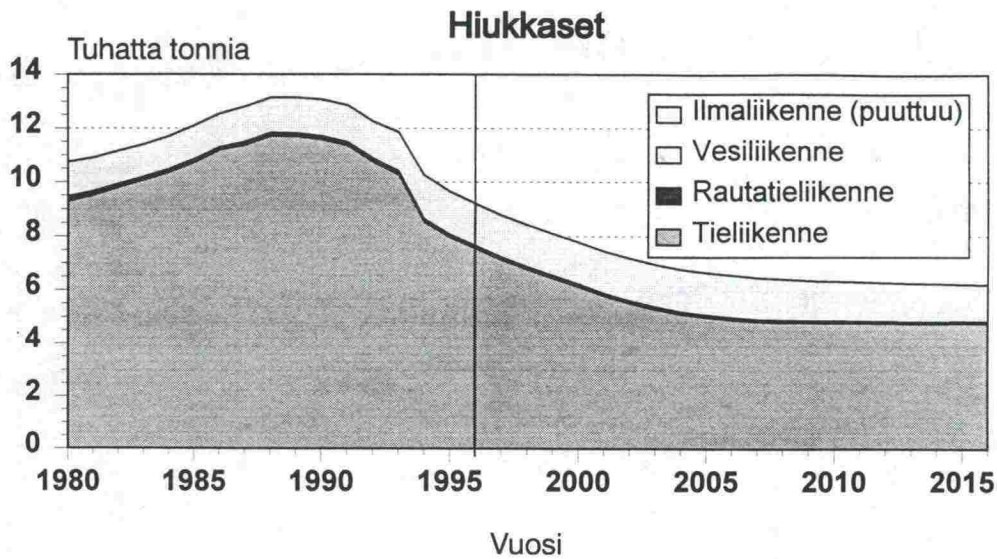


Rautatieliikenteen päästöjen kehitys RAILI 96 -laskentajärjestelmän mukaan

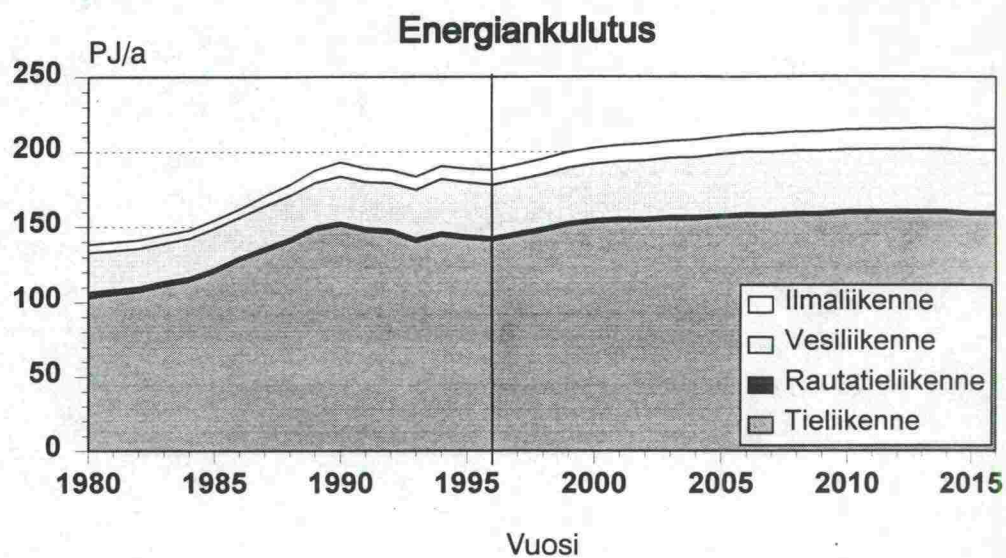


Liite 7. Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen arvioitu kehitys (LIPASTO 96)⁽¹⁾

⁽¹⁾ Ennusteet perustuvat suoritteiden osalta pääosin tielaitoksen perusennusteeseen vuodelta 1995 sekä Ratahallintokeskuksen, Merenkululaitoksen ja Ilmailulaitoksen arvioihin. Päästökerroinennusteet perustuvat VTT Yhdyskuntatekniikan selvityksiin. Meri- ja ilmaliikenteessä on mukana ulkomaanliikenne, rautatieliikenne sisältää sähköjuna liikenteen osuuden voimalaitospäästöistä

Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen arvioitu kehitys (LIPASTO 96)⁽¹⁾

⁽¹⁾ Ennusteet perustuvat suoritteiden osalta pääosin tielaitoksen perusennusteeseen vuodelta 1995 sekä Ratahallintokeskuksen, Merenkulkulaitoksen ja Ilmailulaitoksen arvioihin. Päästökerroinennusteet perustuvat VTT Yhdyskuntatekniikan selvityksiin. Meri- ja ilmaliikenteessä on mukana ulkomaanliikenne, rautatieliikenne sisältää sähköjunaliikenteen osuuden voimalaitospäästöistä

Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen arvioitu kehitys (LIPASTO 96)⁽¹⁾

⁽¹⁾ Ennusteet perustuvat suoritteiden osalta pääosin tielaitoksen perusennusteeseen vuodelta 1995 sekä Ratahallintokeskuksen, Merenkululaitoksen ja Ilmailulaitoksen arvioihin. Päästökerroinennusteet perustuvat VTT Yhdyskuntatekniikan selvityksiin. Meri- ja ilmaliikenteessä on mukana ulkomaanliikenne, rautatieliikenne sisältää sähköjuna liikenteen osuuden voimalaitospäästöistä

- 1/1997 Railway Industry Structures and Capital Investment Financing
- 2/1997 Nopean junaliikenteen aluekehitysvaikutukset
- 3/1997 Rautateiden henkilöliikenteen ennustemalli (RALVI)
- 4/1997 Kilpailuedellytykset ja niiden luominen Suomen rataverkolla
- 5/1997 Rataverkon tavaraliikenne-ennuste 2020
- 1/1998 Rataverkon jatkosähköistyksen yhteiskuntataloudellinen vaikutus selvitys

RATAHALLINTOKESKUS
KAIVOKATU 6, PL 185
00101 HELSINKI

KIINTEISTÖYKSIKKÖ

Lisätietoja: Kari Pulli, puh. 09-5840 5185, sähköposti: kari.pulli@rhk.fi
Jakelu: Arja Aalto, puh. 09-5840 5121, sähköposti: arja.aalto@rhk.fi

ISBN 952-445-006-2
ISSN 1455-2604