



Suomen liikenteen päästöjen laskentajärjestelmä

LIPASTO 2001

MOBILE² raportti M2T9916-13

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

Suomen liikenteen päästöjen laskentajärjestelmä LIPASTO 2001

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

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Tutkimusraportti RTE 3164/02
Espoo 2002



MOBILE

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

Julkaisun sarja, numero tai raporttikoodi:

MOBILE 2 M2T9916-13
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka,
tutkimusraportti RTE 3164/02

Projektin tunnus:

M2T9916

Julkaisuaika:

2002

Julkaisun tekijä(t):

Kari Mäkelä, Anu Tuominen &
Esa Pääkkönen

Projektin nimi:

Julkaisun nimike:

Suomen liikenteen päästöjen laskentajärjestelmä LIPASTO 2001

Tiivistelmä:

LIPASTO on ensimmäinen kaikkien liikennemuotojen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä Suomessa. Järjestelmän ensimmäinen versio LIPASTO 96 valmistui vuonna 1997. Tämä tutkimusraportti käsittelee kuudetta, vuoden 2001 tiedoilla päivitettyä versiota LIPASTO 2001. Järjestelmä kokonaisuudessaan sisältää kunkin liikennemuodon erilliset alamallit, niiden oikea-aikaisen päivityksen ja keskusyksikön, jossa tiedot yhdistetään moniulotteisessa malli- ja raportointitietokannassa. Kunkin liikennemuodon alamalli on kyseisen liikennemuodon edustajaorganisaation hallinnassa. Näitä ovat rautatieliikenteen osalta Ratahallintokeskus, vesiliikenteessä Merenkulkulaitos, ilmaliikenteessä Ilmailulaitos. Tieliikenteessä ei ole erillistä hallintoorganisaatiota ja tieliikenteen LIISA-malli on VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa. Mallien rahoittaja on liikenne- ja viestintäministeriö. Alamalleista syötetään keskusyksikköön kyseisten organisaatioiden vahvistamat luvut. Vahvistaminen koskee erityisesti päästöjen kehitystä kuvaavia ennusteita. Keskusyksikkö on itse asiassa tietokanta, joka sisältää Suomen "virallisesti" hyväksytyt laskelmat päästöistä.

LIPASTO 2001 sisältää alamallit tieliikenteelle (LIISA 2001.1), rautatieliikenteelle (RAILI 2001), vesiliikenteelle (MEERI 2001) ja ilmaliikenteelle (ILMI 2001). Mallit on ILMIä lukuun ottamatta kehitetty VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa. Mallien tietoteknisen osuuden on tehnyt OCG Oy (lukuun ottamatta ILMI 2001 ja LIISA 2001.1). Laskentajärjestelmän avulla voidaan laskea Suomen liikenteen aiheuttamat päästöt perusvuonna 2001 seuraavista yhdisteistä: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiukkaset (PM), rikkidioksidi (SO₂) sekä hiilidioksidi (CO₂). Tämän lisäksi mallit laskevat energiankulutuksen. Karkealla tasolla päästömäärät ja energiankulutus on ennustettu vuodesta 1980 vuoteen 2021. LIPASTO 2001 järjestelmä on tarkoitettu lähinnä liikenne- ja viestintäministeriön, alamallien edustajaorganisaatioiden ja VTT:n käyttöön. LIPASTO:n tärkeimmät tulokset ja mallikuvaukset löytyvät Web-sivulta: <http://lipasto.vtt.fi>

Julkaisija: VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Avainsanat:

Liikenne, pakokaasupäästöt, tieliikenne,
rautatieliikenne, vesiliikenne, ilmaliikenne,
malli

ISSN

1237-5721

ISBN

Tilausosoite:

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

Luokitus (UDK):

Kieli: Suomi

Sivuja: 39+liit.6



MOBILE

Publication series, volume number or report code:

MOBILE² raportti M2T9916-13
VTT Building and Transport
Contractor Report RTE 3164/02 (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:

LIPASTO 2001 CALCULATION SYSTEM FOR TRAFFIC EMISSIONS AND ENERGY
CONSUMPTION

Abstract:

A calculation system LIPASTO 2001 covering emissions and energy consumption of all traffic modes in Finland has been completed in VTT Building and Transport. The model includes four submodels: LIISA 2001.1 road traffic, RAILI 2001 railway traffic, MEERI 2001 waterborne traffic and ILMI 2001 air traffic and a central unit LIPASTO 2001, where data is gathered in a multidimensional model and report data base. By means of these models traffic exhaust gas emissions in Finland can be calculated from the following compounds in the base year 2001: carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), nitrogen oxides (NO_x), particles (PM), sulphur dioxide (SO₂) and carbon dioxide (CO₂). In addition to this, the models calculate energy consumption of different traffic modes. A rough estimation of emission amounts and energy consumption has been given for the years 1980 - 2021. The updating of LIPASTO-system will be done yearly. The system is primarily meant for the use of the Ministry of Transport and Communications, representative organisations for the sub models and VTT.

The sub model of each traffic mode is controlled by a representative organisation of the mode in question. The representative organisations are the Finnish Rail Administration (railroad traffic), the Finnish Maritime Administration (waterborne traffic) and the Civil Aviation Administration (air traffic). Air traffic model is done totally by the Civil Aviation Administration. Road traffic has no separate administrative organisation and the road traffic model LIISA is in VTT Building and Transport.

LIPASTO model will be find on site: <http://lipasto.vtt.fi/indexe.htm>

Publisher:

VTT Building and Transport

Keywords:

Traffic, exhaust emissions, road traffic,
railway traffic, waterborne traffic, air traffic

ISSN
1237-5721

ISBN

Address for orders:

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

Classification (UDK):

Language: Finnish

Pages: 39+app.6

TIIVISTELMÄ

LIPASTO on ensimmäinen kaikkien liikennemuotojen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä Suomessa. Järjestelmän ensimmäinen versio LIPASTO 96 valmistui vuonna 1997. Tämä tutkimusraportti käsittelee kuudetta, vuoden 2001 tiedoilla päivitettyä versiota LIPASTO 2001. Järjestelmä kokonaisuudessaan sisältää kunkin liikennemuodon erilliset alamallit, niiden oikea-aikaisen päivityksen ja keskusyksikön, jossa tiedot yhdistetään moniulotteisessa malli- ja raportointitietokannassa. Kunkin liikennemuodon alamalli on kyseisen liikennemuodon edustajaorganisaation hallinnassa. Näitä ovat rautatieliikenteen osalta Ratahallintokeskus, vesiliikenteessä Merenkulkulaitos, ilmaliikenteessä Ilmailuhallitus. Tieliikenteessä ei ole erillistä hallinto-organisaatiota ja tieliikenteen LIISA-malli on VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa. Mallien rahoittaja on liikenne- ja viestintäministeriö. Alamalleista syötetään keskusyksikköön kyseisten organisaatioiden vahvistamat luvut. Vahvistaminen koskee erityisesti päästöjen kehitystä kuvaavia ennusteita. Keskusyksikkö on itse asiassa tietokanta, joka sisältää Suomen "virallisesti" hyväksytyt laskelmat päästöistä.

LIPASTO 2001 sisältää alamallit tieliikenteelle (LIISA 2001.1, joka uudistettiin perusteellisesti tänä vuonna), rautatieliikenteelle (RAILI 2001), vesiliikenteelle (MEERI 2001) ja ilmaliikenteelle (ILMI 2001). Mallit on ILMIä lukuun ottamatta kehitetty VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa. Mallien tietoteknisen osuuden on tehnyt Otaniemi Consulting Group Oy (lukuun ottamatta ILMI 2001 ja LIISA 2001). Laskentajärjestelmän avulla voidaan laskea Suomen liikenteen aiheuttamat päästöt perusvuonna 2001 seuraavista yhdisteistä: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiukkaset (PM), rikkidioksidi (SO₂) sekä hiilidioksidi (CO₂). Tämän lisäksi mallit laskevat energiankulutuksen. Karkealla tasolla päästömäärät ja energiankulutus on ennustettu vuodesta 1980 vuoteen 2020. LIPASTO 2001 järjestelmä on tarkoitettu lähinnä liikenneministeriön, alamallien edustajaorganisaatioiden ja VTT:n käyttöön. LIPASTO:n tärkeimmät tulokset ja mallikuvaukset löytyvät Web-sivulta:

<http://www.lipasto.vtt.fi>

Liikenteen aiheuttamat päästöt olivat Suomessa vuonna 2001 seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 340 500 t, hiilivetyjä (HC) 48 500 t, typen oksideja (NO_x) 155 000 t, hiukkasia 6 110, rikkidioksidia (SO₂) 29 700 t ja hiilidioksidia (CO₂) 15 700 000 t. Energiaa kulutettiin yhteensä 217 000 TJ. Tieliikenteen aiheuttamat päästöt hallitsevat kokonaisuutta kaikkien muiden yhdisteiden paitsi rikkidioksidin osalta, jonka kohdalla vesiliikenne on hallitsevassa asemassa. Päästömäärien kehitys on laskusuunnassa.

Kari Mäkelä, Anu Tuominen & Esa Pääkkönen 2002. Suomen tieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä LIPASTO 2001. *lipasto 2001 calculation system for traffic emissions and energy consumption* Technical Research Centre of Finland, Building and Transport, Research Report RTE 3164/02. 39 p. + apps. 6 p.

ABSTRACT

A calculation system LIPASTO 2001 covering emissions and energy consumption of all traffic modes in Finland has been completed in VTT Building and Transport. The model includes four submodels: LIISA 2001.1 road traffic, RAILI 2001 railway traffic, MEERI 2001 waterborne traffic and ILMI 2001 air traffic and a central unit LIPASTO 2001, where data is gathered in a multidimensional model and report data base. By means of these models traffic exhaust gas emissions in Finland can be calculated from the following compounds in the base year 2001: carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), nitrogen oxides (NO_x), particles (PM), sulphur dioxide (SO₂) and carbon dioxide (CO₂). In addition to this, the models calculate energy consumption of different traffic modes. A rough estimation of emission amounts and energy consumption has been given for the years 1980 - 2021. The updating of LIPASTO-system will be done yearly. The system is primarily meant for the use of the Ministry of Transport and Communications, representative organisations for the sub models and VTT.

The sub model of each traffic mode is controlled by a representative organisation of the mode in question. The representative organisations are the Finnish Rail Administration (railroad traffic), the Finnish Maritime Administration (waterborne traffic) and the Civil Aviation Administration (air traffic). Air traffic model is done totally by the Civil Aviation Administration. Road traffic has no separate administrative organisation and the road traffic model LIISA is in VTT Building and Transport.

LIPASTO model will be find on site: <http://lipasto.vtt.fi/indexe.htm>

ALKUSANAT

LIPASTO 2001 on kaikkien liikennemuotojen päästöjen laskentajärjestelmä Suomessa. Koko LIPASTO 2010 -laskentajärjestelmän (ml. alamallit) päivityksen on rahoittanut MOBILE² –tutkimusohjelma, jossa tämän projektin rahoittaja on liikenneministeriö.

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	KÄYTTÖTARPEET	8
3	LIPASTO 2001:N RAKENNE	10
3.1	Yleistä	10
3.2	LIISA 2001.1 tieliikenne	12
3.2.1	Järjestelmän rakenne	12
3.2.2	Ennusteet	13
3.2.3	LIISA laskentajärjestelmän uudistus	14
3.3	RAILI 2001 rautatieliikenne	17
3.3.1	Yleistä	17
3.3.2	Rataosakohtainen laskenta	18
3.3.3	Ratapihakohtaiset päästöt	19
3.3.4	Lähiliikenteen päästöt	19
3.3.5	Aikasarjat ja ennusteet	20
3.4	MEERI 2001 vesiliikenne	20
3.4.1	Yleistä	20
3.4.2	Valtakunnalliset päästöt	21
3.4.3	Satamakohtaiset päästöt	22
3.4.4	Aikasarjat ja ennusteet	22
3.5	ILMI 2001 ilmaliikenne	23
3.5.1	Yleistä	23
3.5.2	Mallin kehittäminen ja sen vaikutukset tuloksiin	25
3.5.3	Vuosien 1996 - 2000 päästöt	26
3.5.4	Vuoden 2001 päästöt	26
3.5.5	Arvio vuodesta 1980 lähtien ja ennuste vuoteen 2021	26
4	LASKENTATULOKSET	28
4.1	Päästömäärät	28
4.1.1	Kaikki liikennemuodot yhteensä	28
4.1.2	Tieliikenne	32
4.1.3	Rautatieliikenne	33
4.1.4	Vesiliikenne	35
4.1.5	Ilmaliikenne	36
5	YHTEENVETO	37

1 Johdanto

Ihmisen aiheuttamassa ympäristökuormituksessa liikenne muodostaa syntyvaltanaan yhtenäisen ryhmän; päästöt aiheutuvat pääosin polttomoottorilla varustetusta liikkuvasta lähteestä. Päästöjen syntyvän samankaltaisuus mahdollistaa ja edellyttää yhtenäisen laskentatavan käyttöä. Yhä lisääntyvät kansainväliset velvoitteet edellyttävät kansallisen päästötason selvitystä. Päästötietojen hallintaan tarvitaan laskentajärjestelmä. Ennustava laskentajärjestelmä on ollut ennen vuotta 1997 käytössä vain tieliikenteessä (LIISA). Ilmaliikenteestä, rautatieliikenteestä ja vesiliikenteestä on ollut olemassa vain yksittäisiä perusvuoden laskentoja.

LIPASTO 96 oli ensimmäinen vuosittain päivitettävä kaikkien liikennemuotojen (tie-, rautatie-, vesi- ja ilmaliikenne) päästöjen ja energiankulutuksen laskentamalli Suomessa. Tämä raportti käsittelee vuoden 2001 tiedoilla päivitettyä versiota LIPASTO 2001. Vastaavaa yhtenäistä, koko maata koskevaa laskentajärjestelmää ei tiettävästi ole myöskään muualla maailmassa. Kullakin liikennemuodolla on laskentajärjestelmässä oma alamallinsa ja näitä yhdistää moniulotteinen malli- ja raportointitietokanta. LIPASTO 2001 käsittää varsinaisen laskentajärjestelmän lisäksi lähtötietojen vuosittaisen päivityksen. LIPASTO 2001 kattaa päästötiedot vuodesta 1980 vuoteen 2021.

2 Käyttötarpeet

Sitä mukaa kun ihmisten huoli ympäristöstään on kasvanut, on todellisen ympäristötiedon kysyntä lisääntynyt. Liikennettä koskevan tiedon luonnollinen tuottajaorganisaatio on liikenneministeriö, jonka hallinnonala kattaa kaikki liikennemuodot. Kotimaisen kysynnän lisäksi liikenneministeriön on vastattava yhä useampiin kyselyihin eurooppalaisen yhteistyön puitteissa. LIPASTO 2001 on avainasemassa tällaisen tiedon toimitamisessa (kuva 1).

Päästöjä koskeva tieto on perustietoa, jonka olemassa olon tarpeen tulisi olla itsestäänselvyys. Perustiedon olemassaolon tärkeys ilmenee usein vasta kun se puuttuu.

Tietojen saanti tilastointia varten on yksi LIPASTO 2001:n pääkäyttökohteista. Tilastokeskuksen ilmapäästöjen laskentamalli ILMARI voi käyttää suoraan LIPASTO 2001:n lukuja. Suomen ympäristökeskus on Suomen edustaja CORINAIR ilmapäästöjen kartoituksessa ja on siten LIPASTO 2001:n tietojen käyttäjä niiltä osin. Yleisesti kiinnostavan tilastotiedon lisäksi laskentajärjestelmä tarjoaa mahdollisuuden tarkastella vaihtoehtoisten kehityskulkujen vaikutuksia esimerkiksi energiankulutukseen tai kasvihuonekaasujen syntymiseen. LIPASTO 2001:n lähtötietojen edellyttämät liikennemuotokohtaiset laskentamallit tarjoavat mahdollisuuden analyttiseen tarkasteluun, joiden seurauksena saatetaan löytää merkittäviä kehityskohteita. LIPASTO 2001:n tuottama tieto eri kulkumuotojen päästösuhteista toimii liikennepoliittisen päätöksenteon yhtenä lähteenä.

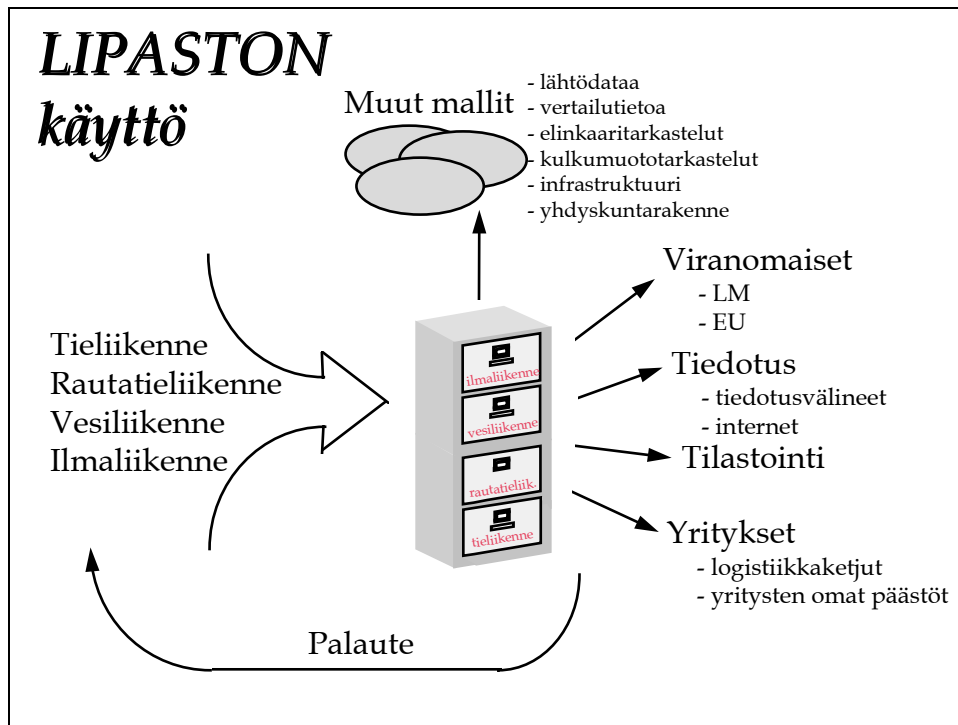
Tärkeä osa LIPASTO 2001:n kohdistuvista tiedontarpeista on tiedotusvälineiden tarve. Monessa artikkelissa on käyttöä päästöjä ja energiankulutusta esittelevällä perusmateriaalilla. Tiedonjulkistamisvälineenä tulee olemaan myös Internet, jossa on mahdollista välittää niin lukuja kuin kuviakin. Internetin käyttö vähentää puhelimitse otettavia yhteyksiä ja tiedon toimittamisen vaivaa. Tästä on kokemuksia esim. tieliikenteen LIISAMallin tulosten tiedottamisessa. LIPASTO 2001 tietoa on nähtävissä VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan Web sivulla:

<http://lipasto.vtt.fi>

LIPASTO 2001:n tuottamaa tietoa voidaan käyttää muiden mallien lähtötietona. Ympäristövaikutuksia tarkastelevien mallien yleinen lähestymistapa on keskimääräisten kerrotoimien määrittely (esimerkiksi päästöt kuljetettua tonnia kohden). Tällaisten lukujen tuottamisen yhtenä lähtökohtana on tieto kokonaispäästöistä.

Yhä lisääntyvien yritys kohtaisten ympäristöselvitysten tarpeisiin tarvitaan vertailukelpoista tietoa eri liikennemuotojen päästöistä. Yritys kohtaisten mallien pohjalta yritykset voivat tehdä kuljetustavan valintapäätöksiä ympäristöasiat huomioiden. Kulkumuoto- ja elinkaaritarkasteluissa tarvittavat keskimääräiset kulutus- ja päästökertoimet saadaan luotettavasti LIPASTO 2001:stä.

LIPASTO 2001:n tiedoilla on käyttöä järjestelmän alamallien tuottajille. LIPASTO 2001:n tuottama vertailutieto mahdollistaa oman toiminnan tuottaman ympäristökuorituksen arvioimisen suhteessa muihin liikennemuotoihin.



Kuva 1. LIPASTO 2001:stä saatavalla päästötiedolla on monta tarvitsijaa.

3 LIPASTO 2001:n rakenne

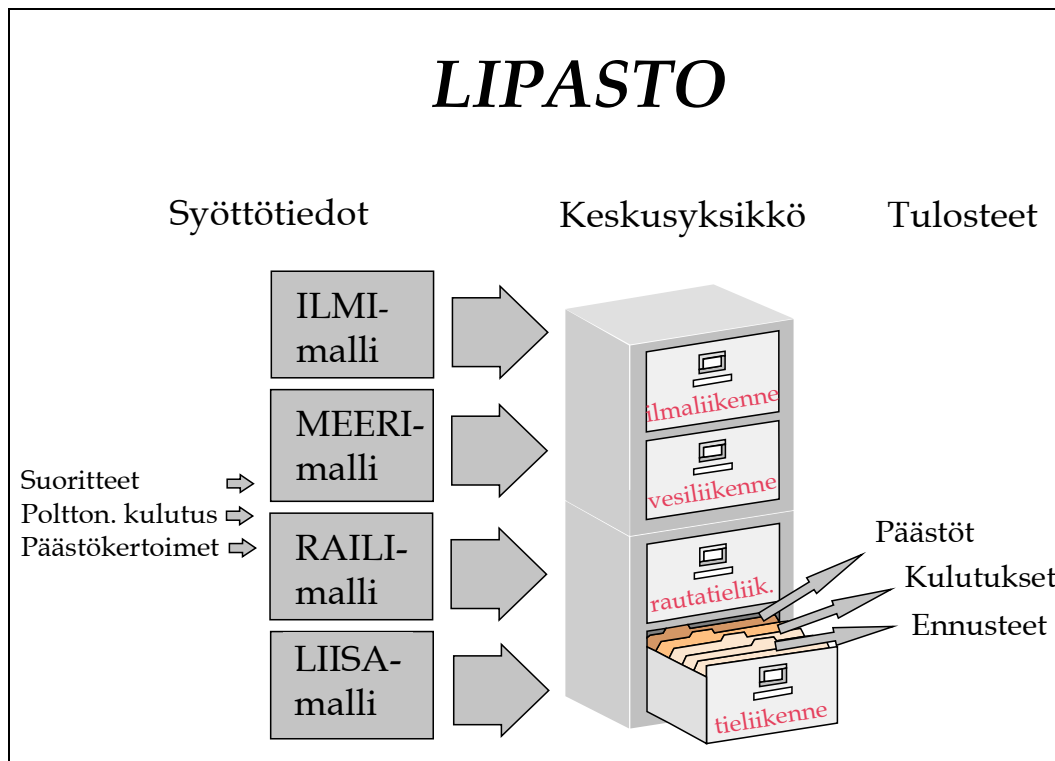
3.1 Yleistä

LIPASTO 2001 on liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. Järjestelmä kokonaisuudessaan sisältää kunkin liikennemuodon erilliset alamallit, niiden oikea-aikaisen päivityksen ja keskusyksikön, jossa tiedot yhdistetään moniulotteisessa malli- ja raportointitietokannassa. Kunkin liikennemuodon alamalli on kyseisen liikennemuodon edustajaorganisaation hallinnassa. Liikennemuotojen edustajaorganisaatiot ovat seuraavat: Rautatieliikenteen osalta Ratahallintokeskus, vesiliikenteessä Merenkululaitos, ilmaliikenteessä Ilmailulaitos. Tieliikenteessä ei ole erillistä hallinto-organisaatiota ja tieliikenteen LIISA-malli on VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa. Alamalleista syötetään keskusyksikköön kyseisen organisaation vahvistamat luvut. Vahvistaminen koskee erityisesti päästöjen kehitystä kuvaavia ennusteita. Keskusyksikkö on itse asiassa tietokanta, joka sisältää Suomen "virallisesti" hyväksytyt laskelmat päästöistä.

LIPASTO 2001 sisältää tällä hetkellä alamallit tieliikenteelle (LIISA 2001.1), rautatieliikenteelle (RAILI 2001), vesiliikenteelle (MEERI 2001) ja ilmaliikenteelle (ILMI 2001). Mallit on ILMIä lukuun ottamatta kehitetty VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa. Mallien avulla voidaan laskea Suomen liikenteen aiheuttamat päästöt perusvuonna 2001 seuraavista yhdisteistä: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiukkaset (PM), rikkidioksidi (SO₂) sekä hiilidioksidi (CO₂). Tämän lisäksi mallit laskevat energiankulutuksen. Ennusteet koskevat vuosia 1980 - 2021.

LIPASTO 2001:sta saatavat liikennemuodotaiset tiedot vaihtelevat liikennemuodon osamallin mukaisesti. Esimerkiksi tieliikenteen LIISA-malliin pohjautuvissa tiedoissa päästö- ja suoritiedot on eritelty ajoneuvo- ja väylätyypeittäin, MEERI-malliin pohjautuvissa tiedoissa laivatyypeittäin väylillä ja satamissa. Alamalleista saatava tietomäärä on monipuolisempi kuin LIPASTO 2001:n keskusyksikössä on mahdollista tarkastella. Erityisesti tämä pitää paikkansa LIISA mallin suhteen, jossa on tiedot jopa kuntatasolle saakka.

Lisäselvitysten tarve on erityisesti siinä, miten vapaasti keskusyksikön tietoja voi yhdistellä. On ilmeinen vaara, että "sopivasti" yhdistellen eri liikennemuotoja voi verrata virheellisesti. Tämä tulee esiin lähinnä siinä, mitkä päästöt lasketaan kullekin liikennemuodolle. Esimerkiksi rautateiden sähkönkäytön päästöt, ratapihojen päästöt (vrt. huoltoasemat), rautateiden liityntäliikenteen päästöt, satamatoimintojen päästöt, lentoasemien maatoimintojen päästöt jne. Kaikki tämä edellyttää huolellista selvittelyä ja pelisäännöistä sopimista.



Kuva 2. Olennaisen osan liikenteen pakokaasupäästöjen laskentajärjestelmästä muodostavat kunkin liikennemuodon omat erilliset laskentamallit ja niiden päivitykset.

LIPASTO 2001:n keskusyksikkö (samoin kuin alamallit MEERI 2001 ja RAILI 2001) 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. MUST-mallista on kerrottu tarkemmin liitteessä 1. Kunkin alamallin toteutus on riippumaton keskusyksiköstä. Tieliikenteen LIISA 2001 -malli on toteutettu Turbo Pascal 5.5 (Borland International)-ohjelmointiympäristössä ja ilmaliikenteen ILMI 2001 -malli EXCEL 7.0 taulukkolaskentaohjelmistolla. Keskusyksikköön voidaan syöttää tietoa millaisesta järjestelmästä tahansa.

LIPASTO järjestelmä päivitetään aina laskennan perusvuoden jälkeisen vuoden keväällä. Päivityksen tekee VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, jolle Merenkululaitos ja Ratahallintokeskus toimittavat vesi- ja rautatieliikennettä koskevat uudet laskennan lähtötiedot vuoden alussa. ILMI -mallin päivittää Ilmailulaitos. LIISA -mallin päivityksen tekee VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka perustuen omiin selvityksiin ja Tielaitoksen tierekisterin tietoihin. Ilmaliikenteen mallin päivittää Ilmailulaitos ja toimittaa valmiit tiedot keskusyksikköön.

LIPASTO 2001:n "laatikkojen" sisältö riippuu täysin alamallin kyvystä tuottaa erilaisia tarkasteluja. Tämän hetkisessä LIPASTO -mallissa keskitytään vain peruspäästötietojen ja energiankulutuksen tuottamiseen. Myöhemmin tarkastelua voidaan laajentaa mm. muihin päästöihin ja taloudellisiin asioihin.

Seuraavissa kappaleissa on esitetty lyhyt kuvaus kaikista alamalleista.

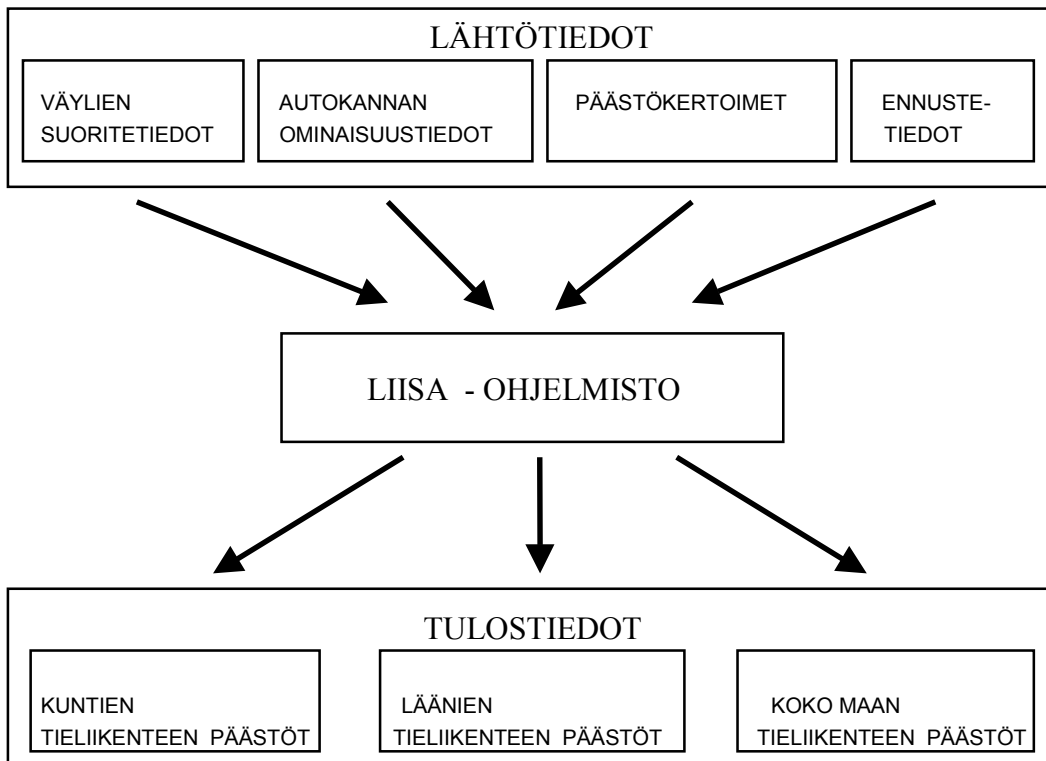
3.2 LIISA 2001.1 tieliikenne

3.2.1 Järjestelmän rakenne

LIISA on VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa kehitetty laskentajärjestelmä, jonka kehitystyön ovat rahoittaneet ympäristöministeriö, liikenne- ja viestintäministeriö, Fortum Oy ja VTT. Järjestelmä päivitetään vuosittain. Tällä hetkellä on käytössä versio LIISA 2001.1, jossa laskennan perusvuotena on 2001. Järjestelmä on toteutettu Turbo Pascal 5.5 (Borland International)-ohjelmointiympäristössä. Järjestelmä soveltuu erityisesti aluekohtaisten päästölaskelmien ja skenaarioiden tekemiseen ympäristön päästökuormitusten ja liikennepoliittisten ratkaisujen arvioinnissa. LIISA 2001.1 laskentajärjestelmästä on oma raporttinsa, joka on saatavissa myös web-osoitteesta

<http://lipasto.vtt.fi>

Laskentajärjestelmä uudistettiin lähtötietojen osalta perusteellisesti vuonna 2002. Tärkeimmät uudistuksessa tehdyt muutokset on esitelty kappaleessa 3.2.3



Kuva 3. LIISA 2001.1 -tietojärjestelmän käyttämät ja tuottamat tiedot.

Laskentajärjestelmä tulostaa päästömäärät tonneina kunnittain, lääneittäin ja koko Suomen osalta (kuva 3). Päästömäärien kehityksestä esitetään 20 vuoden ennuste. Päästömäärät jaetaan kahdeksalle väylätyypille ja yhdeksälle ajoneuvotyyppille. Lisäksi on saatavissa tulokset autokannan ikäjakauman suhteen. Laskennassa otetaan huomioon ajoneuvojen kylmäkäytön ja joutokäynnin päästölisiä. Myös erityyppiset polttonesteet huomioidaan (reformuloidut tuotteet). Päästöajajat ovat hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiukkaset, metaani (CH₄), typpioksiduuli (N₂O), rikkidioksidi (SO₂) ja hiilidioksidi (CO₂) sekä polttonesteen kulutus.

Päästöjen laskenta on pääpiirteissään kaavan 1 mukainen. Joissakin tapauksissa kertoimet eri luokissa ovat samoja (esim. kaduilla kerroin on sama kaikissa nopeusluokissa).

Joidenkin päästölaajien (SO₂, CO₂) päästökertoimet on ilmaistu arvona polttonestelitraa kohden, jolloin kaava on hieman erilainen. Päästökerroin ^ab on peruskertoimen sekä ajoneuvojen ja polttonesteen teknistä kehitystä ja vanhenemista kuvaavien kertoimien tulo.

$$E_{y,v} = \sum_{l=1}^9 \sum_{m=1}^{20} \sum_{p=1}^8 \sum_{r=1}^6 s_{l,m,p,r,u,v} \left({}^a b_{l,m,p,r,u,v,y} + {}^j b_{l,m,p,r,u,v,y} + {}^k b_{l,m,p,r,u,v,y} \right), \quad (1)$$

missä

$E_{y,v}$ = Yhdisteen y kokonaispäästö vuonna v

s on liikennesuorite

^ab on ajamisesta syntyvän päästön kerroin

^jb on joutokäynnistä syntyvän päästön kerroin

^kb on käynnistyksestä ja kylmällä moottorilla ajamisesta syntyvän päästön kerroin,

ja missä

l on ajoneuvolaji

m on vuosimalli

p on tieluokka

r on nopeusluokka

u on polttonestetyyppi

Pakokaasupäästöjen laskenta perustuu kunkin ajoneuvotyypin liikennesuoritteisiin (ajoneuvokilometriä vuodessa) eri väylätyypeillä ja niitä vastaaviin päästökertoimiin (g/km). Rikkidioksidi (SO₂) ja hiilidioksidi (CO₂) lasketaan kulutetun polttonestemäärän (t/a) ja päästökertoimen (g/kg polttonestettä) avulla. Suoritetieto yleisten teiden osalta perustuu tielaitoksen tierekisteriin. Katusuorite yksittäisen kunnan osalta on kunnan väkilukuun perustuva osa Suomen koko katusuoritteesta. Päästökertoimet on määritellyt VTT Prosessit.

3.2.2 Ennusteet

Ennusteiden suoriteosuuden pohjana käytetään tielaitoksen vuonna 1999 tarkennettua perusennusteetta yleisten teiden osalta (Tielaitos 1999). Sen mukaan yleisten teiden henkilöautoliikenteen suorite kasvaa 1,18 kertaiseksi vuoteen 2021 mennessä, paketti-autoilla 1,19 linja-autoilla 1,0 ja kuorma-autoilla 1,32 kertaiseksi vuoteen 2001 verrattuna. LIISA järjestelmässä katuliikenteen oletetaan kasvavan saman verran kuin yleisten teiden liikenteen.

Ennusteiden päästökerroinosuudessa on määritelty kertoimien kehitys kullekin päästölaajille ja ajoneuvotyypille erikseen. Laskennassa huomioidaan lisäksi auton vanhenemisesta aiheutuva päästöjen lisäys. Polttonesteenkulutuksen osalta järjestelmässä arvioidaan kulutuksen vähentyneen lineaarisesti bensiinikäyttöisillä autoilla 26 % vuodesta 1981 ja dieselikäyttöisillä 15 %. Ennusteosassa polttonesteenkulutuksen arvioidaan vähenevän bensiinikäyttöisillä autoilla 1,5 % vuosittain ja dieselikäyttöisillä 1 %.

Autokaluston muutoksia hallitaan järjestelmässä uusien autojen myynnin määrällä. Asiantuntijaryhmän ennusteen mukaan uusien henkilöautojen vuosimyynti nousee pienen laskun jälkeen vuoden 2001 tasosta 110 000 autoa tasoon 130 000 vuoteen 2003 mennessä ja pysyy tällä tasolla ennustejakson loppuun saakka. Pakettiautojen myynnin ennustetaan pysyvän nykyisellä 13 000 tasolla ennustejakson loppuun saakka, linja-

autojen nousevan 400:sta tasolle 500 ja kuorma-autojen myynnin vakiintuvan tasolle 4 600 autoa vuodessa. Kaikkia järjestelmässä olevia oletusarvoja voidaan muuttaa erilaisten skenaarioiden tarkastelemiseksi.

Järjestelmän ulkopuolella on laskettu lisäksi arvioitu päästömäärien kehitys vuodesta 1980 perustuen suoritteissa ja kalustossa tapahtuneisiin muutoksiin. Myös lyijypäästöjen kehitys on laskettu erikseen (lyijypäästöt loppuivat kokonaan vuoden 1994 alussa eikä ne sen vuoksi enää varsinaisesti kuulu laskentajärjestelmän piiriin).

3.2.3 LIISA laskentajärjestelmän uudistus

LIISA tieliikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä on uudistettu perusteellisesti. Uuden version nimi on LIISA 2001.1

Aikaisempien LIISA versioiden luvut eivät ole vertailukelpoisia uuden version lukujen kanssa, koska päästökertoimet ovat muuttuneet olennaisesti. Uusi versio sisältää uudet aikasarjat vuoteen 1980 saakka.

Uudistuksen tärkeimmät muutokset

Suoritteet

Yleisten teiden suorite (Tiehallinnon ylläpitämät tiet) on täysin entisellään tierekisteriin perustuen. Katusuoritetietoja (ja kuntien rakennuskaavatiesuoritteita) on tarkistettu jonkin verran. Linja-autojen katusuoritetta on alennettu huomattavasti vastaamaan nykytietämystä.

Moottoripyörien ja mopojen päästöjä ei ole aikaisemmin laskettu ja siten niiden suoritelvutkin ovat uusia.

Päästökertoimet

Päästökertoimet on uudistettu perusteellisesti vastaamaan nykytietämystä. Työn on tehnyt erikoistutkija Juhani Laurikko VTT Prosessit yksiköstä.

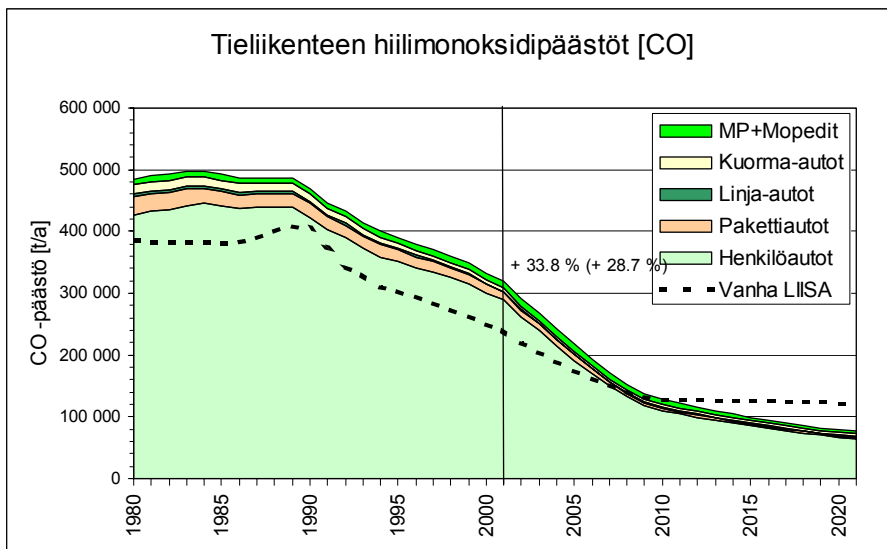
Koska kertoimet ovat muuttuneet, on myös menneiden vuosien kertoimia täytynyt suhteuttaa nykyhetkeen. Tämän vuoksi nykyisen version lukuja ei voi verrata aikaisempien versioiden lukuihin. Muutosten suuruuden voi nähdä alla olevista kuvista.

Polttoaine

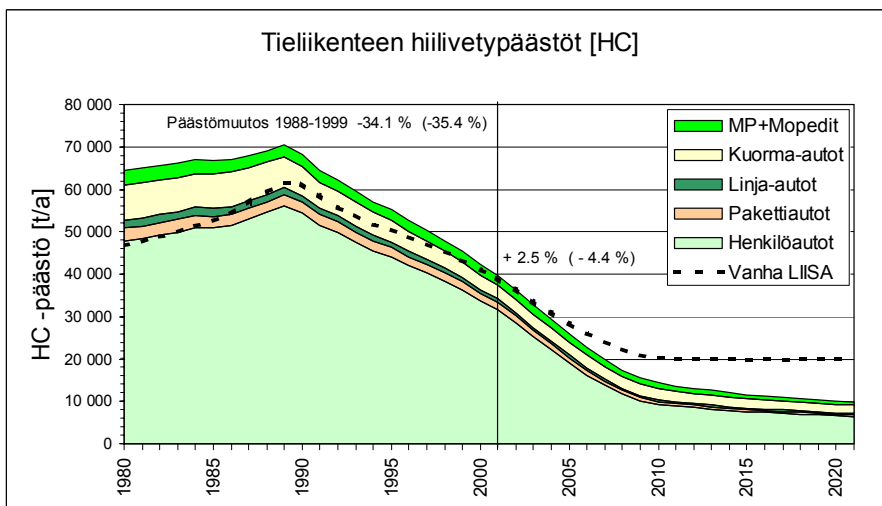
Bensiinin kulutuksessa muutoksia. Kokonaiskulutuksessa on huomioitu aikaisempaa tarkemmin työkoneiden käyttämä bensiini työkoneiden päästömallin pohjalta. Tämä vähentää myös tieliikenteen osalle tulevaa CO₂ päästömäärää

Vanhan ja uuden version tulosten vertailu

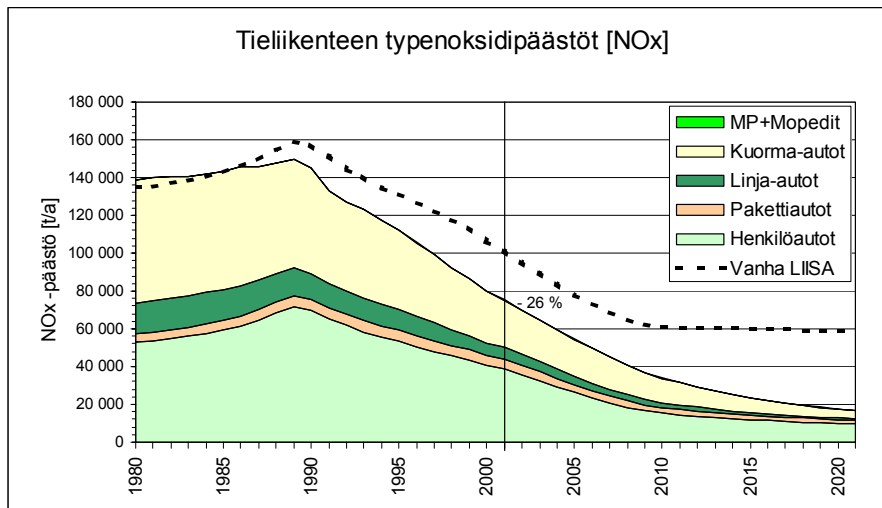
Alla olevissa kuvissa katkoviivalla on esitetty vanhan LIISA version kokonaispäästöäso. Prosenttiluvut kuvaavat päästöeroa vuonna 2001. Suluissa oleva luku ilmaisee eron, jos ei huomioida moottoripyörien ja mopojen päästöosuutta (aikaisempi versio ei sisältänyt näitä päästöjä).



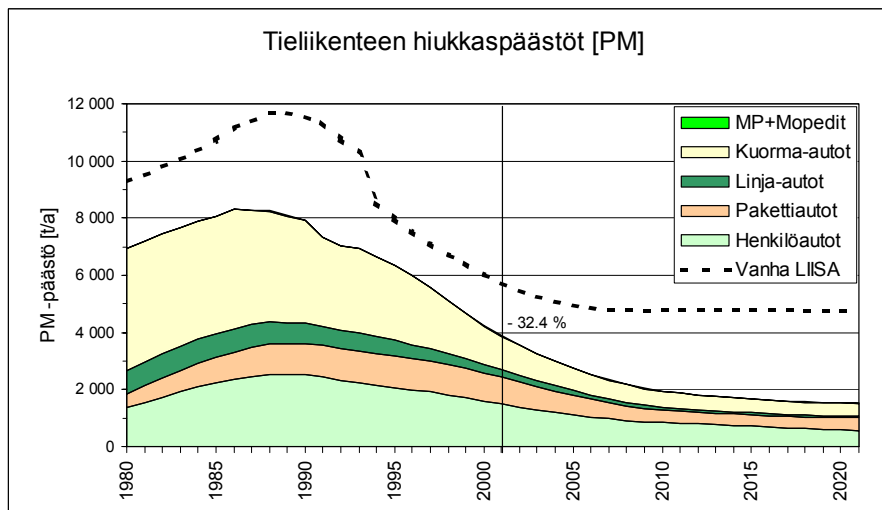
Hiilimonoksidi (CO): Päästöt nykyhetkellä ja menneisyydessä suuremmat kuin vanhassa LIISAssa. Tutkimusten mukaan henkilöautojen ikääntyminen kasvattaa päästöjä aikaisemmin tiedettyä enemmän. Päästöjen vähentyminen tulevaisuudessa suurempaa kuin ennen arvioitu (katalysaattoritekniikan kehitys).



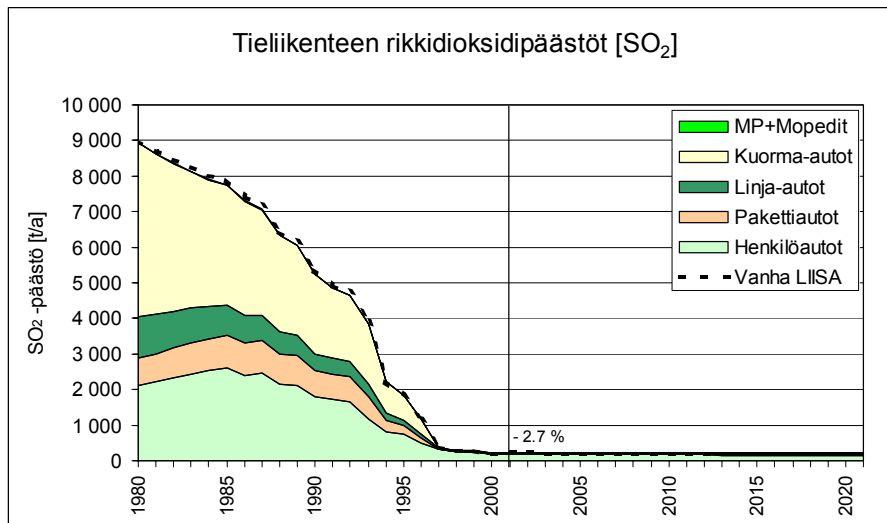
Hiilivedyt (HC): Päästöt nykyhetkellä lähes samat kuin vanhassa LIISAssa. Päästöjen aleneminen menneisyydessä ja tulevaisuudessa aikaisemmin arvioitua suurempaa (katalysaattoritekniikan kehitys). Suomen kaukokulkeutumissopimuksessa lupaama VOC päästöjen vähentyminen 30 % vuodesta 1988 vuoteen 1999 näyttää ainakin tieliikenteen osalta toteutuvan.



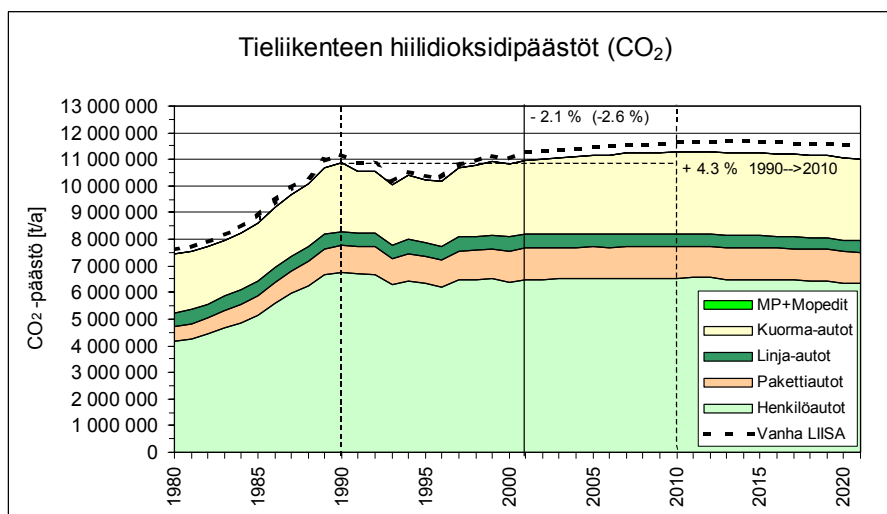
Typen oksidit (NO_x): Päästömäärät ovat tällä hetkellä neljänneksen pienemmät kuin vanhassa LIISAssa. Päästöjen vähentyminen on ollut ja ennustetaan olevan nopeampaa kuin vanhassa LIISAssa. Suurin vaikutus on ollut katalysaattoritekniikan oletettua paremmalla kehityksellä ja tutkimuksin havaitulla tosiasialla, että NO_x päästöt vähenevät ei kat autoilla auton vanhetessa.



Hiukkaset (PM): Päästöt ovat kauttaaltaan kolmanneksen alemmalla tasolla kuin vanhassa LIISAssa. Peruspäästökertoimet ovat etenkin bensiinikäyttöisillä autoilla huomattavasti pienemmät kuin ennen on arvioitu ja tulevaisuuden päästöjä alentaa nopeasti kehittyvä puhdistustekniikka dieselikäyttöisissä autoissa.



Rikkidioksidi (SO₂): Ei muutoksia



Hiilidioksidi (CO₂): Kokonaispäästöissä 2. prosentin alenema, synnä muuhun kuin tie- liikenteeseen menevän bensiinin määrän tarkempi arviointi työkoneiden päästömallin (TYKO 1999) avulla. Ei vaikuta Suomen kokonais- CO₂ taseeseen.

3.3 RAILI 2001 rautatieliikenne

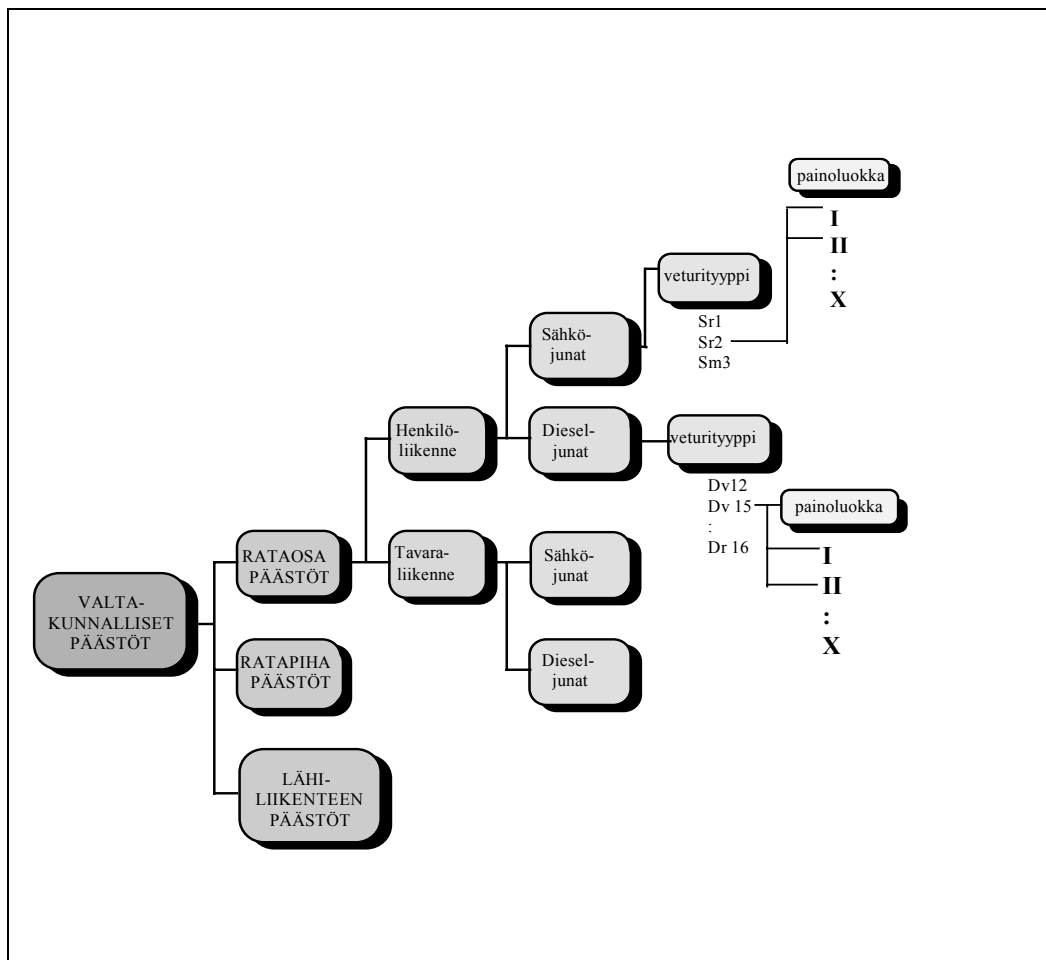
3.3.1 Yleistä

RAILI 2001 laskentajärjestelmän perustan muodostavat rataosa- ja ratapihakohtaiset liikennöintitiedot. Järjestelmä laskee rautatieliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna (2001) **rataosilla** ja **ratapihoilla** jaoteltuna junalajin (henkilöjuna, tavarajuna, pelkkä veturi), veturityypin (sähköveturit (2 erilaista + Pendolino), dieselveturit (6 erilaista)) ja painoluokan (t) mukaan (kuva 4). Mallin avulla voidaan laskea Suomen rautatieliikenteen aiheuttamat päästöt seuraavista yhdisteistä:

hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiukkaset (PM), rikkidioksidi (SO₂) sekä hiilidioksidi (CO₂). Laskennassa on mukana myös polttonesteenkulutus ja energiankäyttö. Päästötiedot saadaan sekä valtakunnallisesti että rataosa- ja ratapiha-kohtaisesti. 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 2001 laskentajärjestelmästä on oma raporttinsa (Mäkelä 2002b). Raportti on saatavissa täydellisenä myös web-osoitteesta

<http://www.lipasto.vtt.fi/lipasto/raili>



Kuva 4. RAILI 2001 laskentamallin rakenne.

3.3.2 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 (g/kg_{pa}, g/kWh).

Junien rataosilla kuluttaman ominaisenergiämäärän selvittämisessä on käytetty apuna VR:llä tehtyjä vetokaluston energiankulutustutkimuksia (Sr1- 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). Ominaisenergiankulutuksen määrittämistä varten on rataosan junaliikenne jaoteltu junapainojen perusteella kymmeneen luokkaan. Kunkin painoluokan keskiarvon perusteella on käyrästä määriteltä tälle luokalle tyypillinen ominaiskulutus. Kokonaisenergiankulutus rataosalla on saatu kertomalla keskenään kunkin painoluokan ominaiskulutus ja vedetyt bruttotonnikilometrit ja laskemalla tulokset yhteen.

Pendolino-junan arvioitu energiankulutus matka-ajossa on noin 15.5 kWh/km. Pendolinon aiheuttamat päästöt on saatu kertomalla sen ajama kilometrimäärä energiankulutuksella ja eri yhdisteiden päästökertoimilla.

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

Vaununlämmityksestä sekä dieselvetoisen kaluston sähköä tuottavista aggregaateista aiheutuneet päästöt ja energiankulutus on laskettu omana kokonaisuutenaan, mutta ne on yksinkertaisuuden vuoksi liitetty matka-ajon päästölukuihin. Rataosakohtaiset arvot on saatu jakamalla koko Suomen vaununlämmitys- ja aggregaattipäästöt ja energiankulutus 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 %).

Näiden kertoimien lisäksi sähkövetoisessa liikenteessä on vielä huomioitu muuntaja-, rajajohto- ja siirtohäviöiden osuus liikennöinnin kokonaiskulutuksesta. Tämä on otettu huomioon kertomalla matka-ajon energiankulutus kertoimella 1.0526 (n. 4.5 %).

3.3.3 Ratapihakohtaiset päästöt

Ratapihakohtainen laskenta sisältää kaikilla Suomen ratapihoilla tehtyjen vaihto-, siirto- ym. töiden päästöt. Laskenta perustuu ratapiha- ja veturityypikohtaisiin työtunteihin. Kullekin veturityypille on määriteltä tyypillinen vaihtotyökulutus (l/h). Ratapihojen polttonesteenkulutus on saatu kertomalla tuntimäärät kulutuksella ja päästömäärät kertomalla polttonesteenkulutus päästökertoimilla. Kaikki ratapihojen veturit ovat dieselveteita.

3.3.4 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 pääkaupunkiseu-

dulla ja 5.9 kWh/km muualla Suomessa). Ominaisenergiankulutusarvo kuvaa yhden Sm-junayksikön keskimääräisesti kilometrin matkalla kuluttamaa energiamäärää normaalissa matka-ajossa. 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.

3.3.5 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. Suoritteiden kehityskerroin kuvaa vedettyjen bruttotonnikiilometrien (lähiliikenteessä junayksikkökilometrien) kokonaismäärää perusvuoteen 2001 verrattuna. Päästökertoimien kehityskertoimet (kullekin yhdisteelle omansa) kuvaavat päästökertoimien arvoja perusvuoden 2001 päästökeroinarvoihin verrattuna. Vuoden 2001 kehityskertoimet ovat kaikissa tapauksissa 1.00.

Junaliikenteen suoritteiden kehitysenusteet perustuvat VR:n ja Ratahallintokeskuksen arvioihin. Päästökertoimien muutosennusteet perustuvat sähköjunaliikenteen osalta Fortum Oyj:n ennusteisiin (sähköntuotanto) ja dieseljunaliikenteen osalta ulkomaisiin tutkimustuloksiin ja arvioihin.

3.4 MEERI 2001 vesiliikenne

3.4.1 Yleistä

MEERI-laskentajärjestelmän perustan muodostavat satamien liikennöintitiedot. Järjestelmä laskee vesiliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna (2001) väylillä ja satamissa, jaoteltuna laivan tyyppin (matkustajalaiva, rahtilaiva), liikennöintialueen (kotimaanliikenne, ulkomaanliikenne), alkuperän (suomalainen, ulkomaalainen) ja koon (bruttorekisteritonnit) mukaan. Valtakunnallisessa laskennassa on laivatyyppi mahdollista valita vielä tarkemmin (esim. matkustaja-autolautta, säiliöalus). Mallin avulla voidaan laskea Suomen vesiliikenteen aiheuttamat päästöt seuraavista yhdisteistä: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiukkaset (PM), rikkidioksidi (SO₂) sekä hiilidioksidi (CO₂). Laskennassa on mukana myös polttonesteenkulutus. Päästötiedot saadaan sekä valtakunnallisesti että satamakohtaisesti. Päästömäärät lasketaan päästökerointen ja laivojen energiankulutuksen tulona. Valtakunnalliseen laskentaan on lisäksi liitetty huviveneiden, kalastusalusten ja -veneiden, työalusten ja -veneiden sekä jäänmurtaajien aiheuttamat päästöt ja energiankulutus. Suomen armeijan veneet ja alukset eivät kuitenkaan sisälly laskentaan. Laskentajärjestelmä sisältää karkeat arviot vuosien 1980-1995 päästömääristä, tarkat laskelmat vuosilta 1996, 1997, 1998, 1999, 2000 ja 2001 sekä ennusteet vuodesta 2002 vuoteen 2021.

MEERI 2001 laskentajärjestelmästä on oma raporttinsa (Mäkelä 2002c). Raportti on saatavissa täydellisenä myös web-osoitteesta <http://lipasto.vtt.fi/lipasto/meeri>

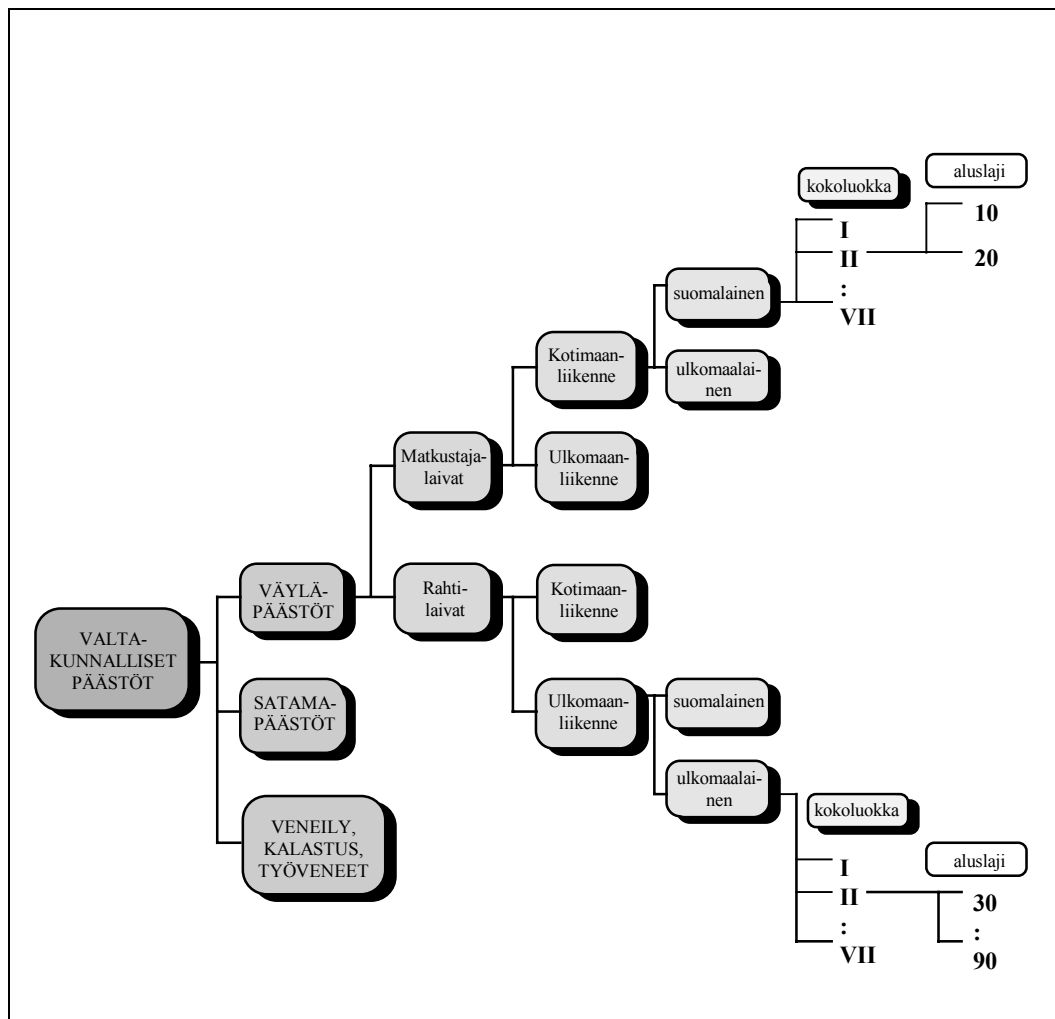
3.4.2 Valtakunnalliset päästöt

Valtakunnallinen laskenta koostuu kahdesta osasta: **satamapäästöistä** ja **väyläpäästöistä**. Satamapäästöihin lasketaan kuuluviksi kaikki laivojen satama-alueella aiheuttamat päästöt (sekä liikkussa että seisonta-aikana laiturissa), väyläpäästöihin kaikki väylällä ajon aikana aiheutetut päästöt. Veneliikenteen, kalastusalusten ja -veneiden, työalusten ja -veneiden sekä jäänmurtaajien päästöt on laskettu omana kokonaisuutenaan. Kuvassa 5 on esitetty laivaliikenteen jaottelu valtakunnallisessa laskennassa.

Satamapäästöjen laskenta perustuu satamassa käyneiden laivojen lukumäärään. Laskentamallissa määritellään laivojen energiankulutus satamaväylällä sekä seisonta-aikana laiturissa. Satamaväylällä liikennöintiin (sisääntuloväylien nopeusrajoitusjaksot + satamamanööverit) kuluva ajaksi on kaikkien laivojen osalta käytetty sekä lähtö- että saapumistilanteessa 20 minuuttia. Näiden aikojen osalta pääkoneistoa on kaikilla laivatyypeillä oletettu käytettävän 20 % kuormituksella. Apukoneistoa on oletettu käytettävän 80 % kuormituksella. Seisonta-aikana laiturissa on apukoneistoa oletettu käytettävän 60 % teholla, paitsi kokoluokassa VII, jossa käytettäväksi tehoksi on arvioitu 80 %. Rahtiaivojen seisonta-ajat laiturissa on määritelty ruotsalaisen tutkimuksen perusteella. Ajat vaihtelevat kokoluokasta ja laivatyyppistä riippuen 43 tunnista 13 tuntiin. Matkustajalaivojen keskimääräiseksi seisonta-ajaksi on oletettu 7 tuntia. Satamapäästöt on saatu kertomalla energiankulutukset laiturissa ja satamaväylällä koneistojen kuormituksia vastaavilla päästökertoimilla ja laskemalla saadut päästöt yhteen.

Väyläpäästöjen laskenta perustuu laivojen lukumäärän lisäksi niiden väylällä, satama-alueen ulkopuolella, kulkemaan matkaan (km). Kullekin satamassa käyneelle laivalle on laskettu määränpäättäjien avulla sen väylällä kulkema matka ja energiankulutus. Pääkoneiden keskimääräiseksi kuormitukseksi väylällä on oletettu 80 % ja apukoneiden 30 %. Väyläpäästöt on saatu kertomalla laivojen energiankulutukset väylällä koneistojen kuormituksia vastaavilla päästökertoimilla.

Huviveneiden päästöjen laskenta perustuu niiden lukumäärään sekä vuosittaiseen käyttöaikaan (h/a/vene). Huviveneet on jaettu moottorityypin perusteella ryhmiin (perämoottoriveneet, sisäperämoottoriveneet, sisämoottoriveneet, vesisuihkumoottoriveneet, muut moottoriveneet, purjeveneet), joille kullekin on määritelty tyypillinen vuotuinen käyttöaika. Kalastusalusten ja -veneiden sekä työalusten ja -veneiden päästöjen laskenta perustuu niiden lukumäärään sekä vuosittaiseen polttonesteen kulutukseen (kg/a/vene). Polttonesteen kulutus on arvioitu moottoritehon perusteella. Jäänmurtaajien päästöjen laskenta perustuu niiden käyttämän polttonesteen määrään.



Kuva 5. Laivaliikenteen jaottelu valtakunnallisessa laskennassa

3.4.3 Satamakohtaiset päästöt

Satamakohtainen laskenta sisältää kaikkien Suomen satamien **satamapäästöt**. Laskennassa ei ole huomioitu satamien erityispiirteitä, vaan käytetyt lähtöoletukset ovat kaikille satamille samat. Satamakohtaiset tulokset ovat siten melko karkeita ja vain suuntaa antavia. Laskenta tapahtuu valtakunnallista laskentaa hiukan karkeammalla tasolla, laivatyyppiä on mahdollista määrittellä ainoastaan rahti- tai matkustajalaiva. Veneliikenteen, kalastusalusten ja jäänmurtajien päästöt eivät sisälly satamakohtaiseen laskentaan.

3.4.4 Aikasarjat ja ennusteet

Laskentajärjestelmä laskee perusvuoden 2001 lisäksi pakokaasupäästöt vuosilta 1980-2001 sekä ennustevuosilta 2002-2021. Sekä kuluneiden vuosien että ennustevuosien laskenta perustuu kehityskertoimiin, joilla perusvuoden pakokaasujen määrää korjataan. Suoritteiden kehityskertoimen kuvaava laivojen satamassakäyntien määrää perusvuoteen 2001 verrattuna. Päästökertoimien kehityskertoimet (kullekin yhdisteelle omansa) kuvaavat päästökertoimien arvoja perusvuoden 2001 päästökertoimiarvoihin verrattuna. Vuoden 2001 kehityskertoimet ovat kaikissa tapauksissa 1.0. Laivaliikenteen suoritteiden kehitysenennusteet perustuvat merenkulkulaitoksen ja suurimpien varustamoiden (matkustajaliikenne) arvioihin. Päästökertoimien muutosennusteet taas ulkomaisiin tutkimustuloksiin ja arvioihin.

3.5 ILMI 2001 ilmaliikenne

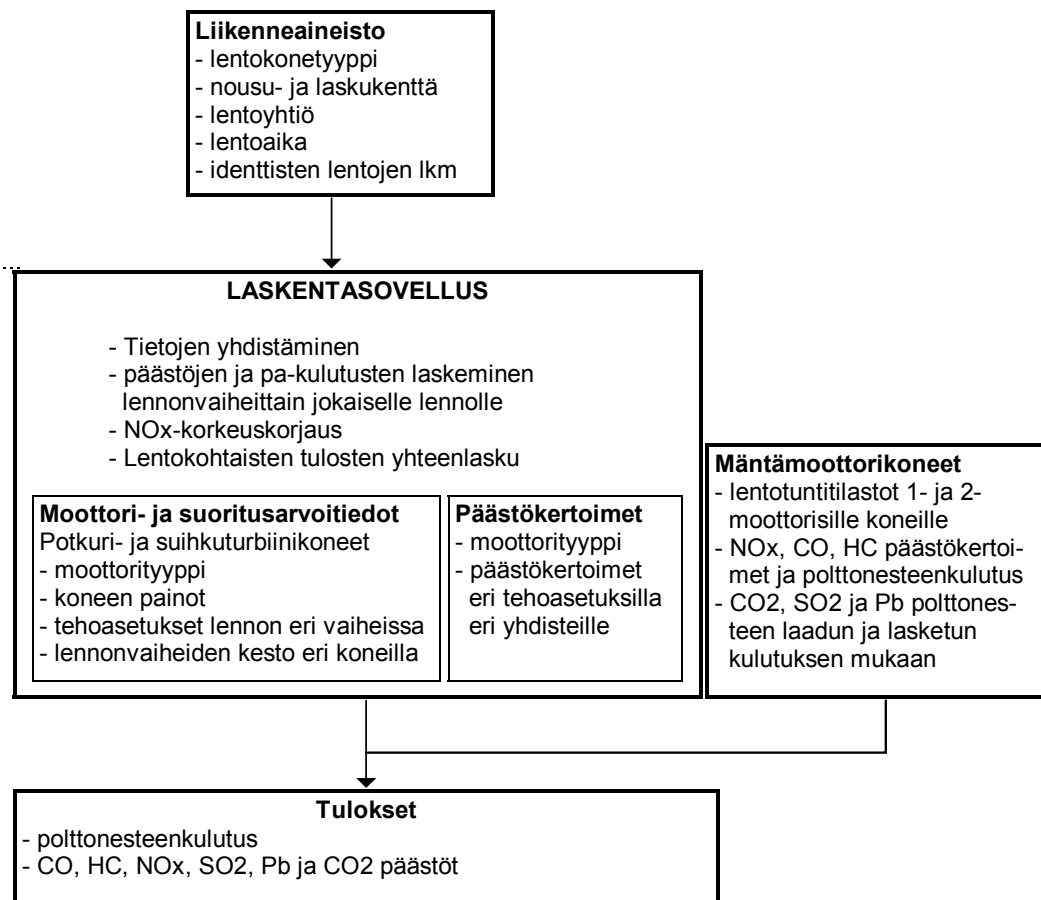
3.5.1 Yleistä

ILMI 2001 on LIPASTO 2001 laskentajärjestelmän ilmaliikennettä koskeva alamalli, joka laskee siviililentoliikenteen päästöt Suomen ilmailutiedotusalueilla (Savola 1995). ILMI 2001 on päivitetty versio järjestelmästä ILMI 2000. ILMI laskentajärjestelmä on tehty Ilmailulaitoksessa. Valmiit laskentatiedot syötetään LIPASTO järjestelmään. Pääosa mallista on tehty vuosina 1994 ja 1995 ja työ on kuulunut Kauppa- ja teollisuusministeriön MOBILE tutkimusohjelmaan. Työstä on julkaistu raportti: Savola M. & Viinikainen M., Lentoliikenteen päästöt Suomessa. Vantaa 1995. Ilmailulaitos, lennonvarmistusosasto. Ilmailulaitoksen julkaisusarja A21/95. MOBILE tutkimusohjelma MOBILE 212Y-1. 47 s., jossa laskentamenetelmä on kuvattu tarkemmin. Mallin päivittää Ilmailulaitos vuosittain edellisvuoden tiedoilla ja tulokset esitetään myös Web sivuilla osoitteessa

<http://lipasto.vtt.fi/lipasto/ilmi>

Yhdyshenkilö Ilmailulaitoksessa on Nina Rusko.

ILMI 2001 laskentajärjestelmä koostuu sovelluksesta, jolla lasketaan suihku- ja potkuriturbiinikoneiden polttoaineenkulutus ja päästöt sekä erillisestä osasta, jolla lasketaan karkeammalla menetelmällä mäntämoottorikoneiden polttoaineenkulutus ja päästöt. Oheinen kuva esittää laskentajärjestelmän yleistä rakennetta.



Kuva 6. ILMI 2001-mallin rakenne.

Suihku- ja potkuriturbiinikoneiden typenoksidi (NO_x)-, hiilivety (HC)- ja hiilimonoksidipäästöt (CO) sekä polttoaineenkulutus Suomen lentotiedotusalueella vuonna 2001 on laskettu liikennetiedoista, moottori- ja suoritusarvotiedoista sekä päästökertoimista. Lasketusta polttoaineenkulutuksesta on edelleen laskettu hiilidioksidi (CO₂)- ja rikkidioksidipäästöt (SO₂).

Liikenneaineisto on Ilmailulaitoksen liikennetietosovelluksesta (LIKE), johon kerätään tiedot lennonvarmistuskeskuksista sekä lentoasemilta. LIKE sisältää kaikki toistuvaislentosuunnitelmat sekä tiedot sinne erikseen syötetyistä lennoista. Liikenneaineistosta on poistettu mäntämoottorikoneet, helikopterit sekä sotilasliikenne. Mäntämoottorikoneiden päästöt on laskettu lentotuntitilastojen perusteella erikseen, koska kaikki mäntämoottorikoneiden lennot eivät välity tietojärjestelmään.

LIKE-järjestelmästä on saatu seuraavat tiedot:

- lentokonetyyppi
- moottoriluokka
- lentoyhtiö
- lähtö- ja laskeutumispaidat
- lentoaika tarkasteltavalla lentoreitillä
- lentoaika Suomen lentotiedotusalueilla
- lentojen lukumäärä tarkasteltavalla lentoreitillä

Kukin lento on jaettu lennonvaiheisiin, joita ovat rullaus, lentoonlähtö, nousulento, matkalento, liuku, lähestyminen ja rullaus. Eri lennonvaiheissa käytetään erilaisia tehoasetuksia, ja kullekin lennonvaiheelle on määritetty päästökertoimet erikseen. Kuhunkin lennonvaiheeseen käytetty aika eri pituisilla lentomatkoilla on saatu konetyyppikohtaisista suoritusarvomanuaaleista. Kustakin lennosta on otettu huomioon vain ne lennonvaiheet, jotka ovat tapahtuneet Suomen lentotiedotusalueella.

Eri konetyyppien päästötiedot pohjautuvat Kansainvälinen siviili-ilmailujärjestö ICAO:n tietopankin tietoihin. Suihkuturbiinikoneissa käytettävistä moottorityypeistä lähes kaikista on saatavilla päästötiedot. Potkuriturbiinikoneiden osalta moottorityyppien päästötietoja löytyy ainoastaan muutamien osalta. Tästä syystä erälle potkurikonetyypeille on käytetty lähinnä vastaavia oletusmoottorityyppisiä.

Hiilidioksidi- ja rikkidioksidipäästömäärät on laskettu polttonesteen kulutuksesta Suomessa toimitettavan polttonesteen laadun perusteella. Polttonesteen laatutiedot on saatu Fortum Oil and Gas Oy:ltä. Hiukkasten päästömääriä ei ole arvioitu, koska hiukkaspäästöistä ei ole saatavilla päästökertoimia.

Lentokorkeudet on arvioitu lennon keston ja koneen maksimilentoonlähtöpainon perusteella. Typenoksidipäästöjen laskennassa on käytetty korkeuskorjauskerrointa, koska ilmanpaine ja kosteus vaikuttavat typenoksidipäästöjen määrään.

Mäntämoottoriliikennemäärä on arvioitu yleisilmailutilastojen lentotuntimäärien perusteella. Päästölaskentaa ei näiden osalta suoritettu lennoittain, vaan erikseen yksityis- ja ansiolentojen kokonaislentotuntimäärien perusteella. Helikoptereita ei ole otettu mukaan laskelmiin, koska niissä käytettävistä moottoreista ei ole saatavilla päästökertoimia ja helikoptereiden lentotuntimäärät ovat suhteellisen vähäiset.

3.5.2 Mallin kehittäminen ja sen vaikutukset tuloksiin

Ilmailulaitos kehitti laskentaohjelmaa yhdessä Kuopion yliopiston kanssa kahdessa eri vaiheessa vuosien 1999-2001 välisenä aikana. Kehitystöiden ensisijainen tavoite oli tarkentaa eri ilma-alusten matkalentovaiheen polttoaineenkulutusindeksejä. Töiden kuluessa lisäksi korjattiin tai parannettiin eräitä muita ohjelman toimintoja. Vuonna 2002 ohjelman tietokantaan lisättiin puuttuvia konetyyppejä ja laajennettiin korvaavina käytettävien referenssikoneiden luetteloa.

Kehitystyö vuosien 1999 ja 2000 aikana

Ilma-alusten matkalentovaiheen polttoaineenkulutusindeksit uusittiin kokonaan käyttäen Eurocontrol'in (Euroopan lennonvarmistusta koordinoiva elin) julkaisemaa BADA 3.1 -tietokantaa. Muutos on kasvatti erityisesti ylilentojen polttoaineen kulutusta, sillä esimerkiksi Boeing 747-koneiden indeksit ovat muuttuivat yli kaksinkertaisiksi.

Rullausaikojen virheellinen käsittely korjattiin, mikä pidensi erityisesti matkalentovaiheen laskennallista kestoja. Tämän vuoksi polttoaineen kulutus ja päästöt kasvoivat. Rullausajat eri lennoille myös muutettiin. Kotimaan lentojen kokonaisrullausaika on 15 minuuttia, ulkomaan lähtevien 15 minuuttia ja ulkomaan saapuvien 5 minuuttia.

Polttoaineenkulutuksen riippuvuutta lennon pituudesta tasoitettiin muuttamalla lentoajan funktiona määritetyn lentopinnan oletusta. Kokonaistuloksiin tällä ei ollut merkittävää vaikutusta.

Lisäksi ulkomaan saapuvien lentojen matkalennon keston laskentatapa (Suomen lentotiedotusalueella) korjattiin, mikä lyhensi eräiden ilma-alusten lennon kestoja ja päästöjä. Ohjelman tietokannasta puuttuvien konetyyppien käsittelyä parannettiin sekä vuonna 1999 että 2000 laajentamalla korvaavina käytettävien referenssikoneiden luetteloa. Vuonna 2000 on edelleen parannettu laskennassa käytettävän liikennedatan tuottamista erillisillä hauilla LIKE-järjestelmästä.

Kehitystyö vuosien 2001 ja 2002 aikana

Tärkeimpien ilma-alusten matkalentovaiheen polttoaineenkulutusindeksejä päivitettiin vastaamaan kotimaisen lentoyhtiön polttoaineenkulutusindeksejä. Muiden ilma-alusten matkalentovaiheen polttoaineenkulutusindeksejä päivitettiin käyttäen Eurocontrol'in julkaisemaa BADA 3.3 -tietokantaa.

Ohjelmaan lisättiin uudet konetyypit, Saab 2000 - potkuriturbiinikone ja Avro Regional Jetlines 85 -suihkuturbiinikone, sekä vaihdettiin Airbus 319- ja 321-suihkuturbiinikoneiden moottorit ja päästökertoimet vastaamaan niitä moottoreita, joita kotimainen lentoyhtiö käyttää Airbus 319- ja 321-suihkuturbiinikoneissaan.

Lisäksi tehtiin korjauksia Saab 340 -potkuriturbiinikoneen lentoonlähtöprofiiliin ja typenoksidipäästöjen laskennassa käytettävään korkeuskorjauskerroinlaskentaan.

Ohjelman tietokannasta puuttuvien konetyyppien käsittelyä parannettiin edelleen laajentamalla korvaavina käytettävien referenssikoneiden luetteloa.

Matkalentovaiheen polttoainekulutusindeksien päivityksen myötä polttoaineenkulutus ja päästöt vähenivät kaikilla lentotyypeillä (kotimaa / ulkomaan saapuva / ulkomaan lähtevä / ylilento). Muilla muutoksilla ei ollut tuloksiin merkittävää vaikutusta.

Vuoden 2021 ennustetta laadittaessa liikennemäärien ja konekaluston teknisen kehittymisen muuttumista on arvioitu aiempaa tarkemmin.

3.5.3 Vuosien 1996 - 2000 päästöt

Vuoden 1998 ja 1999 tulokset poikkeavat merkittävästi edellisten vuosien, 1996 ja 1997, julkaistuista tuloksista johtuen korjatusta rullausajan käsittelystä sekä korjatuista matkalentovaiheen polttoaineenkulutuksista. Tämän vuoksi vuosien 1998 ja 1999 tuloksia ei tule suoraan verrata edellisten vuosien tuloksiin.

Vuoden 2000 tulokset poikkeavat vuoden 1999 julkaistuista tuloksista hiukan. Vaikka laskentamallin päivitys vähensi polttoaineenkulutuksia ja päästöjä, vuoden 2000 polttoaineenkulutus ja päästöt kasvoivat, koska vuoden 2000 lentojen lukumäärän ja lentoajojen kasvun vaikutus tuloksiin oli suurempi kuin mallin päivityksen vaikutus.

3.5.4 Vuoden 2001 päästöt

Vuonna 2001 Suomen lentotiedotusalueilla siviililentojen kokonaislukumäärä ja -lentoajat pysyivät lähes samana kuin vuonna 2000. Tästä johtuen laskennallinen polttoaineenkulutus ja päästöt eivät muuttuneet merkittävästi.

Suihku- ja potkuriturbiiniliikenteen lentojen lukumäärä Suomen ilmaliikenteessä kasvoi 1.001-kertaiseksi ja laskennallinen polttoaineenkulutus väheni 0.998-kertaiseksi. Kotimaan lennoissa laskivat lentojen lukumäärä kolme prosenttia ja polttoaineenkulutus kaksi prosenttia vuodesta 2000. Ulkomaan saapuvien ja lähtevien lentojen lukumäärät kasvoivat kaksi prosenttia, mutta polttoaineenkulutus laski ulkomaan saapuvien lennoilla yksi ja ulkomaan lähtevien lennoilla neljä prosenttia. Ylilentojen määrä kasvoi kaksi prosenttia ja polttoaineenkulutus yhdeksän prosenttia. Ylilennoista aiheutuvat päästöt eivät kuulu Suomen ilmaliikenteen tai kotimaisten lentoyhtiöiden Suomessa aiheuttamiin päästöihin.

Suihku- ja potkuriturbiinikoneiden typen oksidien päästömäärä Suomen ilmaliikenteessä kasvoi 1.05-kertaiseksi edellisen vuoden julkaistuihin tietoihin verrattuna. Typen oksidien päästömäärä ei kasva laskennallisen polttoaineenkulutusmäärän suhteessa, koska typen oksidien ominaispäästökertoimiin lennon eri vaiheissa vaikuttavat mm. tehoasetus sekä korkeuskorjaus. Tuloksia voidaan pitää luotettavina ja tarkempina kuin edellisinä vuosina julkaistuja arvioita.

3.5.5 Arvio vuodesta 1980 lähtien ja ennuste vuoteen 2021

Päästölaskelmissa käytetyt turbiinikoneiden liikennemäärät vuosille 1980-1995 on laskettu liikennetilastojen perusteella käyttäen apuna vuoden 1996 liikennetilastojen ja samalle vuodelle päästölaskentaa varten tuotetun liikennemäärän suhdetta. Päästökerroimina on käytetty vuoden 1998 keskimääräisiä päästökertoimia lentotyypeittäin.

Aiempien vuosien päästöarvioissa ei ole huomioitu konekaluston muuttumista, mikä jossain määrin aliarvioi päästöjen määrää, sillä uusien koneiden päästömäärät ja energian kulutus ovat pienempiä kuin vanhojen, vielä 1980-luvulla käytössä olleiden koneiden. Arvioissa ei myöskään ole otettu huomioon lentoreiteissä tapahtuneita muutoksia.

Ennustetta laadittaessa on arvioitu liikenneilmailun (suihku- ja potkuriturbiinikoneet) liikennemäärien ja konekaluston teknisen kehittymisen muuttumista aiempaa tarkemmin. Ennusteessa on käytetty lähtötietoina vuoden 2001 liikennemääriä. Liikenneilmailulle on oletettu kahden prosentin vuosittainen liikennemäärän kasvu.

Konekalustosta noin 10 % on arvioitu vaihtuvan uusiin vähemmän polttoainetta kuluttaviin koneisiin vuoteen 2005 mennessä, ja asteittain vuodesta 2005 vuoteen 2020 men-

nessä konekalustosta edelleen noin 40 % on oletettu vaihtuvan uusiin vähemmän polttoainetta kuluttaviin koneisiin. Vuoden 2020 jälkeen vanhan konekaluston vaihtuminen uuteen konekalustoon pysähtyy joksikin aikaa, mutta vuosittainen liikennemäärien lisäys arvioidaan kuitenkin lennettävän uusilla vähemmän polttoainetta kuluttavilla koneilla. Teknisen kehityksen vuoksi on arvioitu typenoksidipäästöjen vähenevän, hiilivetyypäästöjen pysyvän jokseenkin samana ja hiilimonoksidipäästöjen nousevan suhteessa kulutettuun polttoainemäärään.

Yleisilmailun (mäntämoottorikoneet) ennusteessa on käytetty vuoden 2001 lentotuntimääriä, mikä on Lentoturvallisuushallinnon ennakoarvio. Yleisilmailulle on oletettu yhden prosentin vuosittainen lentotuntimäärien kasvu.

Laskentamenetelmän kehittäminen jatkossa

Ilmailulaitos selvittää mahdollisuuksia kehittää laskentamenetelmää nykyvaatimusten ja -tekniikan pohjalta. Ohjelman tietokantaa parannetaan tarvittaessa lisäämällä uusien kone- ja moottorityyppien päästökertoimia sekä laajentamalla korvaavina käytettävien referenssikoneiden luetteloa.

4 Laskentatulokset

4.1 Päästömäärät

4.1.1 Kaikki liikennemuodot yhteensä

Taulukossa 1 ja kuvassa 7 on esitetty liikenteen aiheuttamat päästöt ja energiankulutus Suomessa vuonna 2001 liikennemuodoittain. Kaikki LIPASTO 2001 järjestelmästä tähän raporttiin poimitut tulostaulukot on esitetty järjestelmän tuottamassa muodossa. Lähtötietojen tarkkuuden edellyttämä esitystarkkuus olisi noin kolmen merkitsevän numeron tarkkuus.

Tieliikenteen aiheuttamat päästöt hallitsevat kokonaisuutta kaikkien muiden yhdisteiden paitsi rikkidioksidin osalta, jonka kohdalla vesiliikenne on hallitsevassa asemassa. Tieliikenteessä on siirrytty käyttämään lähes rikkittömiä polttonesteitä, kun taas laivaliikenne on kansainvälistä eikä vähärikkisten polttoaineiden käyttö ole helposti säädeltävissä. Vesiliikenteen päästömäärät riippuvat suurimmaksi osaksi siitä miltä alueelta ulkomaille suuntautuva laivaliikenne lasketaan mukaan. Tässä yhteydessä käytetään Suomen talousvyöhykettä laskenta-alueena. Sähköjunien käyttämän sähkön tuotannon aiheuttamat päästöt on laskettu mukaan taulukkoon 1.

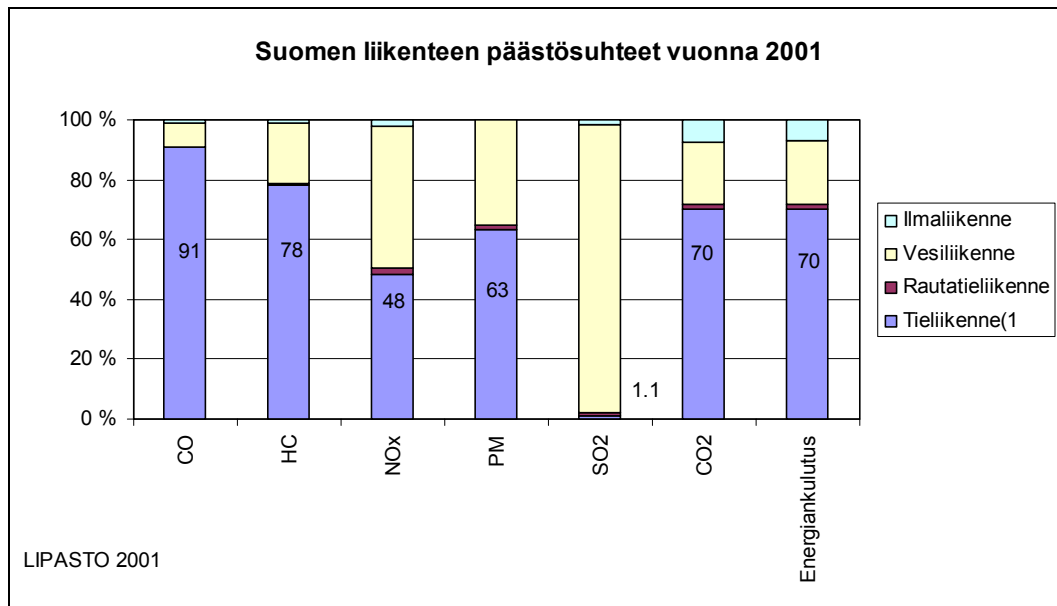
Taulukko 1. Suomen liikenteen päästöt ja energiankulutus 2001.

	CO t/a	HC t/a	NOx t/a	Hiukkaset t/a	SO2 t/a	CO2 t/a	Energian 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	3.7
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	216

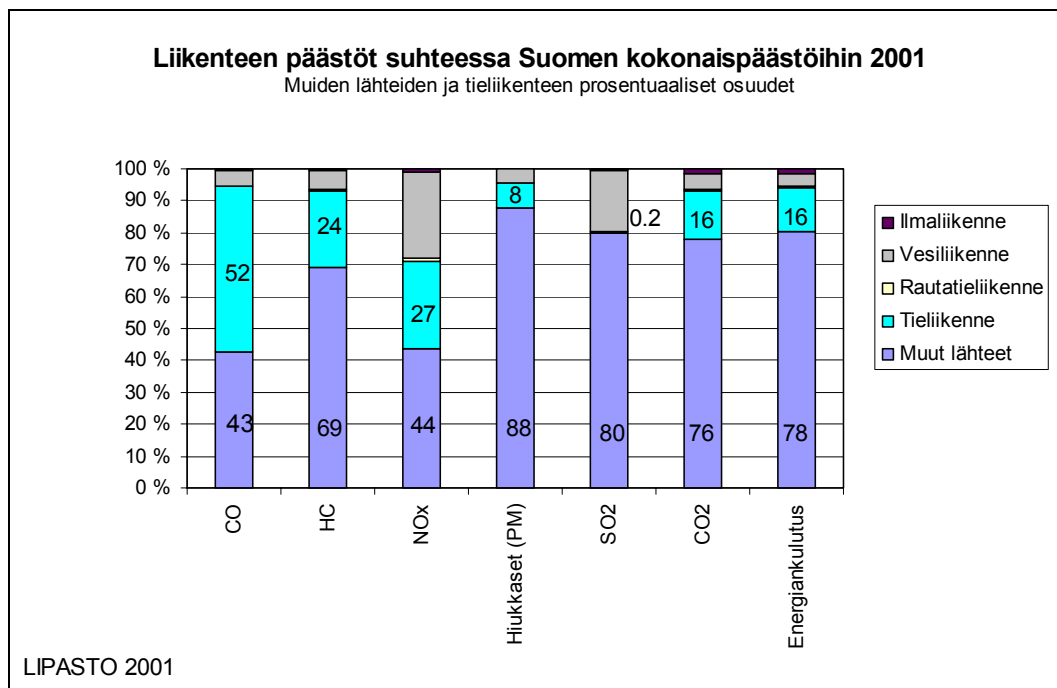
⁽¹⁾ tieliikenteen päästöluvut muuttuneet huomattavasti päästömallin kehittämisen seurauksena

⁽²⁾ ilmaliikenteen hiukkastiedot 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, ovat kiinteiden lähteiden rikkidioksidipäästöt edelleen ylivoimaisen suuria kokonaispäästöissä. Liikenteen päästöt ovat kokonaisuudessaan joka tapauksessa ratkaisevassa asemassa useiden yhdisteiden kohdalla.



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



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

Tässä esitetyt päästöt perustuvat Suomen kansalliseen tapaan laskea päästömäärät. Kansainvälisiin tarkoituksiin laskettavissa kansallisissa päästöraporteissa ulkomaanliikenteen päästöjä ei lasketa kokonaispäästöihin, vaan ne ilmoitetaan erikseen (taulukko 2). 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. Sähköjuni liikenteen käyttämän sähköenergian aiheuttamat päästöt lasketaan sähköntuotannon päästöiksi ja varsinaisiksi rautatieliikenteen päästöiksi jää siten dieseljuni liikenteen aiheuttama päästö.

Taulukko 2. Liikenteen päästöt ja energiankulutus ilmaistuna IPCC:n suosittamalla jaotuksella sekä muiden lähteiden päästöt ja energiankulutus.

Suomen liikenteen päästöt vuonna 2001 IPCC:n suosituksen mukaisella jaotellulla [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
Ilmaliikenne, lentopetrolit ⁽⁵⁾	1 660	406	3 290	149	275	1 050 000	14 900
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 jaotellussa 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

Päästöjen kehitys

Aikasarjatarkastelussa aikajänteeksi on valittu vuodet 1980-2021, yhteensä 42 vuotta. Vuodet 1980-2001 kuvaavat todellista, tapahtunutta kehitystä ja vuodet 2001-2021 arvioitua tulevaisuuden kehitystä. Taulukossa 3 on esitetty eri yhdisteiden päästömäärien kehitys sekä energiankulutus yhteensä vuodesta 1980 vuoteen 2021.

Liitteissä 2/1-2/8 on esitetty Suomen liikenteen aiheuttamien päästömäärien kehitys. Liitteissä 3/1-3/3 ovat vastaavat aikasarjat kuvina.

Taulukko 3. Päästöaikasarja 1980-2021 (kaikki liikennemuodot yhteensä).

	CO	HC	NO _x	Hiukkaset	SO ₂	CO ₂	En. kulutus PJ/a
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	
1980	500 823	70 174	204 303	8 676	32 156	10 601 181	145
1981	505 638	70 829	203 467	8 892	30 488	10 620 004	146
1982	508 314	71 573	202 523	9 087	28 859	10 718 444	148
1983	513 688	72 388	201 684	9 286	28 386	10 932 660	151
1984	515 630	73 356	202 175	9 508	27 906	11 175 195	154
1985	510 661	73 558	204 613	9 752	28 007	11 627 462	161
1986	505 523	73 939	205 841	9 973	26 555	12 163 576	168
1987	506 788	75 219	209 379	10 011	27 183	12 841 908	177
1988	508 605	77 075	212 165	10 020	26 450	13 353 313	184
1989	510 463	78 783	214 566	9 878	26 100	14 082 068	194
1990	496 060	77 198	211 936	9 773	25 681	14 421 840	199
1991	472 642	73 299	199 545	9 198	24 752	14 087 746	194
1992	460 230	71 628	193 848	8 916	24 190	14 036 866	194
1993	441 726	69 040	193 107	8 890	24 143	13 685 509	189
1994	427 256	66 663	193 416	8 749	24 445	14 270 901	197
1995	418 440	64 776	186 798	8 405	22 898	14 120 953	195
1996	406 384	62 117	179 302	8 018	21 439	14 087 321	194
1997	397 983	60 111	178 012	7 738	22 186	14 872 141	205
1998	390 305	58 507	167 354	7 181	20 763	15 002 469	207
1999	380 666	56 543	170 585	6 962	20 742	15 701 931	217
2000	364 825	53 520	161 054	6 449	20 021	15 539 936	215
2001	352 755	51 203	155 706	6 121	19 664	15 732 138	217
2002	324 225	47 615	149 225	5 772	18 604	15 823 305	219
2003	301 264	44 026	142 062	5 438	17 479	15 893 253	220
2004	275 369	40 511	135 024	5 147	16 347	15 942 121	220
2005	251 683	37 030	128 315	4 863	15 179	15 986 180	221
2006	227 127	33 834	121 581	4 590	14 601	16 000 882	221
2007	205 850	30 917	114 929	4 357	13 969	16 049 266	222
2008	187 191	28 377	108 377	4 148	13 347	16 049 563	221
2009	171 442	26 353	102 360	3 969	12 731	16 072 542	222
2010	162 034	25 145	97 215	3 833	12 124	16 096 705	222
2011	155 762	24 452	93 171	3 733	11 552	16 125 380	222
2012	150 349	23 855	89 381	3 648	10 986	16 126 392	222
2013	144 642	23 263	85 790	3 560	10 424	16 090 415	222
2014	139 715	22 718	82 283	3 486	9 868	16 083 586	222
2015	134 850	22 304	79 087	3 428	9 318	16 095 949	222
2016	130 374	21 856	76 051	3 358	8 773	16 077 439	222
2017	126 219	21 483	73 190	3 293	8 234	16 055 481	221
2018	122 222	21 122	70 588	3 246	7 700	16 030 773	221
2019	118 760	20 810	68 204	3 207	7 334	16 015 197	221
2020	115 491	20 484	65 947	3 161	6 971	15 933 800	220
2021	113 344	20 300	63 949	3 133	6 613	15 912 194	219

Päästömäärien kehityksessä näyttelee tieliikenne huomattavinta osaa. Päästöjen nousu 80-luvulla aiheutui suoritteiden voimakkaasta kasvusta. Vuonna 1991 laajaan käyttöön tulleet katalysaattorilla varustetut autot saivat päästömäärien kehityksen voimakkaaseen laskusuuntaan. Laskusuunta jatkuu, vaikka suorite on laman jälkeen lähtenyt kasvuun.

Laivaliikenteen rikkidioksidipäästöt (SO₂) ovat edelleen suuret, mutta sielläkin suuntaus on aleneva Itämerellä liikkuvien laivojen polttonesteen rikin määrän alentamisen vuoksi.

Hiilidioksidipäästöt ovat lähteneet jälleen kasvuun lisääntyvän polttonesteenkulutuksen vuoksi. Parantuva energiatehokkuus loiventaa kuitenkin kasvukäyrää.

4.1.2 Tieliikenne

Tieliikenteessä on päästöjen laskennassa ollut jo vuodesta 1989 käytössä laskentajärjestelmä nimeltä LIISA. Tällä hetkellä on käytössä versio LIISA 2001.1, joka on osa LI-PASTO 2001 laskentajärjestelmää. Tieliikenteen laskentajärjestelmästä löydät tietoa web-osoitteesta <http://lipasto.vtt.fi/lipasto/liisa>

LIISA laskentajärjestelmä uusittiin perusteellisesti lähtötietojensa osalta. Tärkeimmät muutokset on esitetty edellä kappaleessa 3.2.3

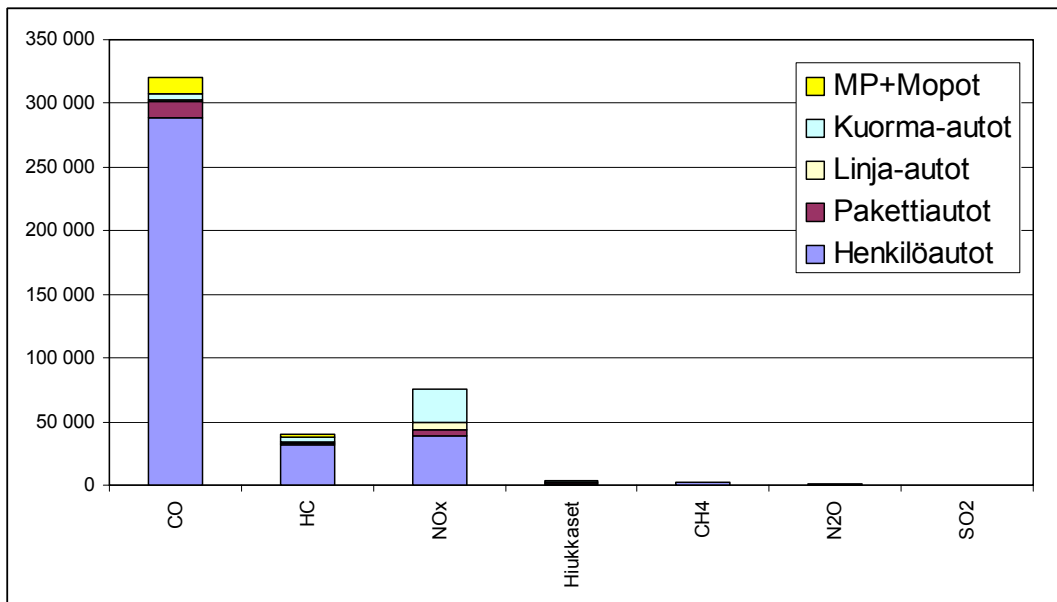
Tieliikenteen päästömäärät vuonna 2001 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 320 000 t, hiilivetyjä (HC) 40 100 t, typen oksideja (NO_x) 75 200 t, hiukkasia 3 886 t, metaania (CH₄) 2 440 t, typpioksiduulia (N₂O) 971 t, rikkidioksidia (SO₂) 224 t ja hiilidioksidia (CO₂) 11 000 000 t. Polttonesteitä kulutettiin yhteensä 3 510 000 t ja energiaa käytettiin 151 PJ. Kilometrejä ajettiin tieliikenteessä yhteensä 48,3 miljardia.

Taulukossa 4 on esitetty LIISA 2001.1 järjestelmän perustuloste, jossa päästöt ovat väylätyypeittäin ja ajoneuvotyypeittäin. LIISA 2001.1 malli tuottaa päästötiedot kuntatasolle saakka. Taulukon luvut ovat suoraan laskentajärjestelmästä. Lähtötietojen tarkkuuden edellyttämä esitystarkkuus olisi noin kolmen merkitsevän numeron tarkkuus.

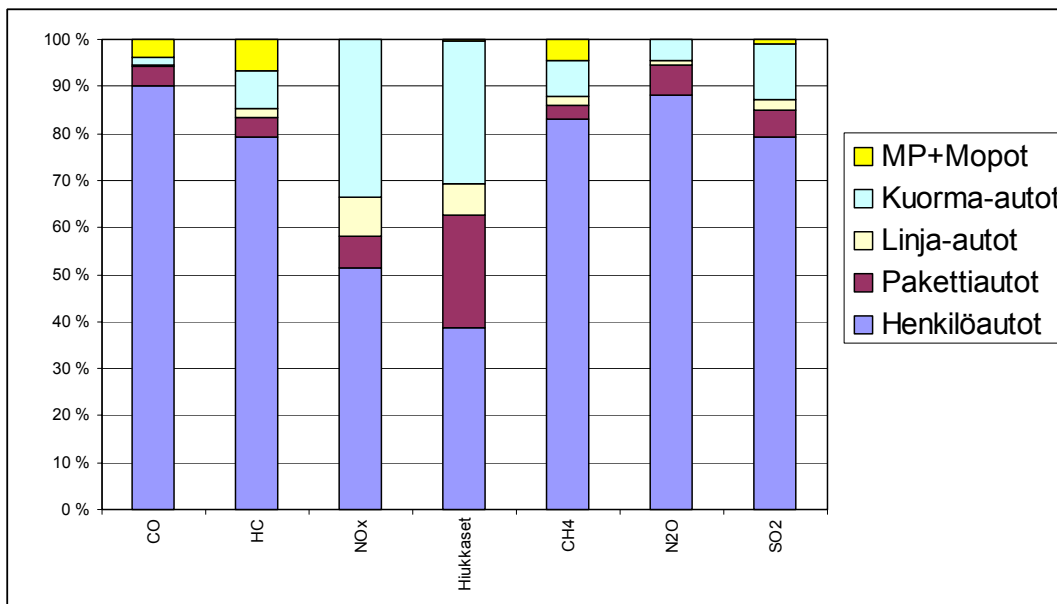
Raskaan tieliikenteen osuus päästöistä on typen oksideissa noin puolet (kuva 10). Typen oksidin katsotaan nykyisin olevan haitallisin yhdiste sekä terveysvaikutusten että hapan laskeuman puolesta. Jatkuva tekninen kehitys, mm raskaan liikenteen katalysoittorit ja moottoritekniset parannukset vähentävät raskaan liikenteen päästömääriä, mutta suhteelliset päästömäärät pysyvät kevyempiin ajoneuvoihin nähden samana myös niissä tahtuvan nopean kehityksen vuoksi.

Taulukko 4. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt, energiankulutus ja suorite LIISA 2001.1 laskentajärjestelmän mukaan.

Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt vuonna 2001 [t/a]										Suorite
	CO	HC	NO _x	Hiuk.	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂	Polttoneste	[Mkm/a]
Kadut	164 298	22 191	23 125	1 420	828	335	97	4 393 338	1 399 293	16 672.440
Maantiet	156 043	17 909	52 062	2 466	1 616	636	126	6 638 915	2 113 139	31 646.720
Yhteensä	320 341	40 100	75 187	3 886	2 443	971	224	11 032 252	3 512 432	48 319.160
Henkilöautot ei kat	205 493	24 931	23 553	86	1 678	88	68	2 132 024	680 433	13 070.975
Henkilöautot kat	74 935	5 729	9 373	28	319	706	96	3 005 178	959 099	20 431.476
Henkilöautot diesel	8 228	1 072	5 748	1 389	34	62	13	1 351 658	429 380	6 619.789
Pakettiautot ei kat	8 187	814	520	2.7	47	2.8	2.6	82 541	26 343	353.926
Pakettiautot kat	212	15	18	0.063	2.6	0.19	0.37	11 494	3 668	54.780
Pakettiautot diesel	4 377	857	4 589	929	19	60	10	1 084 385	344 476	3 697.362
Linja-autot	1 479	757	6 211	263	49	11	5	511 413	162 460	593.344
Kuorma-autot ip	2 415	1 568	9 082	515	77	17	10	1 018 177	323 444	1 179.859
Kuorma-autot peräv	2 768	1 686	15 982	661	108	24	17	1 778 419	564 949	1 654.243
Moottoripyörät	10 063	1 381	106	9.3	93	1.0	1.4	45 055	14 379	497.928
Mopot	2 184	1 290	5.0	2.2	17	0.17	0.38	11 907	3 800	165.478



Kuva 9. Tieliikenteen pakokaasupäästöjen määrä vuonna 2001.



Kuva 10. Tieliikenteen päästösuhteet vuonna 2001.

4.1.3 Rautatieliikenne

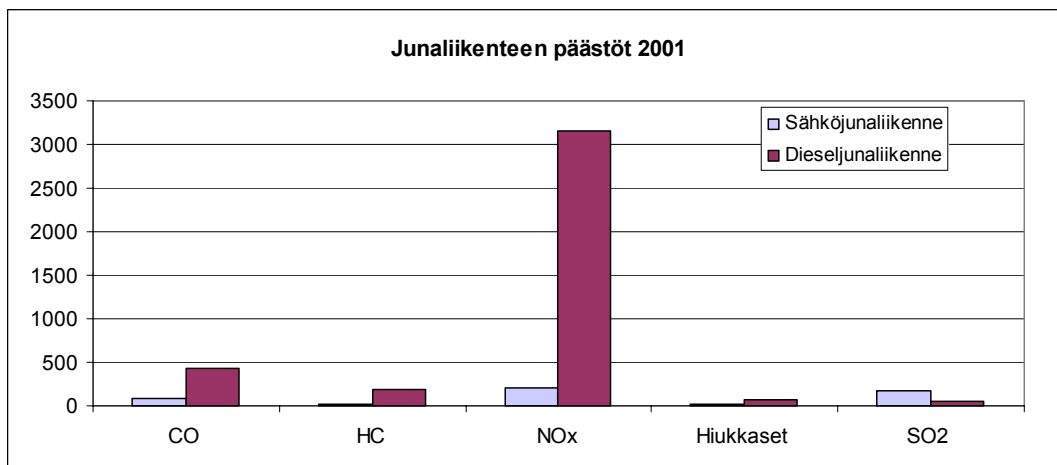
Taulukossa 5 on esitetty Suomen rautatieliikenteen aiheuttamat päästöt vuonna 2001 (RAILI 2001). Luvut sisältävät sähköveturien sähkönkulutuksen aiheuttamat päästöt voimalaitoksissa. Vedettyjen bruttotonnikilometrien kokonaismäärä oli 27 700 miljoonaa brtkm.

Päästöt rataosilla on jaettu henkilöliikenteen, tavaraliikenteen ja pelkkien vetureiden aiheuttamiin päästöihin. Toisena jakoperusteena on käytetty diesel- ja sähköjunaliikennettä (kuva 11). Lisäksi on laskettu ratapihojen vaihtotöiden aiheuttamat päästöt.

Sähköjunaliikenteen aiheuttamat sähköntuotannon päästöt on tässä yhteydessä laskettu rautatieliikenteelle. Kansainvälisissä vertailuissa tätä ei lasketa Suomen liikenteen päästöihin kuuluvaksi, vaan ne ovat energiantuotannon päästöjä (ks. tekstiä edellä kaikkien liikennemuotojen päästöistä ja taulukko 2).

Taulukko 5. 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
Sähköjunaliikenne	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 11. Valtakunnalliset junaliikenteen päästöt 2001.

4.1.4 Vesiliikenne

Suomen vesiliikenteen aiheuttamat päästöt Suomen talousvyöhykkeellä vuonna 2001 on esitetty taulukossa 6. Rahti- ja matkustajaliikenteen osalta päästöt on jaettu väylä- ja satamapäästöihin. Huviveneiden, kalastus- ja työveneiden sekä jäänmurtajien osalta on esitetty vain yksi kokonaispäästömäärä kuvaava luku. Taulukon 6 tulokset ovat suoraan laskentajärjestelmästä. Lähtötietojen tarkkuuden edellyttämä esitystarkkuus olisi noin kolmen merkitsevän numeron tarkkuus.

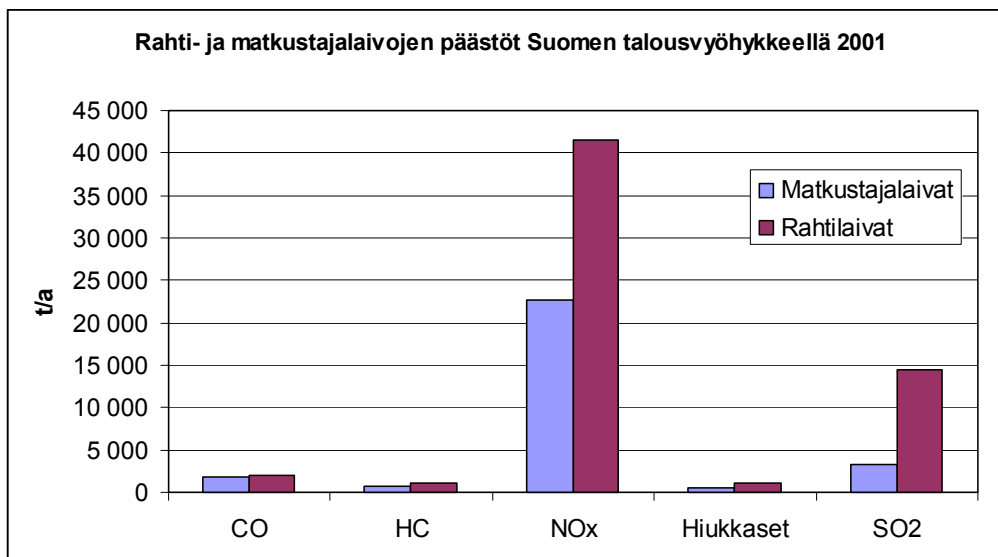
Taulukko 6. Suomen vesiliikenteen päästömäärät 2001.

	CO	HC	NO _x	Hiukkaset	SO ₂	CO ₂	P.a. kulutus	Energiankulutus
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	GJ/a
Satamat	600	219	7 214	149	2 283	337 919	112 121	4 613 551
Väylät	3 330	1 598	59 501	1 507	16 293	2 522 411	848 666	34 926 633
Huviveneet	24 047	8 421	1 301	351	75	187 587	59 799	2 562 584
Kalastus- ja työveneet	646	208	4 672	100	149	221 612	71 776	3 028 961
Jäänmurtajat	39	25	1 074	30	128	37 771	13 049	541 888
Yhteensä	28 661	10 471	73 762	2 137	18 927	3 307 300	1 105 411	45 673 616

Taulukossa 6 on mukana ulkomaanliikenne, jota ei kansainvälisissä vertailuissa yleensä lasketa kansallisiin päästömääriin (ks. teksti edellä kaikkien liikennemuotojen osalta).

Matkustaja- ja rahtilaivojen aiheuttamia päästöjä on vertailtu kuvassa 12. Rikkidioksidin ja typen oksidien määrät ovat rahtilaivoilla selvästi suuremmat kuin matkustajalaivoilla. Rikkidioksidin (SO₂) määrä on suoraan verrannollinen laivoissa käytettävien polttoaineteiden rikkipitoisuuteen, mikä rahtilaivoilla onkin huomattavasti suurempi. Myös aiheutettujen typen oksidien määrä on rahtilaivoilla huomattavasti matkustajalaivoja suurempi.

Tässä esitetyt päästöt perustuvat Suomen kansalliseen tapaan laskea päästömäärät. Kansainvälisiin tarkoituksiin laskettavissa kansallisissa päästöraporteissa ulkomaanliikenteen päästöjä ei lasketa kokonaispäästöihin, vaan ne ilmoitetaan erikseen (taulukko 2).



Kuva 12. Rahti- ja matkustajalaivojen päästöt Suomen talousvyöhykkeellä 2001.

4.1.5 Ilmaliikenne

Taulukossa 7 ja kuvassa 13 on esitetty Suomen alueella aiheutuvat ilmaliikenteen päästöt vuonna 2001 (ILMI 2001). Ilmaliikenteen hiukkaspäästöistä ei ole laskentatuloksia. Laskentajärjestelmä on kokonaisuudessaan Ilmailulaitoksen tekemä.

Taulukon 7 tulokset ovat suoraan laskentajärjestelmästä. Lähtötietojen tarkkuuden edellyttämä esitystarkkuus olisi noin kolmen merkitsevän numeron tarkkuus.

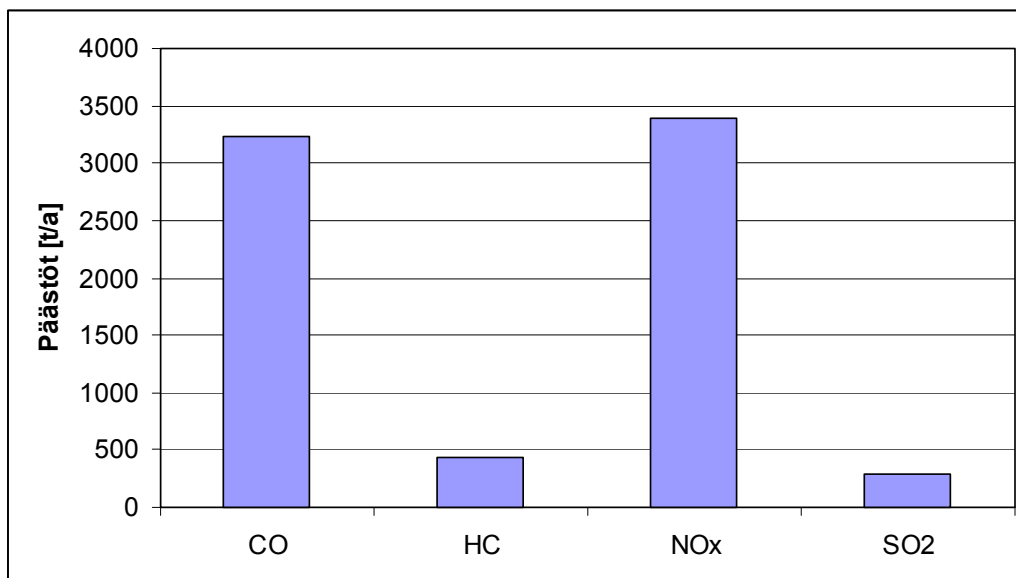
Ilmaliikenne jaotellaan ILMI 2001 laskentajärjestelmässä liikenneilmailuun ja yleisilmailuun. Yleisilmailu tarkoittaa pienkoneliikennettä (mäntämoottorikoneet). Mukana laskelmissa ei ole sotilas- eikä helikopteriliikennettä. Yleisilmailun päästöt ovat huomattavat vain hiilimonoksidin (CO) osalta, mikä aiheutuu mäntämoottorin ominaisuuksista (bensiniikäyttöisiä).

Tässä esitetyt päästöt perustuvat Suomen kansalliseen tapaan laskea päästömäärät. Kansainvälisiin tarkoituksiin laskettavissa kansallisissa päästöraporteissa ulkomaanliikenteen päästöjä ei lasketa kokonaispäästöihin, vaan ne ilmoitetaan erikseen (taulukko 2). Samoin ylilentöjä ei lasketa Suomelle.

Taulukko 7. Suomen ilmaliikenteen päästöt 2001.

	CO	HC	NO _x	Hiukkaset ¹	SO ₂	CO ₂	P.a. kulutus	Energian kulutus
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	GJ/a
Kotimaa	505	141	1 278	0	93	371 042	115 951	4 985 880
Ulkomaa, saap.	533	155	1 507	0	87	347 651	108 641	4 671 554
Ulkomaa, läht.	445	99	331	0	41	162 042	50 638	2 177 440
Yliennot	226	23	268	0	63	252 391	78 872	3 391 503
Liikenneilmailu yht.	1 709	417	3 384	0	283	1 133 126	354 102	15 226 377
Yleisilmailu yht.	1 525	20	5	0	0.1	4 591	1 481	63 684
ILMALIIKENNE YHT.	3 234	437	3 389	0	283	1 137 717	355 583	15 290 062

¹ Ilmaliikenteen hiukkastiedot puuttuvat



Kuva 13. Suomen ilmaliikenteen päästöt 2001.

5 Yhteenveto

LIPASTO on ensimmäinen kaikkien liikennemuotojen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä Suomessa. Järjestelmän ensimmäinen versio LIPASTO 96 valmistui vuonna 1997. Tämä tutkimusraportti käsittelee kuudetta, vuoden 2001 tiedoilla päivitettyä versiota LIPASTO 2001. Järjestelmä kokonaisuudessaan sisältää kunkin liikennemuodon alamallin, niiden oikea-aikaisen päivityksen ja keskusyksikön, jossa tiedot yhdistetään tulostusta varten. Kunkin liikennemuodon alamalli on kyseisen liikennemuodon edustajaorganisaation hallinnassa (paitsi tieliikenteen LIISA -malli, joka on VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa). Alamalleista syötetään keskusyksikköön kyseisen organisaation vahvistamat luvut. Vahvistaminen koskee erityisesti päästöjen kehitystä kuvaavia ennusteita. Keskusyksikkö on itse asiassa tietokanta, joka sisältää "virallisesti" hyväksytyt laskelmat päästöistä.

LIPASTO 2001 sisältää alamallit tieliikenteelle (LIISA 2001.1, joka uudistettiin perusteellisesti tänä vuonna), rautatieliikenteelle (RAILI 2001), vesiliikenteelle (MEERI 2001) ja ilmaliikenteelle (ILMI 2001). Mallin avulla voidaan laskea Suomen liikenteen aiheuttamat energiankulutus ja päästöt perusvuonna 2001 seuraavista yhdisteistä: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiukkaset (PM), rikkidioksidi (SO₂) sekä hiilidioksidi (CO₂). Tieliikenteestä saadaan myös lyijyn (Pb), metaanin (CH₄) ja typpioksiduulin (N₂O) määrät. Karkealla tasolla päästömäärät on ennustettu vuodesta 1980 vuoteen 2021. LIPASTO 2001 keskusyksikössä tiedot ovat suomeksi, ruotsiksi ja englanniksi. LIPASTO 2001 järjestelmä on tarkoitettu lähinnä liikenneministeriön, alamallien edustajaorganisaatioiden ja VTT:n käyttöön.

Keskusyksikkö, RAILI 2001 ja MEERI 2001 on toteutettu Suomessa kehitetyllä ja QPR Software Oyj:n markkinoimalla MUST (MULTI purpose System modelling Tool) ohjelmistolla. Tietojen esitykseen ja näyttöjen rakentamiseen on käytetty Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmaa. Kunkin alamallin toteutus on riippumaton keskusyksiköstä.

Mallin laskentaperiaate on tarkastella toiminnan määrää eli esimerkiksi ajettuja kilometrejä, satamassakäyntejä jne ja liittää nämä tiedot päästökertoimiin. Päästökertoimet ovat muotoa g/km, g/kWh, g/polttoainekilo. Lopputuloksena on päästömäärät tonneina eri ajoneuvotyyppiä, alustyyppiä ym. kohden. Tieliikenteessä tulokset saadaan kuntatasolle saakka. LIPASTO laskentajärjestelmä on ns. makromalli, jossa päästömääriä tarkastellaan suurina kokonaisuuksina.

Laskentatulokset

Liikenteen aiheuttamat päästöt olivat Suomessa vuonna 2001 seuraavan taulukon mukaiset (ilmaliikenteen hiukkastiedot puuttuvat).

	CO	HC	NO _x	Hiukkaset	SO ₂	CO ₂	Energian kulu-
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	TJ/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

Tieliikenteen aiheuttamat päästöt hallitsevat kokonaisuutta kaikkien muiden yhdisteiden paitsi rikkidioksidin osalta, jonka kohdalla vesiliikenne on hallitsevassa asemassa. Vesiliikenteen päästömääriin vaikuttaa ratkaisevasti se miten suuri osuus ulkomaille suuntau-

tuvan laivaliikenteen päästöistä katsotaan kuuluvan Suomelle. Kansainvälisissä vertailuissa huomioidaan kansallisiksi päästöiksi vain kotimaanliikenne samoin kuin ilmailiikenteessäkin. Sähköjunaliikenteen aiheuttamat päästöt on LIPASTO 2001 järjestelmässä laskettu rautatieliikenteeseen. Kansainvälisissä vertailuissa nämä päästöt ovat pelkästään sähköntuotannon päästöjä.

Päästömäärien kehitys on laskeva muiden yhdisteiden kuin hiilidioksidin osalta. Laskusuunnan aiheuttaa ennen kaikkea autojen katalysaattoritekniikka. Hiilidioksidipäästöt ovat suoraan verrannollisia polttonesteenkulutukseen ja kasvavat lisääntyvän suoritteen mukana. Kehittyvä tekniikka kuitenkin loiventaa kasvukäyrää.

LIPASTO 2001 laskentajärjestelmän keskeisimmät tulokset (aina viimeisin versio) ovat nähtävissä Web osoitteessa: <http://lipasto.vtt.fi>

Lähdeluettelo

Mäkelä (2001b): Mäkelä Kari & Tuominen Anu, Pääkkönen Esa. Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä RAILI 2001. Espoo 2002. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, tutkimusraportti RTE 3165/02, MOBILE² raportti M2T9916-15. 45 s. Raportti on saatavana kokonaisuudessaan myös web sivulta: <http://lipasto.vtt.fi/lipasto/raili>

Mäkelä (2002c): Mäkelä Kari & Tuominen Anu, Pääkkönen Esa. Suomen vesiliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä MEERI 2002. Espoo 2002. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, tutkimusraportti RTE 3166/02, MOBILE² raportti M2T9916-16. 55 s. Raportti on saatavana kokonaisuudessaan myös web sivulta: <http://lipasto.vtt.fi/lipasto/meeri>

Naturvårdsverket, sjöfartsverket 1992. Miljöpåverkan från fritidsbåtar, fiske- och arbetsfartyg. Naturvårdsverket rapport 3993.

Savola Marja & Viinikainen Mikko. Lentoliikenteen päästöt Suomessa. Vantaa 1995. MOBILE Liikenteen ja energiankäytön ja ympäristövaikutusten tutkimusohjelma, raportti MOBILE 212Y-1. Ilmailulaitos, lennonvarmistusosasto, järjestelmätoimisto, raportti A21/95. 47 s.

Tielaitos 1999. Tieliikenne-ennuste vuosille 1997-2030. Vuoden 1995 ennusteen tarkistaminen. Helsinki 1999. Tielaitos, tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 35/1999. 46 s.

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.

MUST-OHJELMISTOKEHITTIMEN RAKENNE

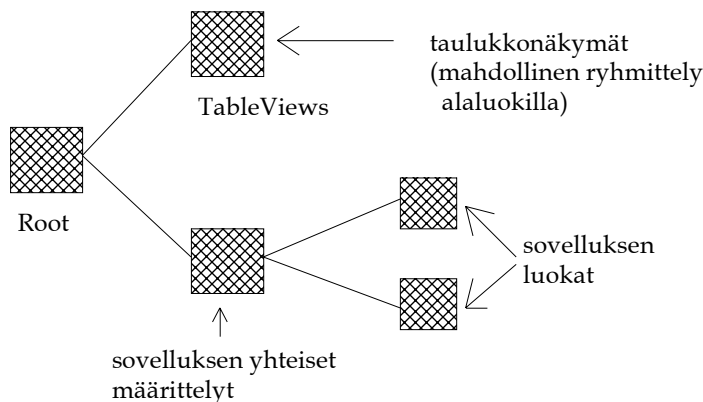
MUST-sovellusrakenne

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 tallettavan datan
 - tyyppitettyjä: perustana numero, numerolista, merkkijono
- linkit (relations)
 - kuvaavat datan sisältämät rakenteet
 - tyyppitys merkitsee kohdeluokkien rajausta, kaksisuuntaisuutta ja automaattista kohteiden luomista
- datataulukot (instances)
 - sovelluksen tiedot: arvot muuttujille ja linkeille
 - kuuluu aina täsmälleen yhteen luokkaan
- laskentasäännöt (calculation rules)

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

- 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 laskentasääntöjen kannalta

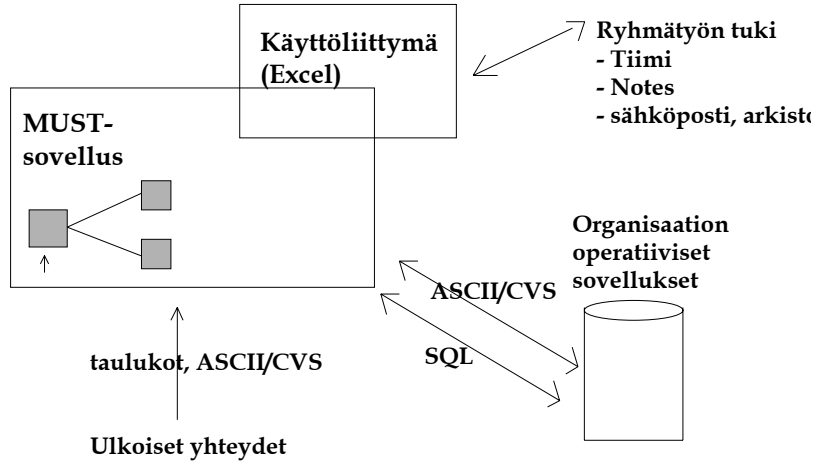
Mallin komponenttien “eristäminen”, ylläpidettävyys

- käsitemalli/luokkahierarkia
 - tietosisällön ja tietojen rakenteen määrittely
 - tehokkuus, pelkistäminen ja toiminnallisuus
 - laskentalogiikka
- data (instanssit)
 - tiedot, muuttujien arvot
 - rakenteet ja rakenteelliset riippuvuudet
- taulukkonäkymät
 - sovelluksen näkemät tietokokonaisuudet ja niiden toiminta
 - ryhmittely sopiviksi kokonaisuuksiksi
 - pelkistetyn sisältömallin ja sovelluksen toiminnallisuuden välineen kuvaus
- käyttöliittymäsovellus (remote)
 - ulkonäkö, layout
 - grafiikka
 - käyttäjien omien analyysien kytkeminen

⁽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 sähköjuliikenteen osuuden voimalaitospäästöistä.

– sovelluskohtaiset räätälöinnit

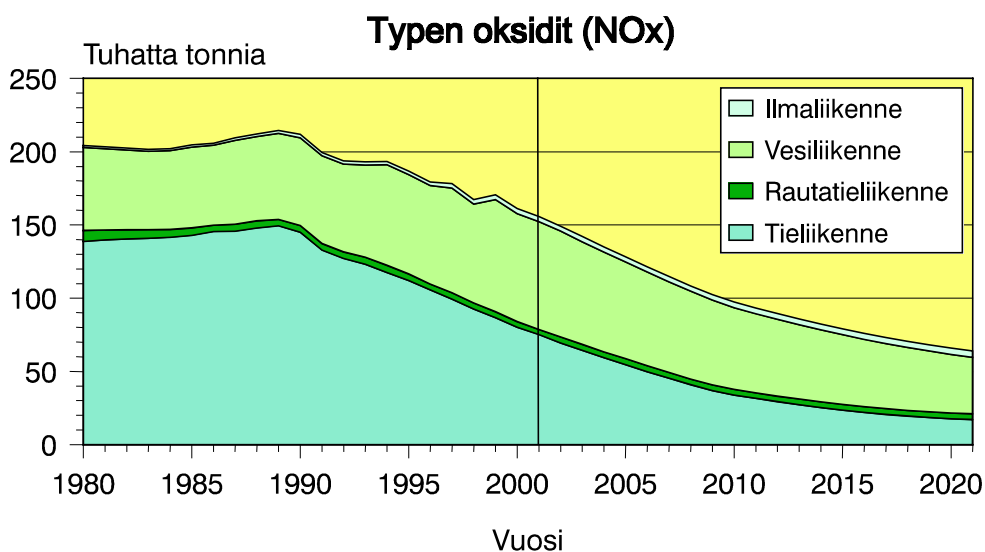
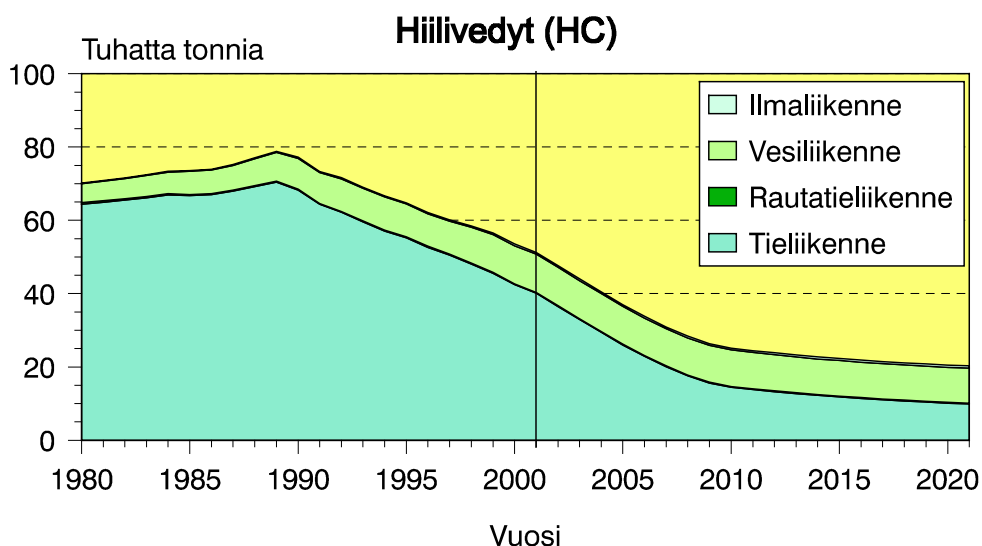
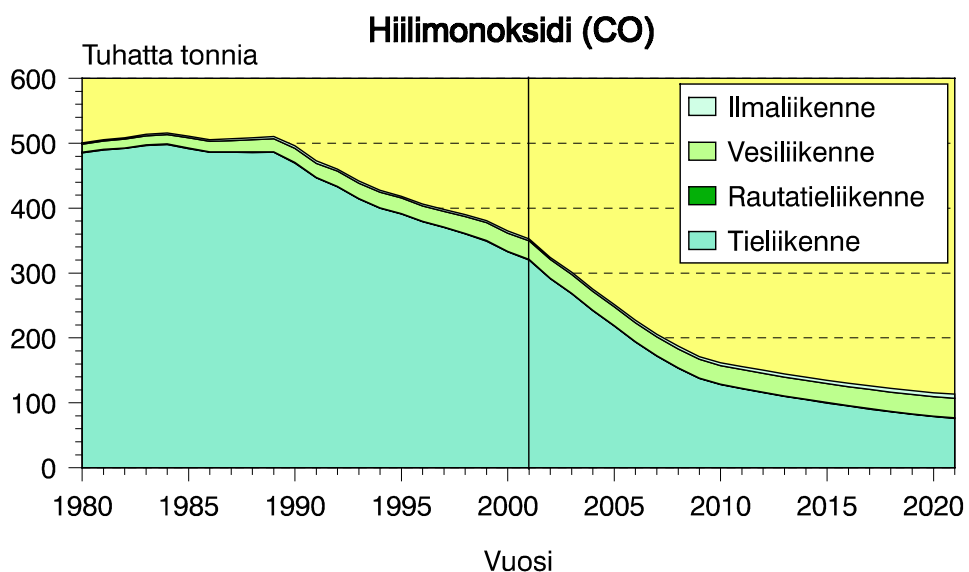
Koko sovellusarkkitehtuuri



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

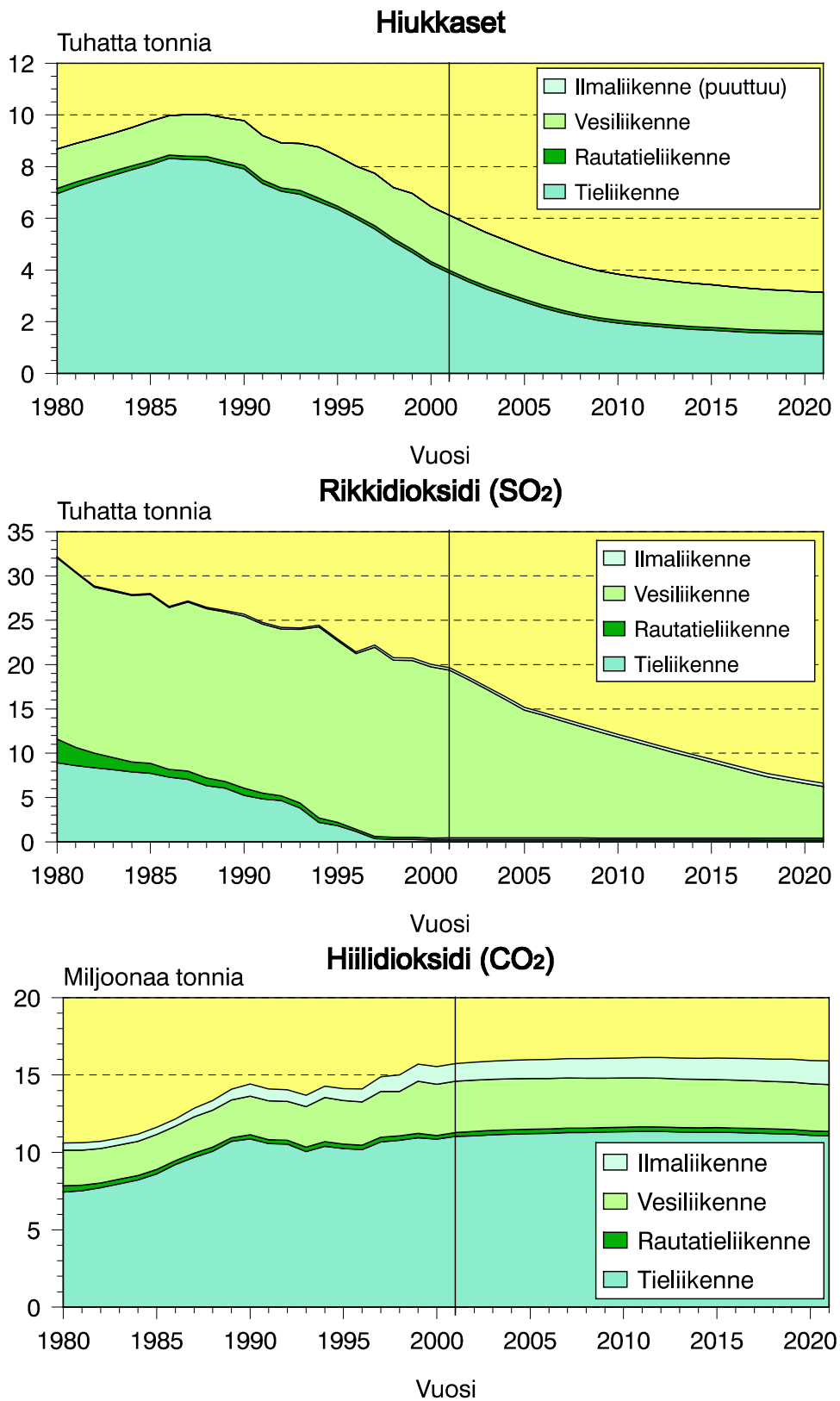
Liite B

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



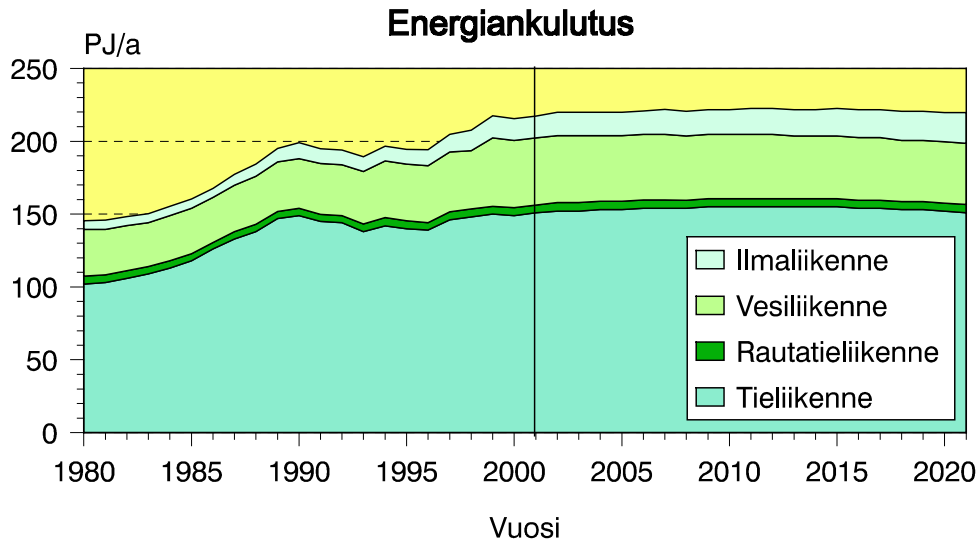
⁽¹⁾ Ennusteet perustuvat suoritteiden osalta pääosin tielaitoksen tarkistettuun perusennusteeseen vuodelta 1999 sekä Ratahallintokeskuksen, Merenkululaitoksen ja Ilmailulaitoksen arvioihin. Päästökerroinnusteet perustuvat VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan selvityksiin. Meri- ja ilmaliikenteessä on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