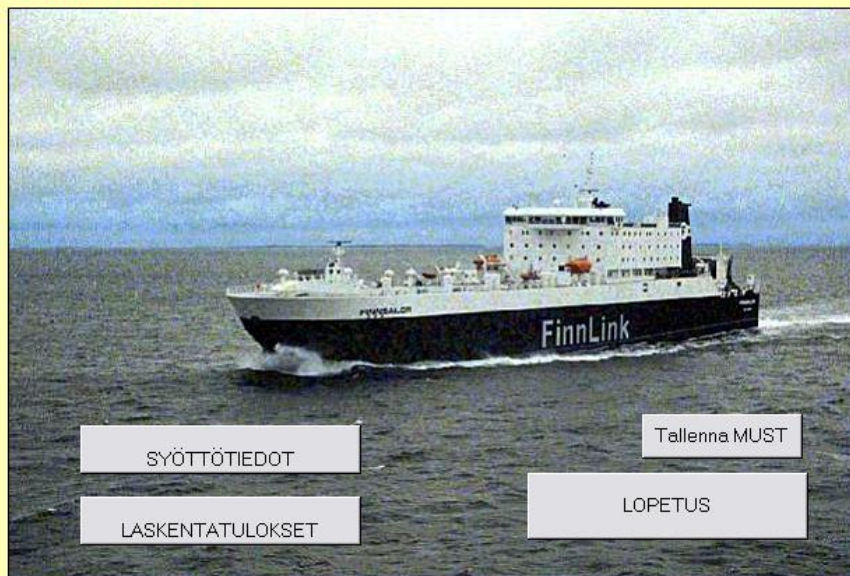


**MEERI 2009**

VGA

Pilot Excel

SVGA

Näytä Excel

Zoom LARGE

# Suomen vesiliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä MEERI 2009

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

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Suomen vesiliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä MEERI 2009	
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Tilastokeskus, Kari Grönfors Liikenne- ja viestintäministeriö, Saara Jääskeläinen	Asiakkaan viite
Projektin nimi LIPASTO 2009	Projektin numero /lyhytnimi 70744
Raportin laatija(t) Kari Mäkelä	Sivujen/ liitesivujen lukumäärä 35 / 11
Avainsanat	Raportin numero VTT-R-06270-10
Tiivistelmä	
<p>Suomen vesiliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä MEERI on ensimmäinen vuosittain päivitettävä vesiliikenteen laskentamalli Suomessa. Järjestelmän ensimmäinen versio MEERI 96 valmistui vuonna 1997. Tämä tutkimusraportti käsittelee neljäntoista, vuoden 2009 tiedoilla päivitettyä versiota MEERI 2009. Projekti kuuluu osana LIPASTO 2009 -laskentajärjestelmään, jossa selvitetään kaikkien liikennemuotojen päästöt Suomessa. MEERI 2009 -projektissa valmistui tämän raportin lisäksi tietokoneohjelma MEERI 2009. Malli laskee vesiliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna 2009. Laskentatulokset saadaan sekä valtakunnallisesti että satamakohtaisesti. Laskentajärjestelmä koskee meri- ja sisävesiliikennettä sekä huviveneilyä, työaluksia ja kalastusta Suomessa. Suomen armeijan veneet ja alukset eivät sisälly laskentaan. Karkealla tasolla päästömäärät on ennustettu vuodesta 1980 vuoteen 2029.</p> <p>Mallin avulla voidaan laskea Suomen vesiliikenteen aiheuttamat päästöt seuraavista yhdisteistä: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NOx), hiukkaset (PM), metaani (CH<sub>4</sub>), dityppioksidi (N<sub>2</sub>O), rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>) sekä hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>). Laskentaan sisältyy myös polttonesteenkulutus. MEERI 2009 -laskentajärjestelmä on tarkoitettu lähinnä Liikenne- ja viestintäministeriön, Liikenneviraston ja VTT:n käyttöön. Tietoa LIPASTO 2009 ja MEERI 2009 -laskentajärjestelmistä on nähtävissä VTT:n internetsivulla: <a href="http://lipasto.vtt.fi">http://lipasto.vtt.fi</a></p> <p>Suomen vesiliikenteen aiheuttamat päästöt Suomen talousalueella vuonna 2009 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 26 600 t, hiilivetyjä (HC) 6 510 t, typen oksideja (NOx) 51 200 t, hiukkasia 1 580 t, metaania (CH<sub>4</sub>) 330 t, typpioksiduulia (N<sub>2</sub>O) 76 t, rikkidioksidia (SO<sub>2</sub>) 12 800 t ja hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) 2 970 000 t. Polttonesteitä kulutettiin yhteensä 930 000 t ja kokonaisenergiankulutus oli 38,7 PJ.</p> <p>Meneillään oleva lama aiheuttaa melkoisen pudotuksen päästöissä, mutta sen jälkeen vesiliikenteen päästöjen kehityksessä ei näyttäisi tulevaisuudessa tapahtuvan suuria muutoksia nykyhetkeen verrattuna muiden yhdisteiden paitsi rikkidioksidin osalta, jonka määrässä tapahtuu laskua vähärikkisempien polttonesteiden sekä jyrkempien satamamääräysten myötä.</p>	
Luottamuksellisuus:	Julkinen
Espoo 9.8.2010	
VTT:n yhteystiedot Kari Mäkelä, PL 1000, 02044 VTT kari.makela@vtt.fi puh. 040 551 8475	
Jakelu (asiakkaat ja VTT): Tilaaja, web: <a href="http://lipasto.vtt.fi/lipasto/meeri/meeri2009raportti.pdf">http://lipasto.vtt.fi/lipasto/meeri/meeri2009raportti.pdf</a>	
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>	

Report's title Calculation system for the Finnish waterway traffic emissions MEERI 2009	
Customer, contact person, address Statistics Finland, Kari Grönfors Ministry of Transport and Communications, Saara Jääskeläinen	Order reference
Project name LIPASTO 2009	Project number/Short name
Author(s) Kari Mäkelä	Pages 35 / 11
Keywords	Report identification code VTT-R-06270-10
<p>Summary</p> <p>MEERI 2009 is a sub model of the calculation system LIPASTO 2009 concerning waterborne traffic. This calculation system developed in VTT is the first annually updated waterborne emissions calculation model in Finland. The model calculates the amount of emission and energy consumption caused by waterborne traffic in base year 2009. Calculation results are presented both countrywide and on individual port level. Calculation system includes sea and inland water traffic, leisure boating and fishing, and icebreaker traffic in Finland. Boats and vessels of the Finnish army are not included.</p> <p>MEERI calculation system is based on port traffic service data. The system calculates emission amounts and energy consumption caused by waterborne traffic in shipping channels and in ports during base year 2009. Data is specified according to a type of ship (passenger ship, freight ship), its traffic service area (domestic traffic, international traffic), its origin (Finnish, international) and its tonnage (gross registered tons). In countrywide calculation it is possible to make an even more detailed choice of vessel type (e.g. passenger car ferry, tanker).</p> <p>Finnish waterborne traffic emissions can be calculated by the model from the following compounds: carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), particles (PM), methane (CH<sub>4</sub>), nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), sulphur dioxides (SO<sub>2</sub>) and carbon dioxides (CO<sub>2</sub>). Calculation includes fuel consumption as well. Web pages concerning MEERI model will be found on site:</p> <p><a href="http://lipasto.vtt.fi/meerie/index.htm">http://lipasto.vtt.fi/meerie/index.htm</a></p>	
Confidentiality	Public
Espoo, August 9 <sup>th</sup> 2010	
VTT's contact address Kari Mäkelä, P.O.Box 1000, 02044 VTT kari.makela@vtt.fi tel. +358 40 551 8475	
Distribution (customer and VTT) { Customer, web: <a href="http://lipasto.vtt.fi/lipasto/meeri/meeri2009raportti.pdf">http://lipasto.vtt.fi/lipasto/meeri/meeri2009raportti.pdf</a> (in Finnish only)	
<p><i>The use of the name of the Technical Research Centre of Finland (VTT) in advertising or publication in part of this report is only permissible with written authorisation from the Technical Research Centre of Finland.</i></p>	

## Alkusanat

Suomen vesiliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä MEERI 2009 on kaikkien liikennemuotojen LIPASTO 2009 laskentajärjestelmän alamalli. Koko LIPASTO 2009 -laskentajärjestelmän (ml. alamallit) päivityksen on rahoittanut Tilastokeskus laskentavuoden 2009 osalta. Liikenne- ja viestintäministeriö on rahoittanut ennusteosioiden päivityksen.

Projektin vastuullisena johtajana on toiminut erikoistutkija Kari Mäkelä VTT:stä. Työhön ovat osallistuneet erikoistutkija Kari Mäkelä, erikoistutkija Tuuli Järvi, erikoistutkija Anu Tuominen ja tutkija Heidi Auvinen VTT:stä. Ohjelmointityön on tehnyt Esa Pääkkönen.

Tämän raportin on kirjoittanut Kari Mäkelä.

# Sisällysluettelo

1	Johdanto	<u>5</u>
2	Laskentamallin rakenne	<u>6</u>
2.1	Yleistä	<u>6</u>
2.2	Valtakunnallinen laskenta	<u>8</u>
2.2.1	Rakenne	<u>8</u>
2.2.2	Satamapäästöt	<u>8</u>
2.2.3	Väyläpäästöt	<u>10</u>
2.3	Satamakohtainen laskenta	<u>11</u>
2.4	Aikasarjat ja ennusteet	<u>12</u>
3	Lähtötiedot	<u>13</u>
3.1	Laskenta-alueen rajaus	<u>13</u>
3.2	Liikennöintitiedot	<u>14</u>
3.2.1	Satamakohtaiset liikennöintitiedot	<u>14</u>
3.2.2	Liikennöintitietojen muokkaus, jalostus ja luokittelu	<u>14</u>
3.2.3	Tietokantojen luonti	<u>16</u>
3.2.4	Liikennöintimäärien kehitys	<u>18</u>
3.3	Etäisyystiedot	<u>18</u>
3.4	Poltonestetiedot	<u>18</u>
3.4.1	Kulut	<u>18</u>
3.4.2	Rikkipitoisuus	<u>19</u>
3.5	Päästökerrointiedot	<u>21</u>
3.5.1	Tutkitut yhdisteet	<u>21</u>
3.5.2	Päästölähteet	<u>21</u>
3.5.3	Päästökertoimien määrittäminen	<u>22</u>
3.5.4	Päästökertoimien kehitys	<u>23</u>
4	Järjestelmäkuvaus	<u>25</u>
4.1	MUST malli	<u>25</u>
4.1.1	MUST-ohjelmistokehittäjän rakenne	<u>25</u>
5	Laskentatulokset	<u>28</u>
5.1	Päästömäärät	<u>28</u>
5.2	Päästöjen vertailu	<u>32</u>
6	Yhteenveto	<u>33</u>
	Lähdeviitteet	34

# 1 Johdanto

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

Vesiliikenteen katsotaan perinteisesti olevan vähän ympäristöään kuormitettava kulkumuoto. Päästömääristä riippumatta jokaisella kulkumuodolla tulee olla tieto päästömääristä ja -paikoista sekä päästöjen kehityksestä. Eri kulkumuotojen vertailu edellyttää yhtenäisten laskentaperusteiden olemassaoloa ja päästöprosessin tuntemusta.

Liikenteen suurin ympäristökuormitus tulee pakokaasupäästöistä. Vesiliikenne on yksi neljästä liikennemuodosta, joista suurin pakokaasupäästöjen aiheuttaja on tieliikenne. Sen ympäristökuormituksen selvittämiseksi on ryhdyttykin toimenpiteisiin huomattavasti ennen muita liikennemuotoja. Vuonna 1997 valmistui ensimmäinen vuosittain päivitettävä, kaikkien liikennemuotojen päästöt ja energiankulutuksen sisältävä laskentajärjestelmä LIPASTO. MEERI-laskentajärjestelmä on LIPASTO:n alamalli vesiliikenteen päästöjen osalta. Tämä raportti sisältää laskentaperusteet sekä -tulokset vuoden 2009 tiedoilla päivitetystä laskentajärjestelmästä MEERI 2009. Liikenteen päästölaskennan jatkuva kehittäminen ja seuranta edellyttävät päivitetävän järjestelmän olemassaoloa. Laskentajärjestelmä mahdollistaa ajan tasaisen päästömäärien seurannan sekä erilaisten tulevaisuuden tilanteiden arvioinnin ja testauksen.

Vesiliikenteestä, samoin kuin rautatie- ja ilmaliikenteestä on vuoteen 1997 mennessä tehty vain päästöjen ja energiankulutuksen kertalaskentoja. Lähtötietojen saatavuus on laskentajärjestelmän luonnin kannalta olennainen asia. Vesiliikenteen liikennemääriä koskeva tieto (satamassakäynnit jne.) onkin Suomessa erittäin hyvin tilastoitua. Sen sijaan päästökerrointietoa on vähäistä mittausten kalleuden vuoksi.

## 2 Laskentamallin rakenne

### 2.1 Yleistä

MEERI 2009 -laskentajärjestelmän perustan muodostavat satamien liikennöintitiedot. Järjestelmä laskee vesiliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna (2009) väylillä ja satamissa, jaoteltuna laivan tyyppin (matkustaja-laiva, 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<sub>x</sub>), hiukkaset (PM), metaani (CH<sub>4</sub>), dityppioksidi (N<sub>2</sub>O), rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>) sekä hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>). Laskennassa on mukana myös polttonesteenkulutus. Päästötiedot saadaan sekä valtakunnallisesti että satamakohtaisesti. Päästömäärät lasketaan päästökerrointen ja laivojen energiankulutuksen tulona. Valtakunnalliseen laskentaan on lisäksi liitetty huviveneiden, kalastusalusten ja -veneiden, työalusten ja -veneiden sekä jäänmurtajien aiheuttamat päästöt ja energiankulutus. Suomen armeijan veneet ja alukset eivät sisälly laskentaan. Laskentajärjestelmä sisältää karkeat arviot vuosien 1980–1995 päästömääristä, tarkat laskennat vuosilta 1996–2009 sekä ennusteet vuodesta 2010 vuoteen 2029.

Kaavassa 1 on esitetty laivojen päästölaskenta jäänmurtajia lukuun ottamatta. Kaavassa 2 on esitetty jäänmurtajien laskenta. Kaavassa 3 on työalusten laskentamenetelmä ja kaavassa 4 on esitetty huviveneiden päästölaskenta.

#### Laivat

$$E_{v,y} = \sum_{l=1}^9 \sum_{m=1}^7 \sum_{z=1}^3 \sum_{p=1}^7 \left( \frac{S_{l,m,x,f,y} d_{x,l,m,f,y} P_{l,z,m} g_o}{f_{l,m}} e_{l,m,v,g,z} + S_{l,m,x,y} P_{l,z,m} g_o t e_{l,m,v,g,z} \right) + u P_{l,z,m} g_o e_{l,m,v,g,z} \quad (1)$$

jossa

E = kokonaispäästöt  
 S = laivojen lukumäärä  
 d = laivan kulkema matka (edellisestä satamasta)  
 e = päästökerroin

ja jossa

l = laivatyyppi  
 m = bruttorekisteritonniluokka  
 x = satama  
 o = operointialue  
 z = moottorityyppi  
 p = moottorin teholuokka  
 g = moottorin kuormitus  
 f = nopeusluokka  
 t = satamassaoloaika  
 y = laskentavuosi  
 v = yhdiste

### Jäänmurtajat

$$E_{v,y} = V_y e_v \quad (2)$$

jossa

$E$  = kokonaispäästöt  
 $V$  = jäänmurtajan käyttämä polttoainemäärä  
 $e$  = päästökerroin  
 $v$  = yhdiste  
 $y$  = laskentavuosi

### Työalukset

$$E_{v,y} = \sum_{x=1}^3 S_{x,y} V_{x,y} e_v \quad (3)$$

jossa

$E$  = kokonaispäästöt  
 $S$  = työalusten -veneiden lukumäärä  
 $V$  = työalusten ja -veneiden käyttämä polttoainemäärä  
 $e$  = päästökerroin  
 $x$  = työaluksen tyyppi  
 $v$  = yhdiste  
 $y$  = laskentavuosi

### Huviveneet

$$E_{v,y} = \sum_{l=1}^6 \sum_{m=1}^{10} \sum_{z=1}^4 S_{l,m,z,y} m_{l,z} g_l t_l e_{v,z} \quad (4)$$

jossa

$E$  = kokonaispäästöt  
 $S$  = veneiden lukumäärä  
 $e$  = päästökerroin

ja jossa

$l$  = huviveneen tyyppi  
 $m$  = moottorin teholuokka  
 $z$  = moottorityyppi  
 $t$  = keskimääräinen käyttöaika  
 $g$  = moottorin kuormitus  
 $y$  = laskentavuosi  
 $v$  = yhdiste



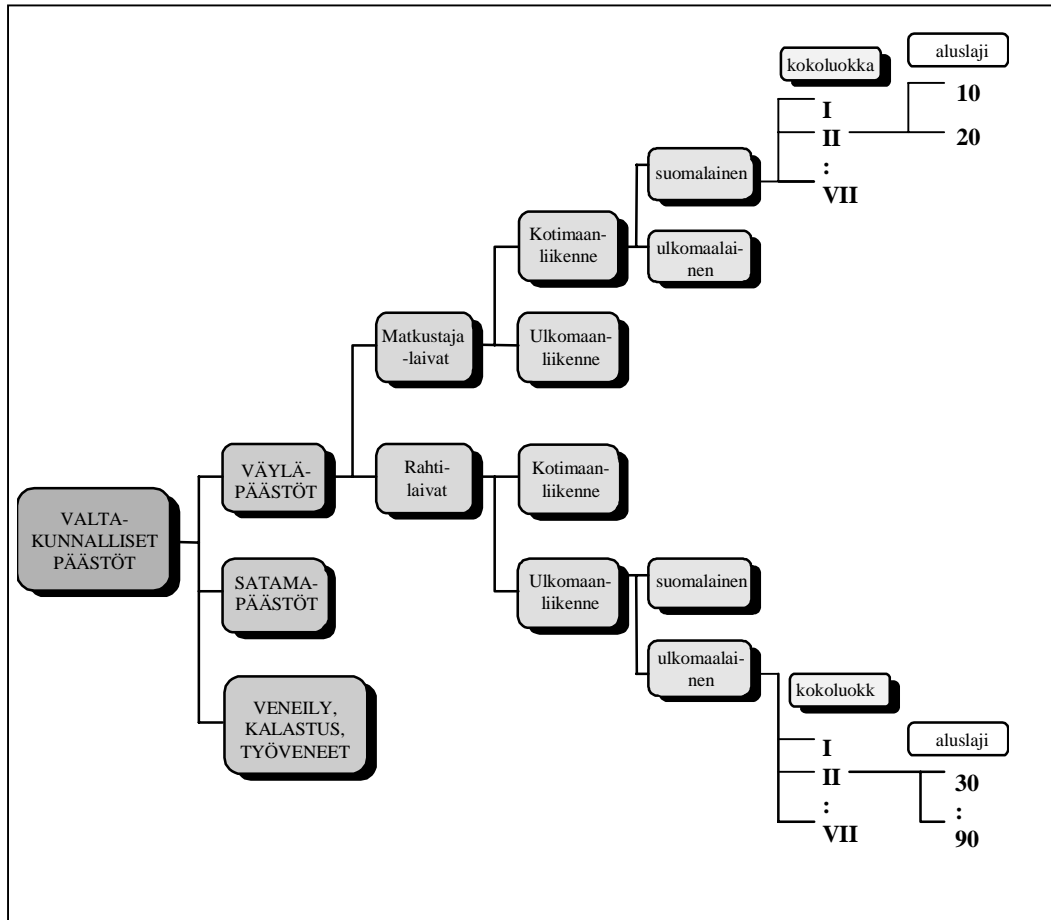
## 2.2 Valtakunnallinen laskenta

### 2.2.1 Rakenne

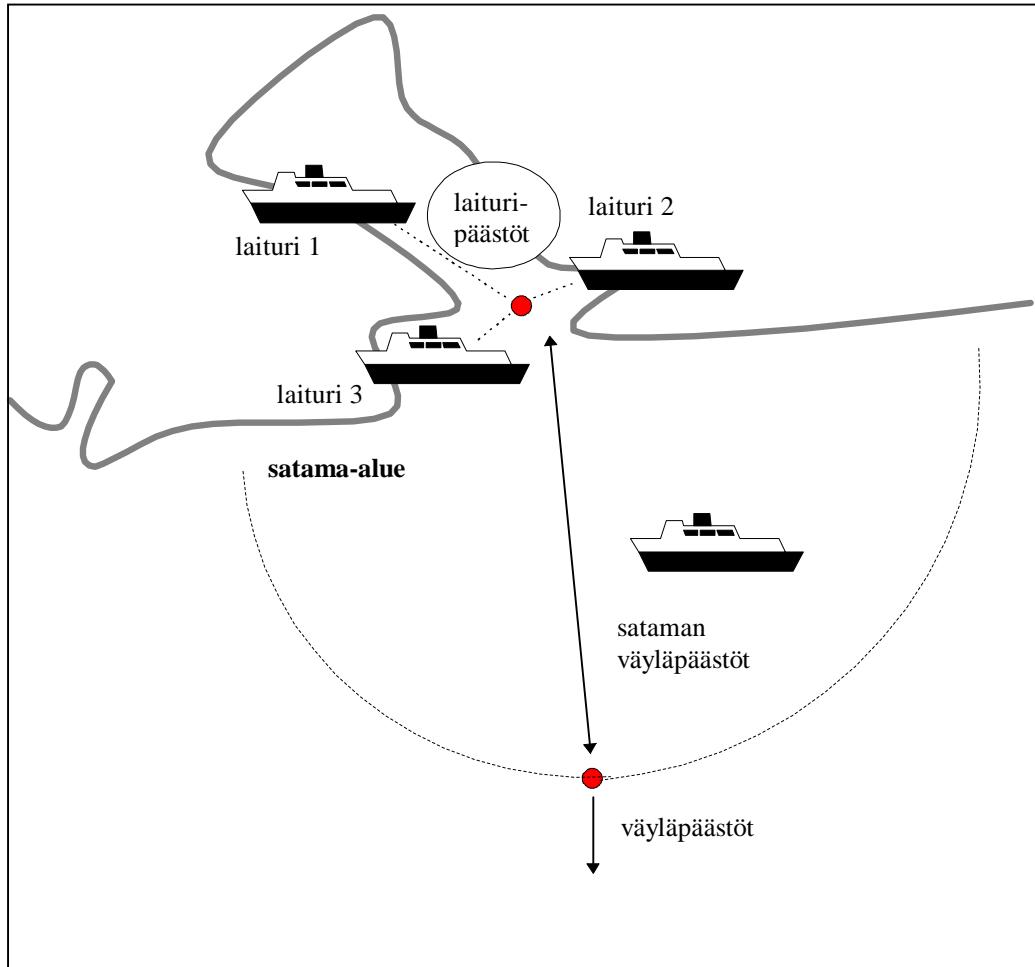
Valtakunnallinen laskenta koostuu kahdesta osasta: **satamapäästöistä** ja **väyläpäästöistä**. Satamapäästöihin lasketaan kuuluviksi kaikki laivojen satama-alueella aiheuttamat päästöt (sekä liikkeessä että seisonta-aikana laiturissa), väyläpäästöihin kaikki väylällä ajon aikana aiheutetut päästöt. Veneliikenteen, kalastusalusten ja -veneiden, työalusten ja -veneiden, risteilyalusten, lauttojen ja lossien sekä jäänmurtajien päästöt on laskettu omana kokonaisuutenaan. Työaluksiin ja -veneisiin on laskettu kuuluvaksi mm. merenkululaitoksen väylä-, mittaus- ja yhteysalukset, rajavartiolaitoksen ja tullilaitoksen alukset sekä Suomen Meripelastusseuran alukset. Risteilyaluksilla tarkoitetaan tässä kesäisin sightseeing-tyyppisessä ajossa olevia aluksia. Lautat ja lossit eivät ole ennen kuuluneet MEERI-järjestelmän laskennan piiriin, vaan niiden päästöt on laskettu Tilastokeskuksessa erikseen. Kuvassa 1 on esitetty laivaliikenteen jaottelu valtakunnallisessa laskennassa.

### 2.2.2 Satamapäästöt

Satamapäästöjen laskenta perustuu satamassa käyneiden laivojen lukumäärään. Laskentamallissa määritellään laivojen energiankulutus satamaväylällä sekä seisonta-aikana laiturissa. Satamaväylällä liikennöintiin (sisääntuloväylien nopeusrajoitusjaksot + satamamanööverit) kuluvaksi 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 %. Rahtilaivojen seisonta-ajat laiturissa on määritelty ruotsalaisen tutkimuksen perusteella (Alexandersson et al. 1993). 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 (kuva 2).



Kuva 1. Laivaliikenteen jaottelu valtakunnallisessa laskennassa.



Kuva 2. Satamapäästöt = sataman väyläpäästöt + laituripäästöt

### 2.2.3 Väyläpäästöt

Väyläpäästöjen laskenta perustuu laivojen lukumäärän lisäksi niiden väylällä, satama-alueen ulkopuolella, kulkemaan matkaan (km). Kullekin satamassa käyneelle laivalle on laskettu määränpäätietojen 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, hydrokopterimoottoriveneet, muut moottoriveneet, purjeveneet), joille kullekin on määritetty tyypillinen vuotuinen käyttöaika. Käyttöaikatiedot perustuvat VTT:n vuonna 2005 tekemään tutkimukseen (Räsänen et al. 2005) ja sen päivitykseen.

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. Arviot perustuvat vastaavaan ruotsalaiseen tutkimukseen (Naturvårdsverket 1992).

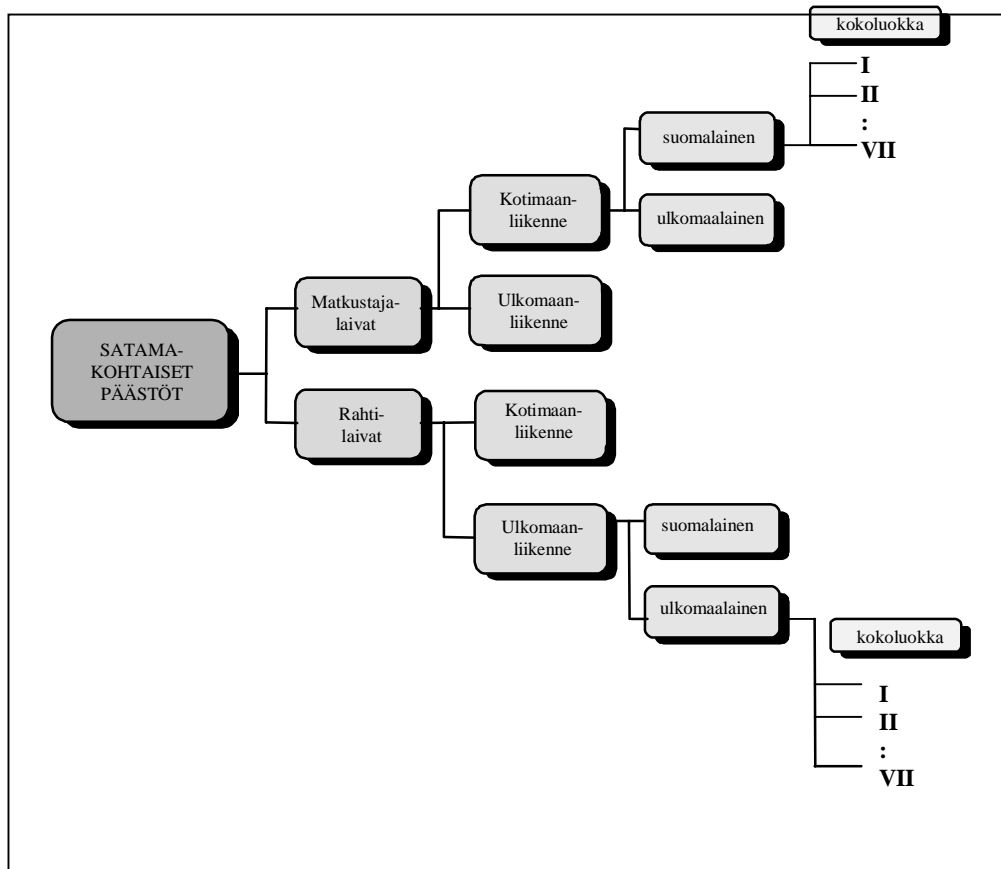
Lukumäärät on saatu moottoriveneiden osalta venerekisteristä. Kalastusalusten lukumäärä perustuu maa- ja metsätalousministeriön kalastusalusrekisteriin, jonka on aluskohtaisia tietoja on nähtävissä EU:n sivuilla. Työveneiden ja -alusten lukumää-

räksi arvioitiin paremman tiedon puuttuessa 2/3 vastaavien työveneiden ja -alusten lukumäärästä Ruotsissa. Työaluksiin on laskettu kuuluvaksi myös alle 300 BRT:n rahti- ja matkustajalaivat, joita ei ole huomioitu muussa laskennassa. Ainoastaan tullilaitoksen, rajavartiolaitoksen, merenkululaitoksen sekä Suomen Meripelastusseuran veneistä ja aluksista oli saatavissa tarkkoja lukumäärätietoja.

Huviveneiden, kalastusalusten ja -veneiden sekä työalusten ja -veneiden päästöt on laskettu omana kokonaisuutenaan. Kullekin veneelle on laskettu sen vuotuinen energiankulutus. Päästöt on saatu kertomalla veneiden energiankulutukset moottoreiden päästöjä vastaavilla päästökertoimilla. Jäänmurtaajien päästöjen laskenta perustuu niiden käyttämän polttonesteen määrään (Varustamoliikelaitoksen tilastot, Finstaship).

## 2.3 Satamakohtainen laskenta

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, laivatyyppiksi on mahdollista määritellä ainoastaan rahti- tai matkustajalaiva. Veneliikenteen, kalastus- ja työalusten sekä jäänmurtaajien päästöt eivät sisälly satamakohtaiseen laskentaan. Kuvassa 3 on esitetty laivaliikenteen jaottelu satamakohtaisessa laskennassa.



Kuva 3. Laivaliikenteen jaottelu satamakohtaisessa laskennassa.

## 2.4 Aikasarjat ja ennusteet

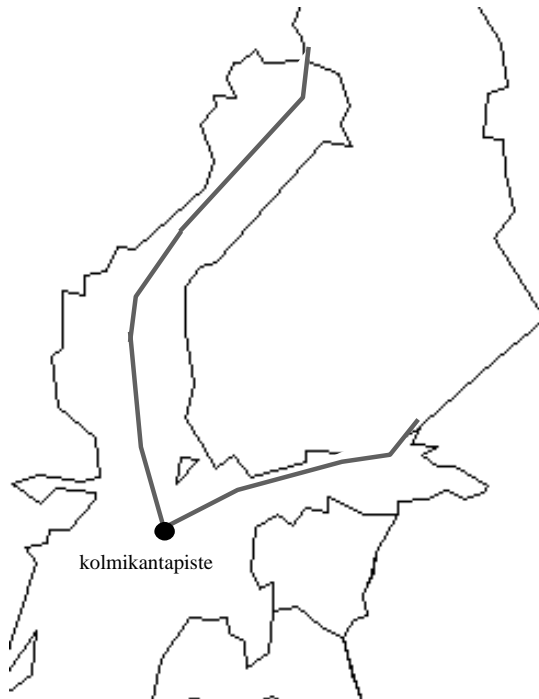
Laskentajärjestelmä laskee perusvuoden 2009 lisäksi pakokaasupäästöt vuosilta 1980-2008 sekä ennustevuosilta 2010-2029. Sekä kuluneiden vuosien että ennustevuosien laskenta perustuu kehityskertoimiin, joilla perusvuoden pakokaasujen määrää korjataan. Suoritteiden kehityskerroin kuvaa laivojen satamassakäyntien määrää perusvuoteen 2009 verrattuna. Aikasarjojen päästökertoimien kehityskertoimet (kullekin yhdisteelle omansa) kuvaavat päästökertoimien arvoja perusvuoden 2009 päästökerroin-arvoihin verrattuna. Laivaliikenteen suoritteiden kehitysennusteet perustuvat Liikenneviraston ja suurimpien varustamoiden (matkustajaliikenne) arvioihin, päästökertoimien muutosennusteet taas ulkomaisiin tutkimustuloksiin ja arvioihin (G. Demker et al. 1994, Thune-Larsen et al. 1997). Liitteessä A on esitetty laskentajärjestelmässä käytetyt vuosittaiset suoritteiden kehityskertoimet eri laiva- ja venetyypeille.

## 3 Lähtötiedot

### 3.1 Laskenta-alueen rajaus

Kansainvälisissä inventoinneissa (esim. IPCC) kullekin maalle lasketaan polttoaineenkulutus ja päästöt vain kotimaanliikenteestä. Ulkomaanliikenteen osalta ilmoitetaan vain Suomesta ulkomaille meneviin laivoihin tankattu (bunkrattu) polttonesteen määrä. Suomen ulkomaanliikenteestä tämä luku ei kerro juuri mitään, koska ei ole tiedossa missä polttoneste kulutetaan. Jotta kansallisesti saataisiin laivaliikenteen päästöt laskettua myös ulkomaanliikenteen osalta, on MEERI 2009 -järjestelmässä menetelty seuraavasti.

MEERI 2009 -laskentajärjestelmä kattaa suomalaisiin satamiin suuntautuvan laivaliikenteen päästöt Suomen talousalueella. Laskenta-alueeseen kuuluvat sekä rannikon satamat että sisävesisatamat. Kotimaanliikenteessä matkat on laskettu todellisenä etäisyytenä kahden sataman välillä. Ulkomaanliikenteessä matkoiksi on oletettu etäisyys satamasta Suomen talousalueen uloimpaan pisteeseen, Ahvenanmaan eteläpuolella sijaitsevaan ns. “kolmikantapisteseen” (Kuva 4). Kaiken ulkomaanliikenteen on oletettu suuntautuvan tähän pisteeseen, lukuun ottamatta matkustajaliikennettä väleillä Helsinki-Pietari, Helsinki-Tallinna, Kotka-Pietari, Kotka-Tallinna, Kotka-Viipuri, Lappeenranta-Pietari, Lappeenranta-Viipuri, Pietarsaari-Skellefteå, Pietarsaari-Umeå ja Vaasa-Umeå. Näiden satamien välillä on käytetty todellisia etäisyyksiä talousalueen rajalle. Välimatkojen määrittämiseen on käytetty Merenkululaitokselta saatuja etäisyystietoja.



*Kuva 4. Laskenta-alueen rajaus ja Suomen talousalueen uloin piste (“kolmikantapiste”) Ahvenanmaan eteläpuolella. Väyläpituudet kaikista satamista on ulkomaanliikenteessä laskettu tähän pisteeseen.*

## 3.2 Liikennöintitiedot

### 3.2.1 Satamakohtaiset liikennöintitiedot

Suomen satamissa rekisteröitiin vuonna 2009 yhteensä n. 67 000 liikennöintitapahtumaa. Tilastoissa on mukana kaikkiaan n. 80 satamaa. MEERI 2009-laskentajärjestelmän suoritettuna on käytetty laivojen satamassakäyntien lukumääriä sekä näistä etäisyystietojen avulla laskettuja väyläkilometrejä. Satamassakäynnillä tarkoitetaan tässä yhteydessä laivan tulo- ja lähtötapahtumien yhdistelmää. Liikennöintitietoaineisto sisältää liikennöintitapahtumien lisäksi suuren määrän tilastotietoa kustakin saapuneesta ja lähteneestä laivasta. Näitä tietoja on hyödynnetty MEERI 2009 syöttötietojen laskennassa.

Kaikkien Suomen satamien yhteenlaskettu satamassakäyntien lukumäärä vuonna 2009 oli 33 600 kpl. Tästä 10 % oli kotimaanliikennettä ja 90 % ulkomaanliikennettä. Rahtilaivojen osuus kaikista satamassakäynneistä oli 50 % ja matkustajalaivojen 50 %. Rahtiliikenteestä kotimaanliikennettä oli 8 % ja matkustajaliikenteestä 13 %. Huviveneiden sekä kalastus- ja työveneiden ja -alusten päästöt on laskettu omana kokonaisuutenaan. Laskennan perustan muodostavat lukumäärätiedot. Huviveneiden (moottoriveneet ja purjeveneet) lukumääräksi Suomessa vuonna 2005 on arvioitu n. 464 000 kpl. Arvio perustuu Länsi-Suomen lääninhallituksen koko Suomen kattaviin venerekisteritietoihin sekä arvioon rekisteröimättömien veneiden määrästä (Räsänen et al. 2005). Vuodelle 2009 arvioitu määrä on 550 000 kpl. Huviveneiden lukumäärän arvioinnissa tapahtuu kuluvaan kolmen vuoden aikana melkoisia muutoksia vesikulkuneuvorekisterin totaalisen uudistamisen yhteydessä. Kalastusalusten ja -veneiden lukumäärä vuonna 2009 oli 3 270 kpl. Tulliveneiden, rajavartiolaitoksen alusten, merenkululaitoksen alusten sekä Suomen Meripelastusseuran alusten yhteenlaskettu lukumäärä oli 135 kpl. Näiden lisäksi muita työveneiä ja työaluksia on arvioitu olevan 1 800 kpl.

Jäänmurtajien päästöjen laskenta perustuu niiden polttonesteen kulutukseen. Suomessa oli vuonna 2009 käytössä yhdeksän jäänmurtajaa, joiden polttonesteenkulutus oli yhteensä 20 500 tonnia (Finstaship).

### 3.2.2 Liikennöintitietojen muokkaus, jalostus ja luokittelu

Liikennöintitiedot on jaettu kahteen pääryhmään: matkustajaliikenteeseen ja rahtiliikenteeseen. Näitä ryhmiä on käsitelty erillisinä muokkaus- ja laskentaprosessien kaikissa vaiheissa. Laskentaa varten pääryhmiin jaetut liikennöintitapahtumat on jaoteltu seitsemään luokkaan laivojen bruttorekisteritonniin perusteella taulukoiden 1 ja 2 mukaisesti. Kullekin luokalle on laskettu liikennöintitietoihin perustuen keskiarvot pääkoneiden moottoritehoista ja nopeuksista. Apukoneiden keskimääräiset moottoritehot perustuvat Ruotsissa tehtyyn tutkimukseen (Alexandersson et al. 1993).

Kuvissa 6 ja 7 on esitetty Suomen satamissa vuonna 2009 käyneiden rahti- ja matkustajalaivojen lukumäärät ja väylillä ajatut kilometrit brt-luokittain. Kuvaajien muodot noudattelevat suhteellisen hyvin toisiaan. Lukumäärätietoja on käytetty satamapäästöjen laskennan, laivakilometrejä väyläpäästöjen laskennan lähtötietoina.

*Taulukko 1. Rahtilaivojen jako luokkiin bruttokisteritonniin perusteella 2009.*

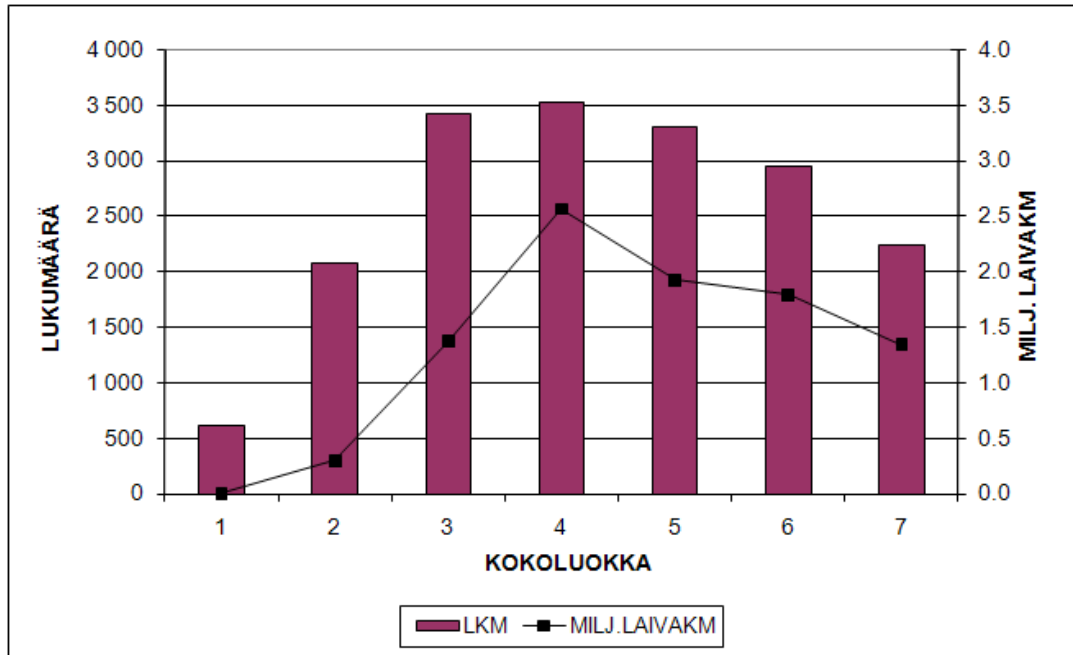
Luokka	BRT	Teho (kW)	Apuk. teho (kW)	Nop. (80% teholla) km/h
1	300-999	1 702	230	22
2	1 000-2 499	1 268	346	21
3	2 500-4 499	2 643	520	25
4	4 500-7 999	5 343	786	29
5	8 000-11 999	8 384	1 122	31
6	12 000-20 000	11 886	1 447	34
7	>21 000	19 620	1 770	37

*Taulukko 2. Matkustajalaivojen jako luokkiin bruttokisteritonniin perusteella 2009.*

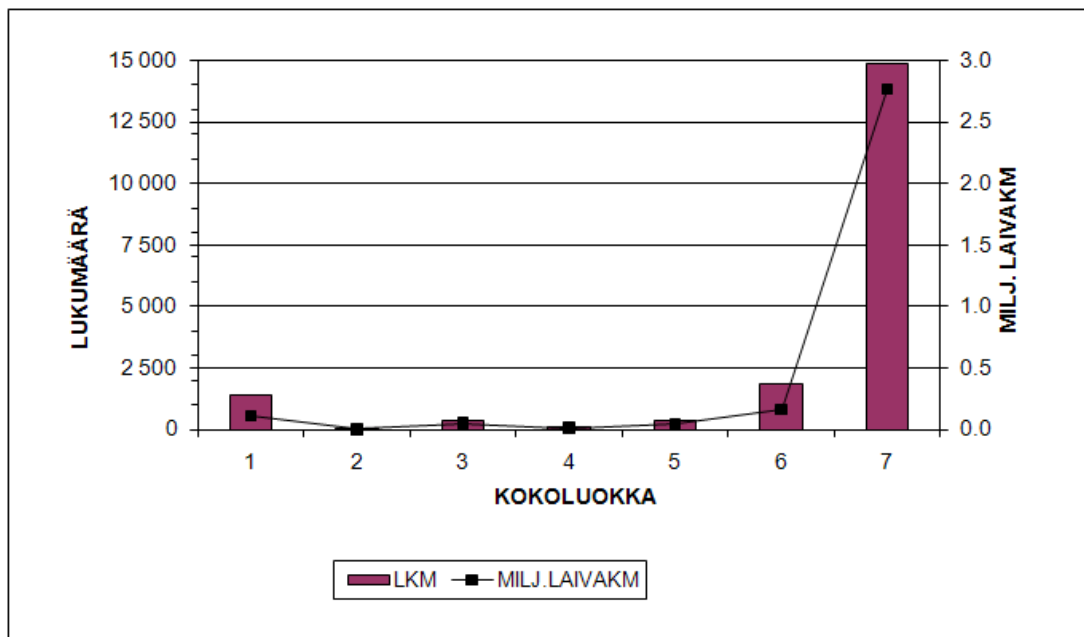
Luokka	BRT	Teho (kW)	Apuk. teho (kW)	Nop. (80% teholla) km/h
1	300-999	8 162	230	67
2	1 000-2 499	1 324	346	26
3	2 500-4 499	2 836	520	29
4	4 500-7 999	4 680	786	31
5	8 000-11 999	10 501	1 122	29
6	12 000-20 000	14 806	1 447	38
7	>21 000	31 688	1 770	41

Huvi-, kalastus- ja työveneet sekä -alukset on jaettu laskentaa varten luokkiin moottoritehon perusteella. Tarkemmat luokitteluperusteet on esitetty tietokannan luonnin esittelyn yhteydessä luvussa 3.2.3.





Kuva 5. Rahtilaivojen satamassakäyntien lukumäärä ja laivakilometrit vuonna 2009 kokoluokittain.



Kuva 6. Matkustajalaivojen satamassakäyntien lukumäärä ja laivakilometrit vuonna 2009 kokoluokittain.

### 3.2.3 Tietokantojen luonti

Rahti- ja matkustajalaivojen liikennöintitiedoista on luotu MEERI:iin kaksi erillistä tietokantaa, toinen valtakunnallista ja toinen satamakohtaista laskentaa varten. Valtakunnallisessa tietokannassa esitetään satamassakäyntien lukumäärät sekä kilometrimäärät. Tapahtumat on jaoteltu brt-luokkien lisäksi liikennöintialueen (kotimaanliikenne, ulkomaanliikenne), alkuperän (suomalainen, ulkomaalainen) ja laivan tyyppin mukaan. Rahtilaivojen tyypit ovat: junalautta, lastilautta, konttialus, irtolasialus, muu kuivalastialus, säiliöalus ja muu alus. Matkustajalaivat on vastaavasti

jaettu matkustaja-aluksiin ja matkustaja-autolauttoihin. Satamakohtaisessa tietokannassa esitetään ainoastaan satamassakäyntien lukumäärät. Liikennöintitapahtumat on jaoteltu lähes samalla lailla kuin valtakunnallisessa laskennassa. Laivojen tyyppiä on vain vähemmän, ainoastaan pääluokat rahti- ja matkustajalaivat. Taulukossa 3 on esitetty mallipala valtakunnallisen laskennan tietokannasta. Esimerkissä on esitetty satamassakäyntien lukumäärät kotimaanliikenteessä oleville suomalaisille aluksille. Vastaava taulukko on myös kilometrimäärille.

Taulukko 3. Malli valtakunnallisen laskennan tietokannasta.

Liikalue	Alkuperä	Aluslaji	Lkm brt-luokittain						
			1	2	3	4	5	6	7
kotimaa	suom	junalautta	0	0	0	0	0	0	0
kotimaa	suom	lastilautta	0	0	0	306	0	0	0
kotimaa	suom	konttialus	0	0	0	0	0	0	0
kotimaa	suom	irtolastialus	69	174	0	0	0	0	0
kotimaa	suom	muu kuivalas-	838	83	5	0	0	0	0
kotimaa	suom	säiliöalus	168	0	135	92	505	27	29
kotimaa	suom	muu alus	70	248	11	18	9	0	0
kotimaa	ulkom	junalautta	0	0	0	0	0	0	0
kotimaa	ulkom	lastilautta	0	0	0	0	0	0	0
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

Huviveneiden lukumäärätiedoista on luotu oma tietokantansa. Lukumäärätiedot on jaoteltu ryhmiin moottoriveneiden osalta moottorityypin (perämoottori, sisäperämoottori, sisämoottori, vesisuihkumoottori, muu) mukaan. Purjeveneitä on käsitelty omana ryhmänään. Kunkin ryhmän sisällä veneiden lukumäärätiedot on jaoteltu moottoritehon (nimellisteho), moottorityypin (2-tahti, 4-tahti) sekä käytetyn polttoaineen (benssiini, diesel, muu) mukaan (taulukko 4). Veneiden keskimääräiseksi käyttötehoksi on arvioitu 50 % nimellistehosta.

Kalastusalusten ja -veneiden sekä työalusten ja -veneiden osalta on luotu vastaava, joskin suppeampi tietokanta. Kalastus- ja työveneiden sekä -alusten on oletettu käyttävän polttoaineenaan dieselöljyä. Malli tietokannasta on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 4. Malli perämoottoriveneiden tietokannasta (huvivenemalli).

Teho (kW)	keskim. teho	tehon-käyttö (%)	lkm bens. 2-tahti	lkm bens. 4-tahti	lkm diesel
<15	10	50	1 985	3 686	27
15-30	22.5	50	13 008	24 159	89
31-40	35	50	16 160	30 011	64
41-50	45	50	12 050	22 379	26
51-60	55	50	6 290	11 682	10
61-70	65	50	2 824	5 245	8
71-80	75	50	1 924	3 573	3
81-90	85	50	3 095	5 749	9
91-100	95	50	1 015	1 884	3
>100	120	50	4 654	8 642	84

Taulukko 5. Malli kalastus- ja työveneiden tietokannasta (kalastusalukset ja -veneet)

Teho (hv)	lkm
<50	1967
50-100	647
100-200	393
>200	264
<b>YHT:</b>	<b>3271</b>

### 3.2.4 Liikennöintimäärien kehitys

Rahti- ja matkustajalaivojen satamassakäyntien määrän kehitys on arvioitu vuoteen 2029 asti. Lähiajan laman vaikutuksesta ei ole mikään tahon tehnyt virallista arvioita ja se perustuu VTT:n karkeaan arvioon. Vuosien 1980–2009 käyntimäärät 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.

Myös huvi-, kalastus- ja työveneiden sekä jäänmurtajien lukumäärien ja polttonesteenkulutuksen arviointi tulevaisuudessa on vaikeaa. Huviveneiden määrän on arvioitu kasvavan vuoteen 2029 mennessä tasaisesti lähiajan lamaa lukuun ottamatta, kalastusalusten määrän laskevan. Arvio kalastusalusten lukumäärän kehityksestä on saatu maa- ja metsätalousministeriöstä. Työveneiden ja -alusten lukumäärän on arvioitu kehittyvän kalastusalusten lukumäärän kanssa samassa suhteessa. Jäänmurtajien kuluttaman polttonesteen määrä riippuu lähes yksinomaan talven kylmyydestä, niinpä tulevaisuuden kulutusarvoksi onkin valittu pitkän ajan keskiarvo.

Liitteessä A on esitetty eri laiva- ja venetyyppien suoritteille kehityskertoimet vuodesta 1980 vuoteen 2029.

## 3.3 Etäisyystiedot

Etäisyystiedot Suomen satamien välillä sekä Suomen satamista talousalueen ulompaan pisteeseen on saatu Liikennevirastosta kahtena etäisyysmatriisina. Ennen tietokantojen luontia kunkin liikennöintitapahtuman yhteyteen liitettiin etäisyysmatriisista saatu suoritieto (kilometrimäärä).

## 3.4 Polttonestetiedot

### 3.4.1 Kulutus

Dieselmootoreiden ominaiskulutus vaihtelee huomattavasti niiden rakennusajankohdan mukaan. Nykyaikaisen 2-tahtidieselmoottorin ominaiskulutus on 160 g/kWh ja nykyaikaisen 4-tahtidieselmoottorin 170-180 g/kWh. Vanhemmat moottorit taas kuluttavat 200-210 g/kWh. Pääkoneiston keskimääräisenä ominaiskulutuksena on laskentajärjestelmässä käytetty kaikille laivatyypeille kaikissa kuormitustapauksissa arvoa 200 g/kWh.

Huviveneiden osalta polttonesteenkulutukseksi on arvioitu 450 g/kWh 2-tahtimoottoreilla, 300 g/kWh 4-tahtimoottoreilla ja 250 g/kWh diesel-tyyppisellä moottorilla. Vuosittaiset kokonaiskulutukset on saatu kertomalla eri moottorityypeille tyypilliset vuotuiset käyttöajat (taulukko 6) aikaisemmin esitettyjen teholuokkien keskimääräisillä tehoilla. Käyttöaika-arviot perustuvat aiempiin VTT:n tutkimuksiin (Räsänen et. al. 2005). Veneiden keskimääräiseksi käyttötehoksi on arvioitu 50 % nimellistehosta. Nykyisen laman vuoksi malliin on lisätty vuotuisen käyttömäärän muunnoskerroin. VTT:n tekemän pienen haastattelukierroksen avulla on muodostettu näkemys tuntimäärien muutoksista lähivuosina. Normaali vuosien käyttömäärän muutoksista ei ole tutkittua tietoa.

Taulukko 6. Huviveneiden vuotuiset käyttöajat.

Venetyyppi	Käyttöaika h/a/vene
Perämoottoriveneet, alle 20 hv	15
Perämoottoriveneet, yli 20 hv	25
Sisäperämoottoriveneet	20
Sisämoottoriveneet	50
Vesisuihkumoottoriv.	30
Purjeveneet (moott.)	10
Moottoripurjehtijat	65

Kalastusalusten ja -veneiden sekä työalusten ja -veneiden kulutustiedot perustuvat ruotsalaiseen tutkimukseen (Naturvårdsverket 1992). Käytetyt kulutukset on esitetty taulukossa 7. Kulutuslukemat näyttävät olevan melko suuria ainakin suurten kalastusalusten osalta (150 000 l/a). Suomessa ei ole tehty tarkkaa tutkimusta, mutta 100 000 l/a tuntuisi oikeammalta Riista- ja kalatalouden tutkimuskeskuksen selvitysten perusteella. Tähän MEERI versioon korjausta ei ole vielä tehty.

Taulukko 7. Kalastusalusten ja -veneiden ja työalusten ja -veneiden kulutustiedot.

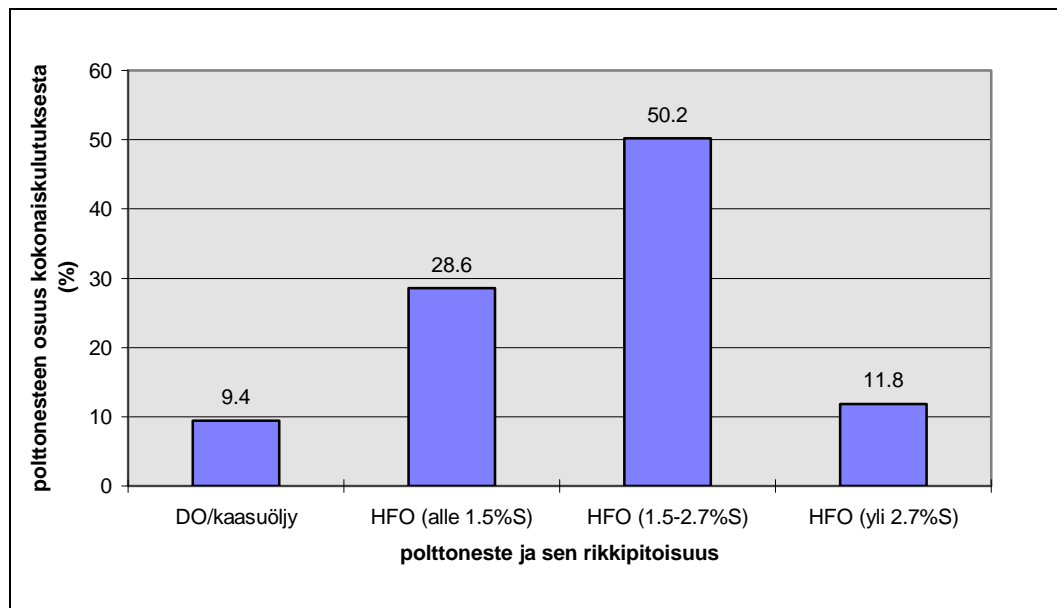
Teho (hv)	kulutus l/a/vene		
	Kalastusalukset ja -veneet	työveneet	työalukset
<50	500	500	1 000
50-100	1 000	1 000	3 000
100-200	5 000	2 000	10 000
>200	150 000	10 000	75 000

### 3.4.2 Rikkipitoisuus

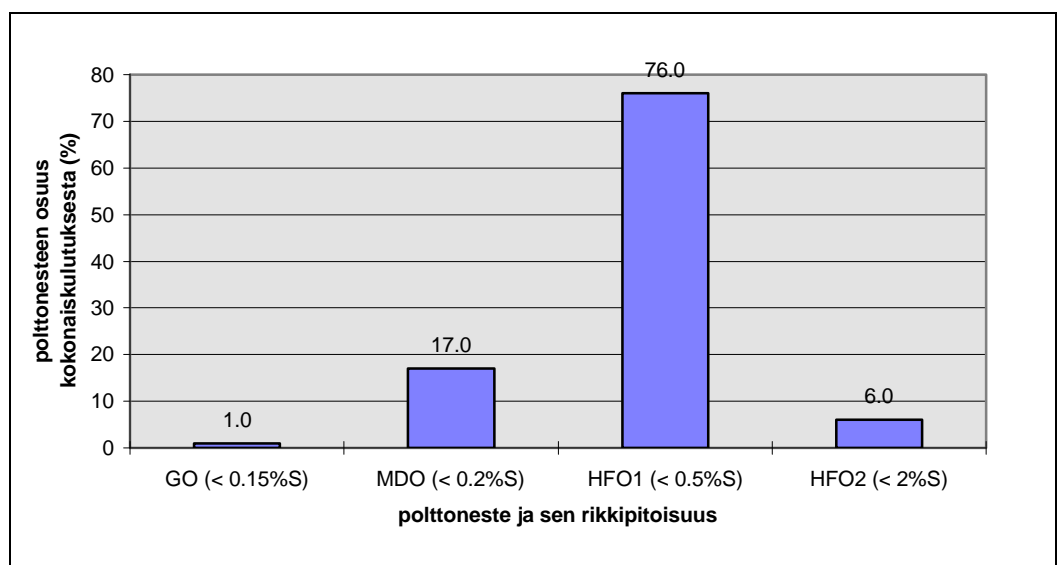
Rikkidioksidipäästöt ovat suoraan verrannollisia käytetyn polttonesteen rikkipitoisuuteen, joten päästöt ovat laskettavissa polttoaineen kulutuksen ja rikkipitoisuuden perusteella. Merenkululaitos on teettänyt vuonna 1995 Suomen lipun alla purjehtivien laivojen polttonesteiden rikkipitoisuutta koskevan kyselyn. Polttonesteet on jaettu neljään luokkaan, joista yksi sisältää dieselöljyt (DO) ja kolme muuta raskaita polttoöljyjä (HFO) eri rikkipitoisuuksilla. Rahtilaivojen osalta sekä eri polttonesteiden kulutuksen että rikkipitoisuuden on laskentajärjestelmässä oletettu jakautuvan kyseisen selvityksen mukaisesti (kuva 7). Tähän peruskertoimeen on luotu muunnoskerroin, jolla pyritään arvioimaan rikkipitoisuuden kehitys. Uudet polttonesteiden rikkipitoisuuden rajat Itämerellä ja Suomen satamissa on muuttanut edellä ku-

vattua tilannetta ja tulee muuttamaan myös lähivuosina. Mallissa rahtilaivojen keskimääräinen rikkisisältö polttoaineissa oli 1,1 % vuonna 2009 (taulukko 10). Itämerellä ei sallita yli 1,5 %:n pitoisuuksia. 1 %:n raja tuli voimaan kesällä 2010.

Matkustajalaivojen osalta eri polttonesteiden kulutus- ja rikkipitoisuustiedot (kuva 8) perustuvat suurimpien suomalaisten varustamojen antamiin tietoihin sekä Helsingin kaupungin selvityksiin. Myös matkustajalaivoilla polttonesteet on jaettu neljään luokkaan, joista yksi sisältää dieselöljyt, yksi Marinediesel-öljyt ja kaksi muuta raskaita polttoöljyjä eri rikkipitoisuuksilla. Mallissa matkustajalaivojen polttoaineiden rikkipitoisuus oli keskimäärin 0,4 % vuonna 2009 (taulukko 10).



Kuva 7. Rahtilaivojen polttonesteiden kulutus- ja rikkipitoisuusjakauma (MKH 1994).



Kuva 8. Matkustajalaivojen polttonesteiden kulutus- ja rikkipitoisuusjakauma.

Huviveneiden käyttämän bensiinin rikkipitoisuudeksi on arvioitu 0.0008 paino- %. Kaikkien dieselmoottorilla varustettujen huviveneiden täytyy käyttää nykyisin sa-

maa dieselöljyä kuin tieliikenteen eli sen rikkipitoisuus on 0.001 paino- %. Kalastusalusten ja -veneiden sekä työalusten ja -veneiden arvioidaan käyttävän moottori-polttoöljyä ja sen rikkipitoisuus on 0.001 paino- %.

### 3.5 Päästökerrointiedot

#### 3.5.1 Tutkitut yhdisteet

Laskentajärjestelmä laskee Suomen laivaliikenteen sekä pienveneilyn päästöt seuraavista yhdisteistä: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO<sub>x</sub>), hiukkaset, metaani (CH<sub>4</sub>), typpioksiduuli (N<sub>2</sub>O), rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>) ja hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>). Rikkidioksidipäästöt ovat suoraan verrannolliset käytetyn polttonesteen rikkipitoisuuteen, muut päästöt lasketaan laivojen kokonaisenergiankulutuksen (kWh, kgpa) ja päästökerrointen (g/kWh, g/kgpa) avulla.

#### 3.5.2 Päästölähteet

Laivojen päästölähteinä toimivat pääkoneet, apukoneet ja kattilat. Tähän tutkimukseen sisältyvät pää- ja apukoneiden päästöt, kattiloiden päästöjä ei ole huomioitu. Laivojen pääkoneistona on lähes poikkeuksetta yksi tai useampia 2- tai 4-tahtisia dieselkoneita. Keskinopea 4-tahtidieselmoottori on tavallinen alle 5 000 brt aluksissa. Hidaskäyntinen 2-tahtimoottori on tyypillinen yli 5 000 brt aluksissa. Tästä poikkeuksen muodostavat jäänmurtajat ja matkustaja-autolautat, joissa pääkoneisto koostuu useammista 4-tahtimoottoreista (Lundén 1992). Keskinopeiden ja hidaskäyntisten moottoreiden osuudet rahtilaivojen kussakin brt-luokassa (Taulukko 8) perustuvat Ruotsissa tehtyyn tutkimukseen (Alexandersson et al. 1991). Kaikki matkustajalaivojen koneet on oletettu keskinopeiksi 4-tahtimoottoreiksi ja jäänmurtajat hidaskäyntisiksi 2-tahtimoottoreiksi.

*Taulukko 8. Keskinopeiden ja hidaskäyntisten moottoreiden prosentiosuudet brt-luokittain rahtilaivoilla.*

Luokka	BRT	Keskinopeat (%)	Hidaskäyntiset (%)	Yhteensä (%)
1	300-999	97	3	100
2	1 000-2 499	72	28	100
3	2 500-4 499	76	24	100
4	4 500-7 999	25	75	100
5	8 000-11 999	10	90	100
6	12 000-20	8	92	100
7	>21 000	0	100	100

Apumoottoreita tarvitaan huolehtimaan aluksen energiahuollosta. Niillä tuotetaan tavallisesti tarvittava sähköenergia sekä käytetään pumppuja, nostureita, jäähdytys-, lämmitys- ja hydraulilaitteistoja jne. Apumoottoreiden teho vaihtelee aluksittain suuresti (Lundén 1992).

Pienveneiden moottorit ovat joko 2- tai 4-tahtisia bensiinimoottoreita tai dieselmoottoreita.

### 3.5.3 Päästökertoimien määrittäminen

Rahti- ja matkustajalaivojen päästöjen laskennassa kullekin tarkasteltavalle yhdisteelle ominaiset päästökertoimet on määritetty käyttäen hyväksi useita kotimaisia ja ulkomaisia lähteitä. Mittaustuloksia on saatu Suomesta (Wärtsilä), Ruotsista (Mariterm), Norjasta (Maritek) ja Englannista (Lloyd's Register). Mittaustulosten perusteella kullekin yhdisteelle on pyritty määrittämään sitä parhaiten kuvaava arvo (Liite 3). Taulukossa 9 on esitetty ensimmäisessä MEERI-järjestelmässä (MEERI 96) käytetyt päästökerrointen arvot. Vuosi 1996 on siis päästökerrointen osalta perusvuosi. Taulukossa 13 on esitetty ne kehityskertoimet joilla kertoimien perusarvot vuodelta 1996 on tarkasteluvuonna (tässä tapauksessa vuosi 2009) kerrottu, jotta kertoimet kuvastaisivat mahdollisimman hyvin arvoissa tapahtunutta kehitystä vuoteen 1996 verrattuna. Päästökertoimien arvioitu kehitys on erilainen rahti- ja matkustajalaivoille selvityksiä (G. Demker et al. 1994, Thune-Larsen et al. 1997).

Rikkidioksidi- (SO<sub>2</sub>) ja hiilidioksidi- (CO<sub>2</sub>) päästöt lasketaan eri tyyppisten polttoaineiden käytön määrien ja niitä vastaavan kertoimen (g/kg) pohjalta. Polttoaineet on kuvattu edellä luvussa Rikkipitoisuus. Laivat käyttävät polttoaineita kuvien 7 ja 8 osoittamat määrät. Taulukossa 10 on koko laivakannan keskimääräiset kertoimet, joissa siis on otettu huomioon polttoaineen rikkipitoisuus ja käytön määrä. Rikkidioksidin (SO<sub>2</sub>) määrä on 20 kertaa polttoaineen rikkisisällön painoprosentti (p-%).

Taulukko 9. MEERI 96:ssa käytetyt päästökertoimet.

Moottori-tyyppi	Kuormitus	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO <sub>x</sub> (g/kWh)	hiukkaset (g/kWh)	CH <sub>4</sub> (g/kWh)	N <sub>2</sub> O (g/kWh)
2-tahti	80 %	0,6	0,4	17,7	0,5	0,05	0,017
	20 %	0,8	0,5	17,1	0,6	0,05	0,017
4-tahti	80 %	1,0	0,4	14,0	0,3	0,05	0,017
	20 %	2,0	0,5	16,0	0,4	0,05	0,017

Taulukko 10. Laivojen keskimääräiset SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>päästöt ja energiasisältö MEERI 2009 mallissa (polttoaineiden käytön määrällä painotettuna).

Yhdiste	Rahtilaivat keskimäärin	Matkustajalaivat keskimäärin
SO <sub>2</sub> päästökerroin [g/kg]	22 (S p-% = 1,1)	8 (S p-% = 0,4)
CO <sub>2</sub> päästökerroin [g/kg]	3 231	3 225
Polttoaineen energiasisältö [MJ/kg]	41.2	41.3

Kullekin rahtilaivojen kokoluokalle on määritetty päästökertoimet sen mukaan kuinka 2-tahtisten (hidaskäyntiset) ja 4-tahtisten (keskinopeat) prosenttiosuudet jakautuvat luokan sisällä (taulukko 8). Taulukossa 11 on esimerkki tyyppien oksidien päästökertoimista kokoluokittain. Matkustajalaivojen moottorit on oletettu keskinopeiksi, joten kaikille niiden kokoluokille on käytetty 4-tahtimoottorien päästökertoimia. Samoin kaikille apukoneille sekä rahti- että matkustajalaivoissa on käytetty 4-tahtimoottorien kertoimia.

Huviveneille sekä kalastus- ja työveneille käytetyt päästökertoimet on esitetty taulukossa 12. Arvot perustuvat aikaisempiin tutkimuksiin (Lundén 1993, Naturvårdsverket 1992). Kaikkien kevyttä polttoöljyä käyttävien veneiden oletetaan vuonna

2009 käyttäneen moottoripolttoöljyä (mm. erittäin alhainen rikki- ja hiilidioksidipäästöt) on suhteutettu kulutukseen. Jäänmurtaajille on käytetty rahtilaivoille määritettyjä päästökertoimia.

*Taulukko 11. Rahtilaivojen typen oksidien päästökertoimet kokoluokittain (g/kWh).*

Luokka	BRT	Kuormitus 80 %	Kuormitus 20 %
1	300-999	11,8	13,4
2	1 000-2 499	12,6	13,7
3	2 500-4 499	12,5	13,6
4	4 500-7 999	14,1	14,1
5	8 000-11 999	14,5	14,2
6	12 000-20 999	14,6	14,3
7	>21 000	14,8	14,3

*Taulukko 12. Huviveneille, kalastus- ja työveneille sekä -aluksille käytetyt päästökertoimet, MEERI 2009.*

Huviveneet							
Moottorityyppi	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO <sub>x</sub> (g/kWh)	hiukkaset (g/kWh)	CH <sub>4</sub> (g/kWh)	N <sub>2</sub> O (g/kWh)	SO <sub>2</sub> (g/kg polttoain.)
2-tahti, alle 20 hv	187,5	112,4	1,8	4,5	2,0	0,0076	0,0160
2-tahti, yli 20 hv	206,3	74,9	3,6	3,6	2,0	0,0076	0,0160
4-tahti	140,6	11,2	7,2	0,5	0,5	0,0254	0,0160
dieselöljy	3,75	1,12	13,79	0,42	0,04	0,0211	0,020
Kalastus- ja työveneet							
Moottorityyppi	CO (g/kg <sub>pa</sub> )	HC (g/kg <sub>pa</sub> )	NO <sub>x</sub> (g/kg <sub>pa</sub> )	hiukkaset (g/kg <sub>pa</sub> )	CH <sub>4</sub> (g/kWh)	N <sub>2</sub> O (g/kWh)	SO <sub>2</sub> (g/kg polttoain.)
nopeakierr. diesel	9	2,87	64	0,96	0,17	0,085	0,018

### 3.5.4 Päästökertoimien kehitys

Eri yhdisteiden päästökertoimien arvojen kehitys on arvioitu vuodesta 1980 vuoteen 2029 asti. Päästökertoimien arvot vuodelta 1996 ovat perusarvoja. Vuosittaisen päivityksen yhteydessä kaikkien yhdisteiden perusvuoden (tässä tapauksessa 2009) kertoimia muutetaan kertomalla ne kyseessä olevaa vuotta vastaavalla kehityskertoimella (taulukko 13). Kehityskertoimien arvot ovat karkeita ja vain suuntaa antavia. Arvot on esitetty erikseen matkustaja- ja rahtilaivoille. Lähteinä on käytetty sekä ulko- että kotimaisia selvityksiä (G. Demker et al. 1994, Thune-Larsen et al. 1997) että asiantuntija-arvioita.



Taulukko 13. MEERI 2009:n kehityskertoimet päästökertoimille (MEERI 96:een verrattuna).

Alustyyppi	vuosi	CO	HC	NO <sub>x</sub>	hiukkaset	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Rahtilaivat	1996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	1997	1,000	0,993	0,987	0,987	0,993	1,000
	1998	1,000	0,987	0,973	0,973	0,987	1,000
	1999	1,000	0,980	0,960	0,960	0,980	1,000
	2000	1,000	0,973	0,946	0,946	0,973	1,000
	2001	1,000	0,967	0,933	0,933	0,967	1,000
	2002	1,000	0,960	0,919	0,919	0,960	1,000
	2003	1,000	0,953	0,906	0,906	0,953	1,000
	2004	1,000	0,946	0,892	0,892	0,946	1,000
	2005	1,000	0,940	0,879	0,879	0,940	1,000
Matkustajalaivat	1996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	1997	0,995	0,995	1,000	0,990	0,995	1,000
	1998	0,975	0,975	0,975	0,980	0,975	1,000
	1999	0,950	0,950	0,937	0,970	0,950	1,000
	2000	0,925	0,925	0,899	0,955	0,925	1,000
	2001	0,900	0,900	0,861	0,940	0,900	1,000
	2002	0,874	0,874	0,823	0,925	0,874	1,000
	2003	0,844	0,844	0,785	0,910	0,844	1,000
	2004	0,814	0,814	0,747	0,900	0,814	1,000
	2005	0,784	0,784	0,709	0,885	0,784	1,000
2006	0,752	0,752	0,664	0,867	0,752	1,000	
2007	0,720	0,720	0,619	0,849	0,720	1,000	
2008	0,686	0,686	0,574	0,831	0,686	1,000	
2009	0,652	0,652	0,529	0,813	0,652	1,000	

## 4 Järjestelmäkuvaus

### 4.1 MUST malli

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

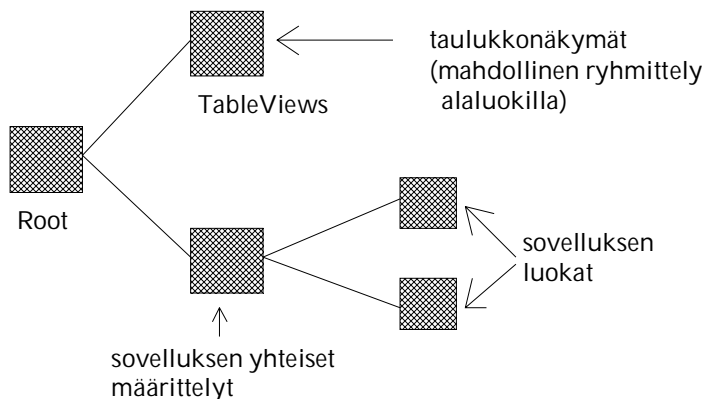
#### 4.1.1 MUST-ohjelmistokehittimen rakenne

##### MUST-sovellusrakenne

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

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

##### Mallin perusrakenne



##### Mallintamisen perustyökalut

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

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

### **Periytyminen, perus- ja johdetut määrittelyt**

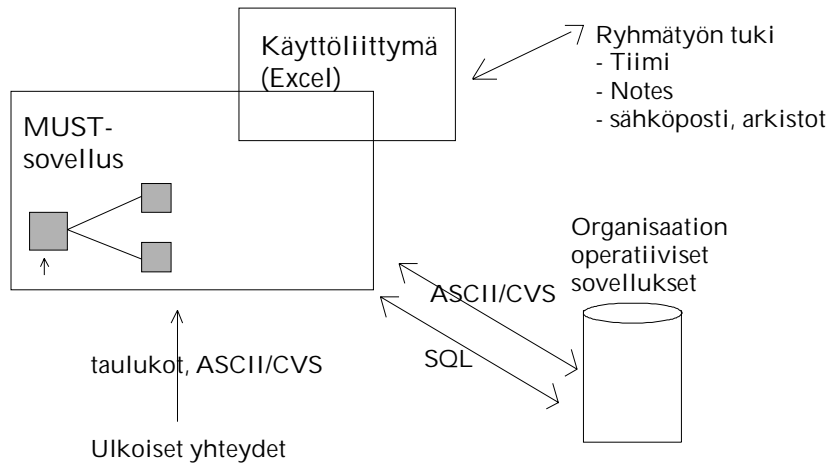
- MUSTissa luokkahierarkiassa toimii dynaaminen moniperintä
  - muutokset heijastuvat välittömästi kaikkiin alaluokkiin ja datataulukoihin
  - luokalla voi olla useampia yläluokkia
- linkin tai muuttujan määrittely on perusmäärittely (base relation, base item) silloin, kun määrittely ei ole peritty
-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

### **Mallin komponenttien “eristäminen”, ylläpidettävyys**

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

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

### Koko sovellusarkkitehtuuri



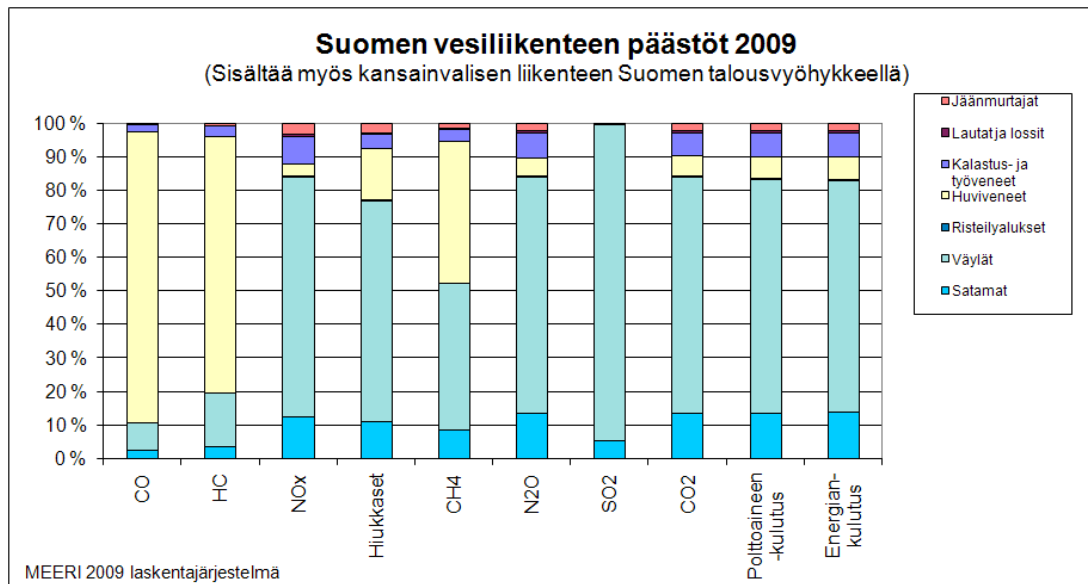
## 5 Laskentatulokset

### 5.1 Päästö määrät

Suomen vesiliikenteen aiheuttamat päästöt Suomen talousalueella vuonna 2009 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 26 600, hiilivetyjä (HC) 6 510 t, typen oksideja (NO<sub>x</sub>) 51 200 t, hiukkasia 1 580 t, metaania (CH<sub>4</sub>) 330 t, typpioksiduulia (N<sub>2</sub>O) 76 t, rikkidioksidia (SO<sub>2</sub>) 12 800 t ja hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) 2 970 000 t. Polttoainetta kulutettiin yhteensä 930 000 t ja kokonaisenergiankulutus oli 38,7 PJ. (taulukko 14, kuva 9).

Taulukko 14. Suomen vesiliikenteen päästö määrät 2009.

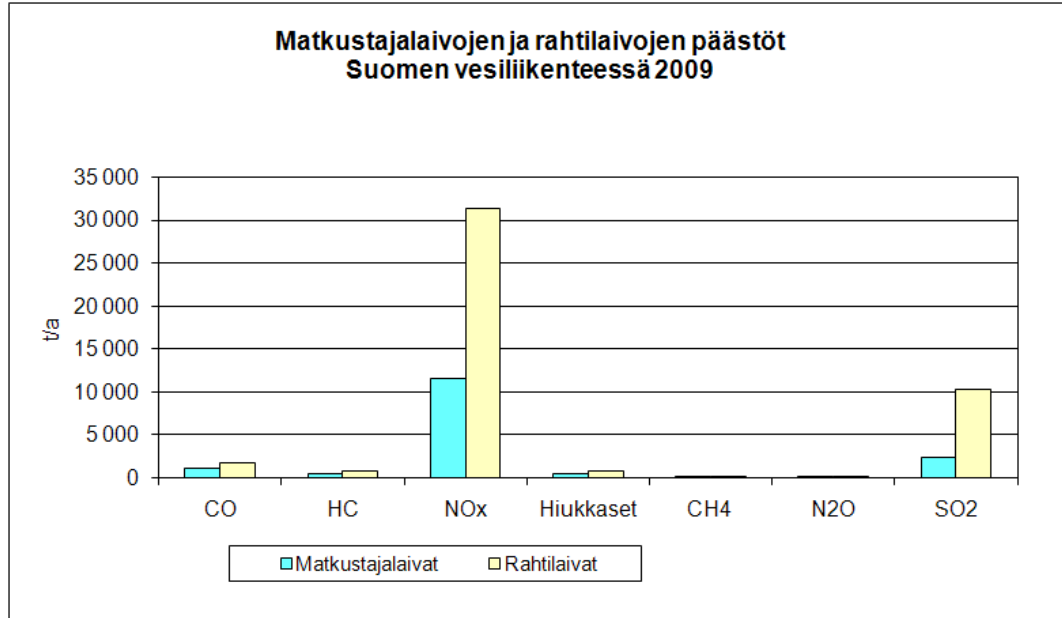
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	Hiuk- kaset	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Polttoaineen kulutus	Energianku- lutus
	t/a									GJ/a
Satamat	604	212	6 386	170	28	10	641	397 356	125 042	5 299 678
Väylät	2 204	1 050	36 600	1 043	146	54	12 045	2 096 742	649 943	26 826 191
Risteilyalukset	26	8.3	185	2.8	0.49	0.25	0.058	8 973	2 890	121 954
Huviveneet	23 023	4 996	1 661	246	141	4.0	1.0	174 633	59 029	2 527 343
Kalastus- ja työven.	596	190	4 239	64	11	5.7	1.3	205 643	66 232	2 795 006
Lautat ja lossit	55	18	394	5.9	1.1	0.53	0.12	19 110	6 155	259 733
Jäänmurtajat	61	39	1 655	47	5.3	1.7	27	66 237	20 456	858 795
<b>Yhteensä</b>	<b>26 571</b>	<b>6 514</b>	<b>51 119</b>	<b>1 578</b>	<b>332</b>	<b>76</b>	<b>12 716</b>	<b>2 968 693</b>	<b>929 746</b>	<b>38 688 700</b>



Kuva 9. Suomen vesiliikenteen päästösuhteet 2009.

Taulukossa 14 on mukana ulkomaanliikenne, jota ei kansainvälisissä vertailuissa yleensä lasketa kansallisiin päästö määriin. Rahti- ja matkustajaliikenteen osalta päästöt on jaettu väylä- ja satamapäästöihin. Huviveneiden, kalastus- ja työveneiden, risteilyalusten ja lauttojen ja lossien sekä jäänmurtajien osalta on esitetty vain yksi kokonaispäästö määrä kuvaava luku. Tulostaulukon luvut on esitetty järjestelmän tuottamassa muodossa. Lähtötietojen tarkkuuden edellyttämä esitystarkkuus olisi noin kolmen merkitsevän numeron tarkkuus. Matkustaja- ja rahtilaivojen aiheuttamia päästöjä on vertailtu kuvassa 10. Rikkidioksidin ja typen oksidien

määrät ovat rahtilaivoilla selvästi suuremmat kuin matkustajalaivoilla. Rikkidioksidin (SO<sub>2</sub>) määrä on suoraan verrannollinen laivoissa käytettävien polttonesteiden rikkipitoisuuteen, mikä rahtilaivoilla onkin huomattavasti suurempi. Myös typpien oksidien kokonaismäärä on rahtilaivoilla huomattavasti matkustajalaivoja suurempi.

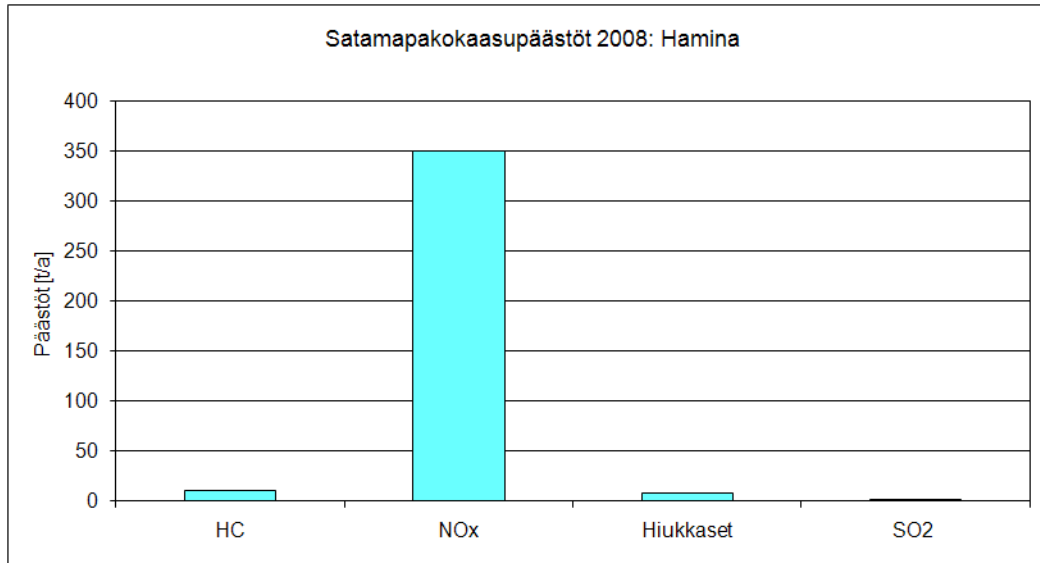


Kuva 10. Rahti- ja matkustajalaivojen päästöt Suomen talousvyöhykkeellä 2009.

Esimerkkinä satamakohtaisen laskennan tuloksista on taulukossa 15 ja kuvassa 11 esitetty laivaliikenteen aiheuttamat päästöt Haminan satamassa (sisältää 20 minuutin ajon sisään ja ulos satamasta ja laituripäästöt).

Taulukko 15. Laivaliikenteen pakokaasupäästöt Haminan satamassa 2009.

	CO	HC	NO <sub>x</sub>	Hiuk- kaset	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Polttoaineen- kulutus	Satamassa- käynnit
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	kpl/a
2008	30	11	350	8.0	1.4	0.49	30	18 853	5 947	1105



Kuva 11. Laivaliikenteen pakokaasupäästöt Haminan satamassa 2009.

Aikasarjatarkastelussa aikajänteeksi on valittu vuodet 1980–2029, yhteensä 49 vuotta, joka on sama kuin LIPASTO 2009 järjestelmässä. Vuodet 1980–2009 kuvaavat satamassakäyntien osalta todellista, tapahtunutta kehitystä ja vuodet 2010 - 2029 arvioitua tulevaisuuden kehitystä. Taulukossa 16 on esitetty eri yhdisteiden päästömäärien kehitys (kaikki laivatyyppit yhteensä mukaan lukien huviveneet) sekä polttoaineenkulutus yhteensä vuodesta 1980 vuoteen 2029.

Liitteessä C on esitetty kuvina vesiliikenteen päästömäärien kehitys vuodesta 1980 vuoteen 2009 sekä ennuste vuosille 2010-2029. Hiilimonoksidipäästöissä (CO) on huviveneiden aiheuttamilla päästöillä suurin osuus. Huviveneiden määrä kasvoi voimakkaasti koko 80-luvun (liite 1/2) samoin kuin laivojen satamassakäyntimäärät. Kasvu huviveneiden osalta taittui 90 luvun alussa mikä aiheutti kasvun loivenemisen myös CO päästöissä (liite 4/1). Nopea nousu kuvaajassa vuosien 1997 - 1999 kohdalla johtuu huviveneiden määrän odotettua suuremmasta kasvusta. Jyrkkä lasku vuonna 2009 aiheutuu paitsi lamasta myös huonosta säästä ja siirtymisestä korkeasti verotetun dieselpolttoaineen käyttöön. Hiilivetyjen (HC) määrän kehitys on CO:n kanssa samansuuntainen. Erittäin jyrkkä lasku aiheutuu myös tarkistetusta 4-tahtimoottorien osuudesta. 4-tahtimoottorit tuottavat huomattavasti vähemmän HC-päästöjä kuin 2-tahtiset. Typen oksideissa (NOx) laivojen ominaispäästöt ovat jatkuvasti alentuneet, mikä on pitänyt kokonaispäästöjen kasvun lievänä. Viime vuosina liikennöinnin määrässä on tapahtunut heilahteluja molempiin suuntiin, mikä näkyy myös NOx-päästöjen määrän vaihteluna. Odotettavissa olevat parannukset moottoritekniikassa tullevat kääntämään päästömäärän laskuun. Hiukkasten osalta kehitys on typen oksidien kaltainen, mutta hiukan loivempi. Rikkidioksidipäästöjen (SO<sub>2</sub>) kehitys riippuu olennaisesti käytetyn poltto-  
nesteiden rikkipitoisuudesta. Laivaliikenne on kansainvälistä eikä rikkipitoisuuksien rajoituksia saada nopeasti aikaiseksi. Itämerellä ovat voimassa tiukat normit ja ne yhä tiukkenevat, mikä näkyy rikkidioksidipäästöjen nopeana laskuna (liite 4/3). Hiilidioksidipäästöt ja energiankulutus tullevat vain lievästi laskemaan tulevina vuosina lisääntyvän liikennöinnin seurauksena.

Taulukko 16. Suomen vesiliikenteen päästöt 1980–2029

	CO	HC	NO <sub>x</sub>	Hiuk- kaset	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Polttoain. kulutus	Energian- kulutus
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	GJ/a
1980	13 674	5 363	57 298	1 536	267	65	20 142	2 537 304	790 236	32 873 855
1981	14 223	5 549	56 039	1 509	268	64	19 428	2 495 569	777 359	32 337 687
1982	14 760	5 738	55 044	1 492	269	62	18 481	2 450 631	763 493	31 768 699
1983	15 593	6 036	54 117	1 481	273	62	18 527	2 425 972	755 886	31 449 371
1984	16 195	6 258	54 427	1 497	279	62	18 547	2 443 630	761 387	31 679 369
1985	17 404	6 717	55 761	1 552	292	63	18 833	2 497 953	778 278	32 389 115
1986	17 973	6 917	55 180	1 545	294	63	18 091	2 474 154	770 971	32 091 677
1987	18 993	7 306	57 829	1 623	310	66	18 887	2 594 957	808 441	33 649 147
1988	20 830	7 967	58 075	1 643	326	67	18 888	2 635 462	821 136	34 172 649
1989	22 388	8 538	59 226	1 686	342	68	18 916	2 699 671	841 143	35 006 377
1990	24 221	9 215	60 409	1 738	360	70	19 250	2 766 124	861 815	35 867 001
1991	24 842	9 437	60 540	1 746	365	70	18 895	2 778 279	865 637	36 027 873
1992	25 197	9 558	60 480	1 744	368	70	18 658	2 785 706	867 974	36 122 262
1993	25 334	9 628	63 420	1 820	378	73	19 465	2 908 310	905 932	37 699 853
1994	25 592	9 768	69 260	1 974	396	79	21 474	3 151 901	981 330	40 831 186
1995	26 453	10 058	68 449	1 951	401	79	20 443	3 137 608	977 024	40 650 745
1996	26 502	10 071	67 613	1 934	399	78	19 797	3 097 193	964 091	40 120 108
1997	27 289	10 387	72 070	2 055	418	83	21 332	3 296 568	1 026 349	42 703 065
1998	28 055	10 658	68 120	1 982	416	80	19 967	3 180 250	990 323	41 208 792
1999	29 493	11 224	77 259	2 187	462	93	19 917	3 681 735	1 145 738	47 653 931
2000	28 985	11 018	74 296	2 132	453	91	19 298	3 598 697	1 119 956	46 583 160
2001	29 080	11 050	74 382	2 147	453	90	18 907	3 592 492	1 116 546	46 436 244
2002	29 569	11 230	72 183	2 133	454	89	19 103	3 550 606	1 103 571	45 901 845
2003	29 382	11 160	72 342	2 152	459	92	19 465	3 645 542	1 132 967	47 124 493
2004	29 178	11 043	66 928	2 030	426	81	18 222	3 491 689	1 085 857	45 167 054
2005	30 030	11 085	70 782	2 149	463	93	19 288	3 710 771	1 154 010	47 993 339
2006	30 624	11 268	62 343	1 953	436	82	17 694	3 293 312	1 024 734	42 641 214
2007	31 235	10 872	62 171	1 985	445	85	17 835	3 405 463	1 059 515	44 083 367
2008	26 791	6 885	59 079	1 764	360	84	17 704	3 314 329	1 030 978	42 876 800
<b>2009</b>	<b>26 748</b>	<b>6 535</b>	<b>51 111</b>	<b>1 578</b>	<b>333</b>	<b>76</b>	<b>12 716</b>	<b>2 968 888</b>	<b>929 826</b>	<b>38 692 097</b>
2010	26 945	6 426	54 886	1 708	350	84	12 228	3 288 975	1 028 816	42 795 397
2011	27 623	6 563	55 278	1 746	357	87	12 032	3 405 570	1 066 022	44 339 738
2012	28 289	6 699	55 955	1 797	365	91	11 682	3 560 563	1 114 410	46 347 568
2013	28 851	6 799	56 147	1 822	369	94	11 154	3 646 610	1 141 364	47 466 564
2014	29 228	6 829	54 773	1 801	367	93	5 962	3 643 712	1 140 660	47 438 803
2015	29 486	6 831	53 557	1 781	364	93	1 987	3 639 647	1 139 561	47 394 157
2016	29 627	6 805	52 469	1 760	361	93	1 983	3 633 685	1 137 821	47 322 036
2017	29 738	6 957	51 492	1 740	358	93	1 980	3 630 248	1 136 934	47 286 467
2018	29 898	7 149	50 613	1 722	356	93	1 977	3 625 734	1 135 684	47 235 315
2019	29 943	7 089	49 815	1 704	354	93	1 973	3 619 009	1 133 678	47 151 734
2020	30 034	7 214	49 087	1 687	352	93	1 970	3 615 100	1 132 624	47 108 895
2021	30 129	7 210	48 416	1 671	354	93	1 966	3 609 389	1 130 961	47 039 978
2022	30 269	7 361	47 797	1 656	353	93	1 963	3 604 748	1 129 659	46 986 559
2023	30 328	7 367	47 214	1 641	352	92	1 960	3 599 766	1 128 243	46 928 194
2024	30 472	7 392	46 674	1 628	351	92	1 956	3 595 706	1 127 138	46 883 183
2025	30 576	7 410	46 164	1 615	351	92	1 953	3 594 620	1 127 038	46 881 221
2026	30 558	7 400	45 674	1 602	350	92	1 949	3 584 702	1 123 953	46 751 407
2027	30 581	7 401	45 212	1 589	349	92	1 946	3 579 143	1 122 341	46 684 690
2028	30 564	7 393	44 763	1 577	348	92	1 943	3 573 271	1 120 623	46 613 444
2029	30 546	7 385	44 328	1 565	347	92	1 939	3 567 395	1 118 904	46 542 145



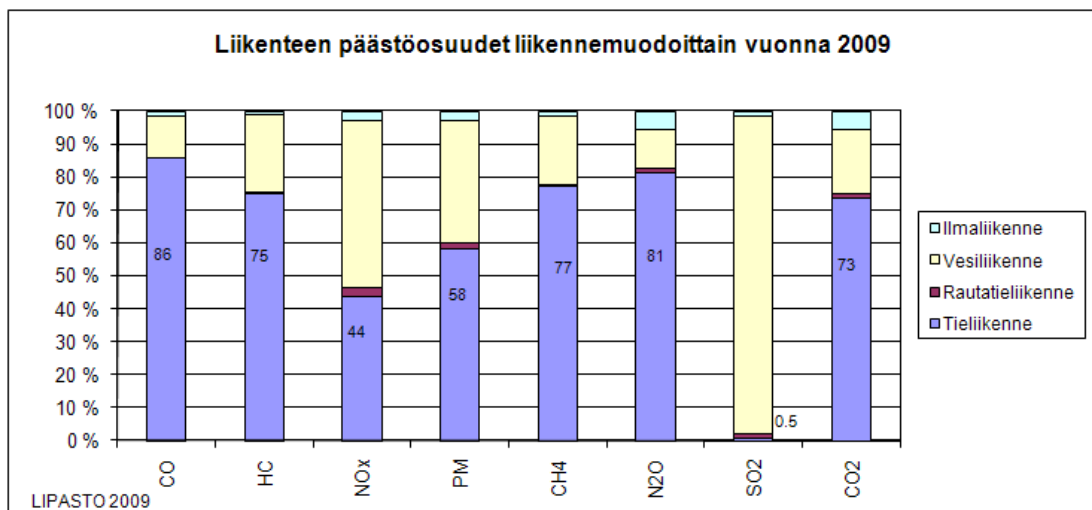
## 5.2 Päästöjen vertailu

Taulukossa 17 ja kuvassa 12 on esitetty eri liikennemuotojen aiheuttamien päästömäärien vertailu vuodelta 2009. Tulokset ovat Suomen liikenteen päästöjen laskentajärjestelmä LIPASTO 2009:stä, johon vesiliikenteen osuus tuotetaan MEERI 2009 mallilla. Vesiliikenteen osuus liikenteen kokonaispäästöistä on kaikkien muiden yhdisteiden paitsi rikkidioksidin (SO<sub>2</sub>) osalta tieliikenteen jälkeen toiseksi suurin. Vesiliikenteen aiheuttamien typen oksidien (NO<sub>x</sub>) määrä on 51 %, hiukasten 37 % ja hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) n. 19 % liikenteen kokonaispäästöistä. Vesiliikenteen aiheuttamat rikkidioksidipäästöt sen sijaan ovat 96 % rikkidioksidipäästöjen kokonaismäärästä. Vesiliikenteen päästöjen suuri määrä johtuu päästölaskennan aluerajauksesta: mukana on myös ulkomaan liikenteen Suomen talousvyöhykkeellä aiheuttamat päästöt. Kansainvälisessä laskennassa Suomelle lasketaan vain kotimaanliikenne. Liitteessä D on esitetty kuvina Suomen liikenteen aiheuttamien päästömäärien arvioitu kehitys vuodesta 1980 vuoteen 2029.

Taulukko 17. Suomen liikenteen päästöt ja energiankulutus 2009.

	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Primäärienergian kulutus [PJ]
Tieliikenne	184 919	20 529	44 138	2 459	1 237	519	69	11 277 445	161
Rautatieliikenne	382	133	2 405	71	9	6	205	230 425	5.8
Vesiliikenne	26 748	6 535	51 111	1 578	333	76	12 716	2 968 888	39
Ilmaliikenne	3 621	283	3 073	120	27	36	221	878 509	12
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>215 672</b>	<b>27 480</b>	<b>100 727</b>	<b>4 229</b>	<b>1 606</b>	<b>637</b>	<b>13 210</b>	<b>15 355 267</b>	<b>218</b>

Kuva 12. Suomen liikenteen päästöt 2009. Eri liikennemuotojen osuus päästöistä ja energiankulutuksesta (%). Tieliikenne on esitetty myös lukuarvoina.



## 6 Yhteenveto

Suomen vesiliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä MEERI on ensimmäinen vuosittain päivitettävä vesiliikenteen laskentamalli Suomessa. Järjestelmän ensimmäinen versio MEERI 96 valmistui vuonna 1997. Tämä tutkimusraportti käsittelee neljäntoista, vuoden 2009 tiedoilla päivitettyä versiota MEERI 2009. Projekti kuului osana LIPASTO 2009 -projektiin, jossa selvitettiin kaikkien liikennemuotojen päästöt Suomessa. MEERI 2009 -malli laskee vesiliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna 2009. Laskentatulokset saadaan sekä valtakunnallisesti että satamakohtaisesti. Karkealla tasolla päästömäärät on ennustettu vuodesta 1980 vuoteen 2029. Laskentajärjestelmä koskee meri- ja sisävesiliikennettä sekä huviveneilyä ja kalastusta Suomessa. Suomen armeijan veneet ja alukset eivät sisälly laskentaan.

MEERI 2009-laskentajärjestelmän perustan muodostavat satamien liikennöintitiedot. Satamassakäyntien lukumäärän ja välillä ajettujen kilometrimäärien perusteella lasketaan vesiliikenteen kokonaisenergiankulutus. Päästömäärät lasketaan päästökerrointen ja energiankulutuksen tulona.

Mallin avulla voidaan laskea Suomen vesiliikenteen aiheuttamat päästöt seuraavista yhdisteistä: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO<sub>x</sub>), hiukkaset (PM), metaani (CH<sub>4</sub>), typpioksiduuli (N<sub>2</sub>O), rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>) sekä hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>). Laskentaan sisältyy myös polttonesteenkulutus. MEERI 2009 laskentajärjestelmä on tarkoitettu lähinnä liikenneministeriön, Liikenneviraston ja VTT:n käyttöön. Tietoa LIPASTO 2009 ja MEERI 2009 laskentajärjestelmistä on nähtävissä VTT:n internetsivulla: <http://lipasto.vtt.fi/>

Suomen vesiliikenteen aiheuttamat päästöt Suomen talousalueella vuonna 2009 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 26 600 t, hiilivetyjä (HC) 6 510 t, typen oksideja (NO<sub>x</sub>) 51 200 t, hiukkasia 1 580 t, metaania (CH<sub>4</sub>) 330 t, typpioksiduulia (N<sub>2</sub>O) 76 t, rikkidioksidia (SO<sub>2</sub>) 12 800 t ja hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) 2 970 000 t. Polttonesteitä kulutettiin yhteensä 930 000 t ja kokonaisenergiankulutus oli 38,7 PJ.

Rahti- ja matkustajaliikenteen osalta päästöt on jaettu väylä- ja satamapäästöihin. Huviveneiden, kalastus- ja työveneiden sekä jäänmurtaajien osalta on esitetty vain yksi kokonaispäästö määrää kuvaava luku. Haitallisimpien yhdisteiden (typen oksidit ja rikkidioksidi) osalta rahtilaivat ovat suurimpia saastuttajia. Niiden osuus kyseisten yhdisteiden päästöistä on yli kaksi kolmannesta kokonaispäästö määrästä.

Vesiliikenteen päästöjen kehityksessä ei oleteta tulevaisuudessa tapahtuvan suuria muutoksia pitkäaikaiseen kehitykseen verrattuna muiden yhdisteiden paitsi rikkidioksidin osalta. Lähivuosina lama aiheuttaa kuitenkin selvän notkahduksen päästöissä. Rikkidioksidipäästöjen määrässä tapahtuu laskua vähärikkisempien polttonesteiden sekä jyrkempien satamamääräysten myötä.

## Lähdeviitteet

Alexandersson Anders, Flodström Eje, Öberg Rolf, Stålberg Peter. Exhaust Gas Emissions from Sea Transportation. MariTerm AB, Swedish Transport Research Board. TFB REPORT 1993:1. 225 s. + liitt.

Demker G., Flodström E., Sjöbris A., Williamson M. Miljöeffekter av transportmedelsval för godstransporter. Kommunikations forsknings beredningen. Handelshögskolan vid Göteborg Universitet, MariTerm AB. KFB rapport 1994:6. 235 s. + liitt.

Huhtinen Markku, Korhonen Risto, Laine Kai, Latvala Juha, Orava Ismo. Laivadieselien päästöjen mittaus ja valvonta. SIHTI-tutkimusohjelman projektin 2-12 loppuraportti. Kotkan ammattikorkeakoulu. Teknillinen oppilaitos. Energiatekniikan linja. Tutkimusraportti 1. Kotka 1993. 97 s. + liitt.

Lundén Kai. Merenkulku ja ympäristö. Veneliikenteen päästöt. Turun yliopiston merenkulkualan koulutuskeskuksen julkaisuja B54. Turku 1993. 109 s. + liitt.

Lundén Kai. Laivaliikenteen ympäristöpäästöt. Turun yliopiston, merenkulkualan koulutuskeskus. Helsinki 1992. Liikenneministeriön julkaisuja 27/92. 44 s. + liitt.

Marine Exhaust Emission Reseach Programme. Phase II Air Quality Impact Evaluation. Lloyd's Register 1991. 19 s. + liitt

Marine Exhaust Emission Reseach Programme. Steady State Operation. Lloyd's Register 1991. 17 s. + liitt

Marine Exhaust Emission Reseach Programme. Steady State Operation. Slow Speed Addendum. Lloyd's Register 1991. 5 s. + liitt.

Merenkululaitoksen vuositilasto 2009. Helsinki 2009. 74 s.

Meriliikenne Suomen ja ulkomaiden välillä 1994. Merenkululaitoksen tilastoja 5/1995. Helsinki 1995. 109 s.

Mäkinen Jaana. Raide- vesi- ja ilmaliikenteen ympäristöhaitat. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto. Espoo 1991. 113 s. + liitt.

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

Räsänen J., Järvi T, Mäkelä K, Rytönen J, Hentinen M, Hänninen S & Tervonen J., Veneilyn määrä ja taloudelliset vaikutukset Suomessa. Merenkululaitos, Merenkululaitoksen julkaisuja 5/2005. Helsinki 2005. 72 s. + 29 liit.

[http://www.merenkululaitos.fi/media/julkaisusarjat/Veneilyraportti\\_5\\_2005.pdf](http://www.merenkululaitos.fi/media/julkaisusarjat/Veneilyraportti_5_2005.pdf)

Tamminen Jaana. Laivojen dieselkoneiden pakokaasupäästöt. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, konetekniikan osasto. Espoo 1991. 85 s.

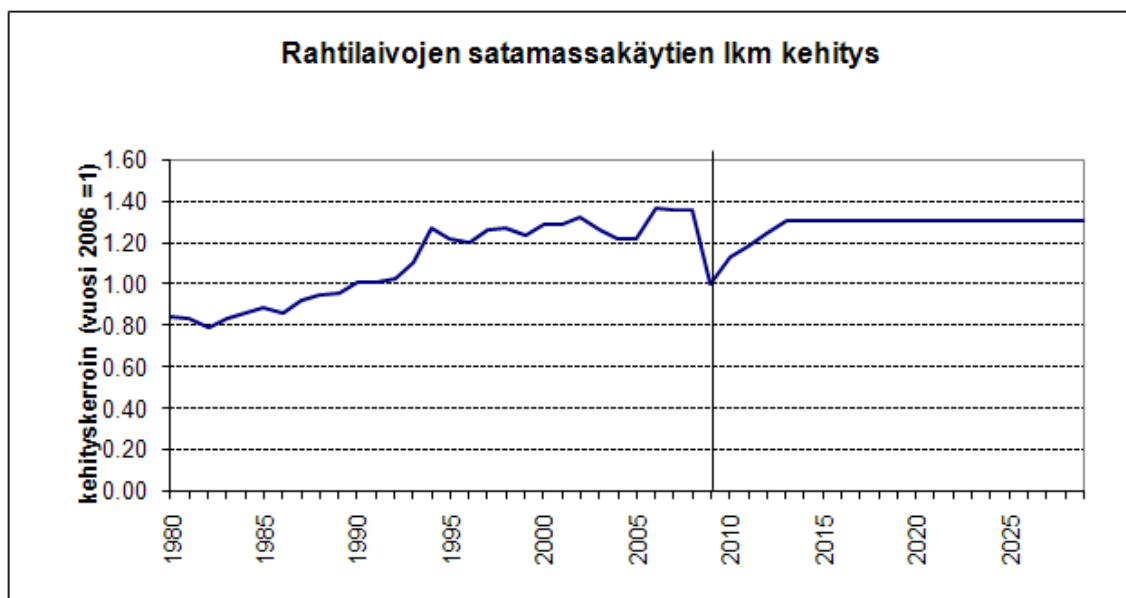
Tamminen Jaana. Suomen laivaliikenteen rikin ja typen oksidien päästöt sekä päästöjen vähentämismahdollisuudet. Helsinki 1992. Ympäristöministeriö Ympäristönsuojeluosasto selvitys 99 1992.

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

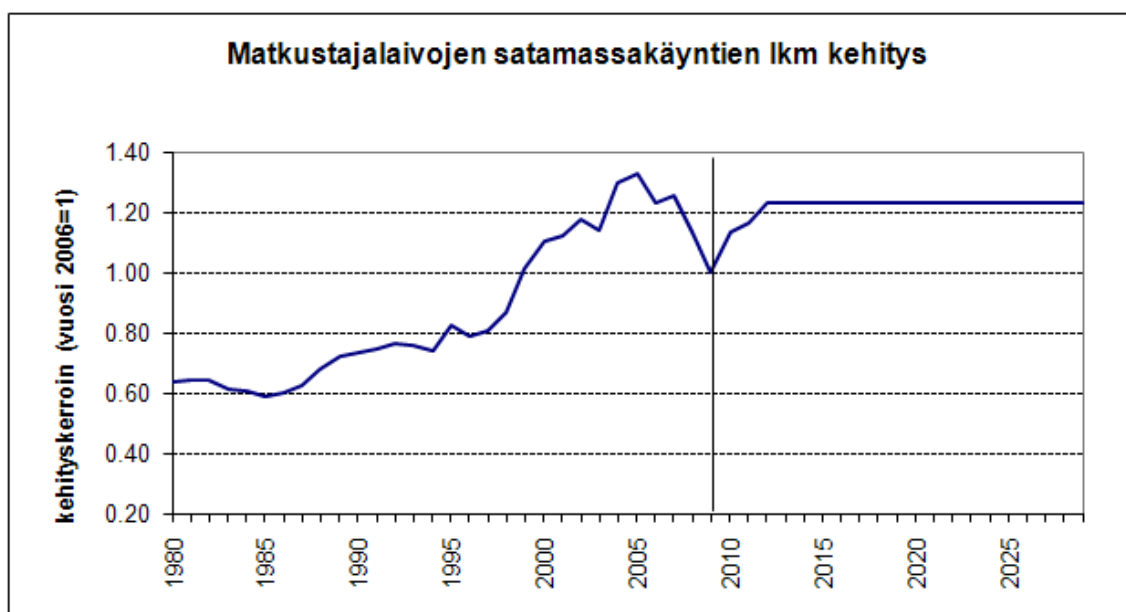
## Liite A

### Laiva- ja veneliikenteen suoritteiden kehityskertoimet

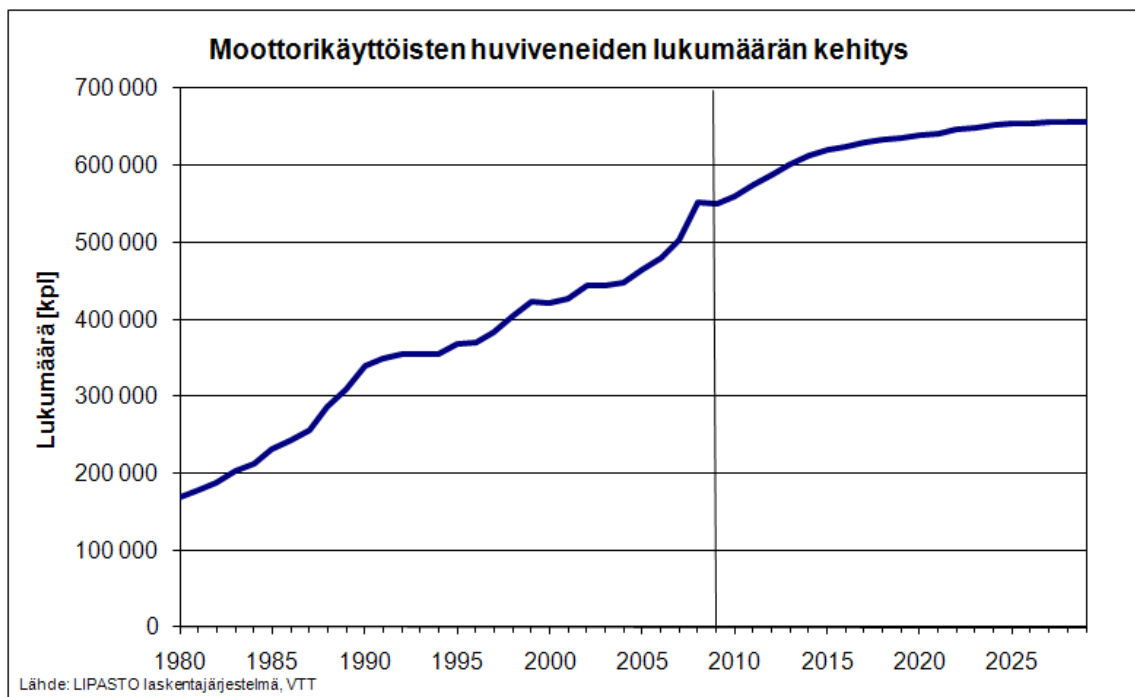
Laivaliikenteen satamassakäyntien kehityskertoimet on esitetty erikseen rahtilaivoille (kuva 1) ja matkustajalaivoille (kuva 2). Perusvuoden 2009 arvo on 1.0. Huviveneiden päästöjen laskenta perustuu niiden lukumäärään, joten myös kehityskerroin koskee lukumäärää (kuva 3). Jäänmurtaajien päästölaskennan perusta on polttonesteen kulutus. Kehityskerroin kuvaa siis polttonesteen kulutusta vuoteen 2009 verrattuna. Kalastus- ja työveneiden suoritteiden ennusteina on käytetty rahtilaivojen suoritteiden kehityskertoimista. Kertoimien ennusteet perustuvat Merenkululaitoksen, suurimpien varustamojen (matkustajalaivat) ja Maa- ja metsätalousministeriön arvioihin.



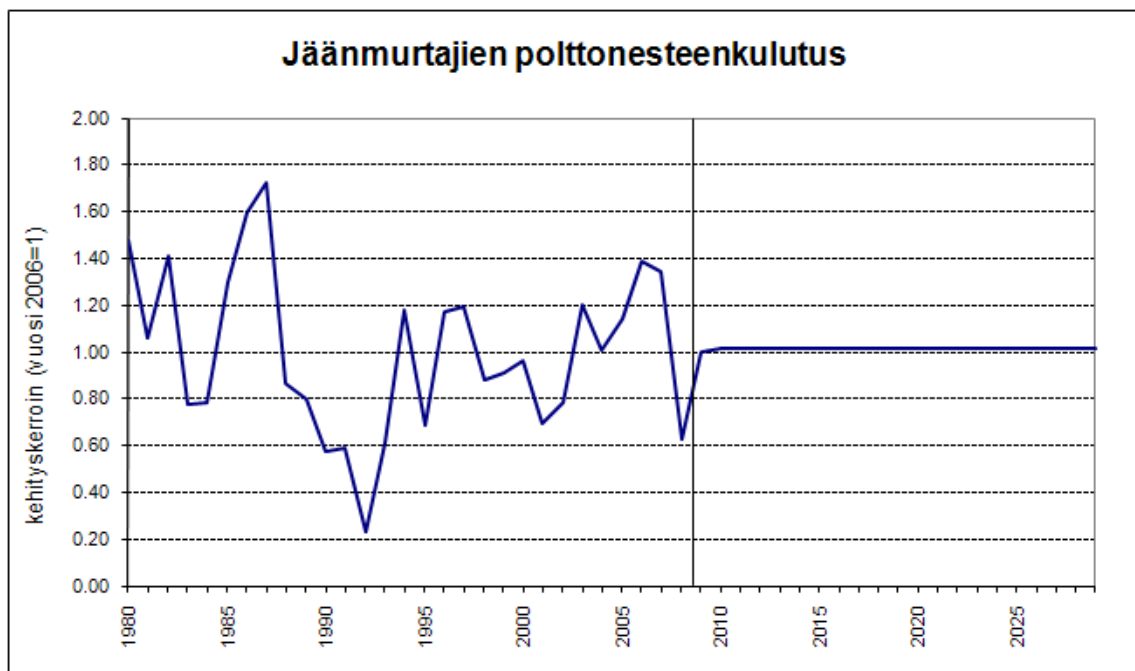
Liite A kuva 1. Rahtilaivojen satamassakäyntien kehityskerroin



Liite A kuva 2. Matkustajalaivojen satamassakäyntien kehityskerroin.



Liite A kuva 3. Huviveneiden lukumäärän kehitys.



Liite A kuva 4. Jäänmurtajien polttonesteenkulutuksen kehitys.

## Liite B:

### Päästökertointen määrittely

Taulukossa on esitetty MEERI 96 mallin kertoimet. Version MEERI 2009 päästökertoimet on korjattu taulukon 10 osoittamilla kehityskertoimilla.

#### NOx

Moottorityyppi	kuormitus	MARITERM	LLOYD'S	MARITEK	WÄRTSILÄ	MEERI 96
		g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh
2-tahti	80 %	17.7	18.7		16.5	17.7
	20 %	17.1	18		19.5	17.1
4-tahti	80 %	14	13.8	15.4	12	14
	20 %	21		18	13	16

#### CO

Moottorityyppi	kuormitus	MARITERM	LLOYD'S	MARITEK	WÄRTSILÄ	
		g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	
2-tahti	80 %	0.2	2.1		0.4	0.6
	20 %	0.6	1		0.8	0.8
4-tahti	80 %	1	1.6	0.36	0.25	1
	20 %	2.2	3	1.24	1	2

#### CO2

Moottorityyppi	kuormitus	MARITERM	LLOYD'S	MARITEK	WÄRTSILÄ	
		g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	
2-tahti	80 %	600	633		560	600
	20 %	1000			570	630
4-tahti	80 %	620	650		600	620
	20 %	1120			650	650

#### HC

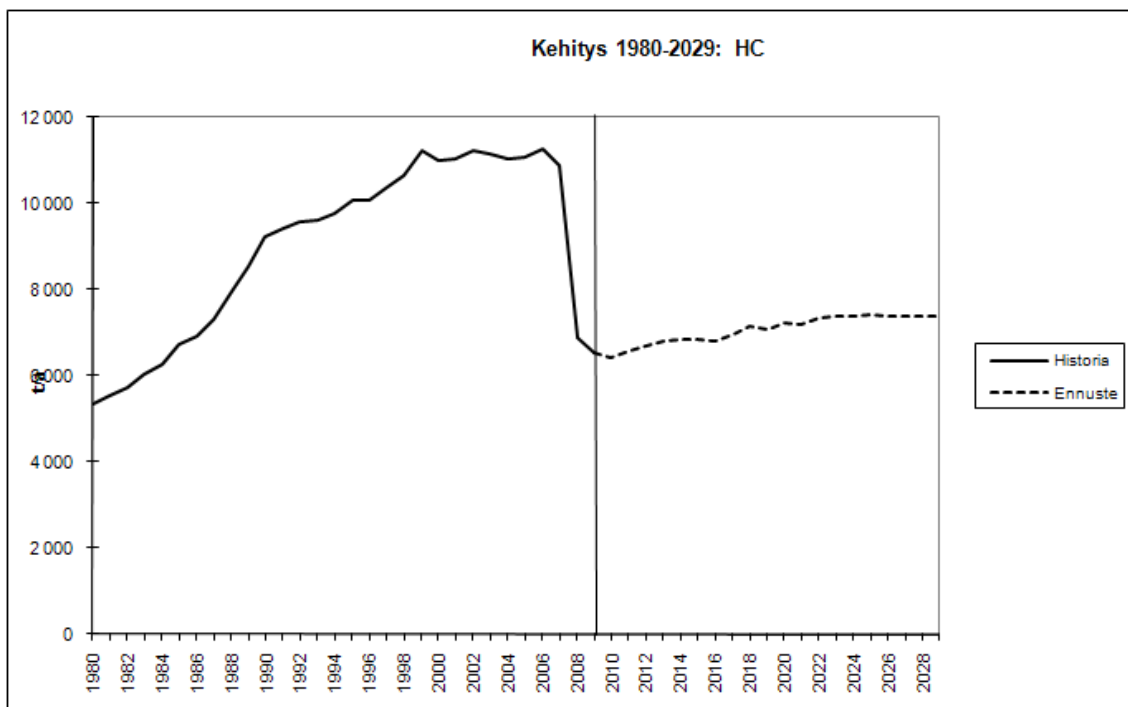
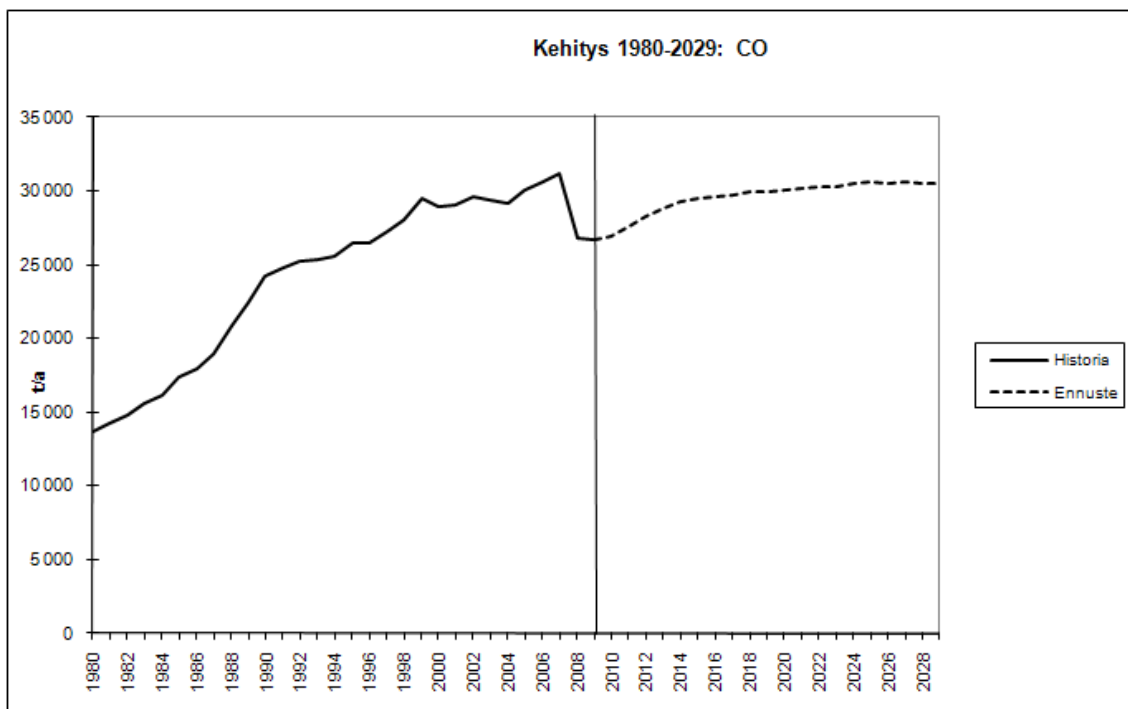
Moottorityyppi	kuormitus	MARITERM	LLOYD'S	MARITEK	WÄRTSILÄ	
		g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	
2-tahti	80 %	0.8	0.4		0.3	0.4
	20 %	1.3	0.5		0.5	0.5
4-tahti	80 %	0.2	0.6	0.48	0.35	0.4
	20 %	0.4	0.9	0.44	0.55	0.5

#### PM

Moottorityyppi	kuormitus	MARITERM	LLOYD'S	MARITEK	WÄRTSILÄ	
		g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	
2-tahti	80 %	0.9			0.25	0.5
	20 %	0.9			0.3	0.6
4-tahti	80 %	0.4		0.22	0.25	0.3
	20 %	0.6		0.12	0.35	0.4

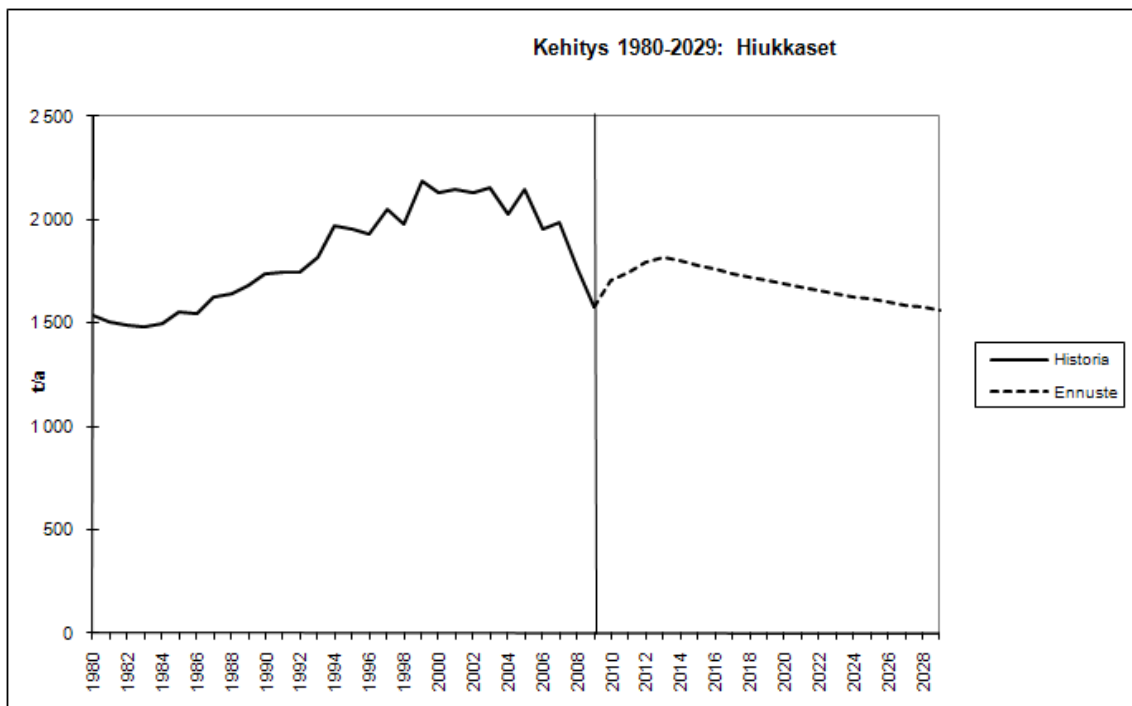
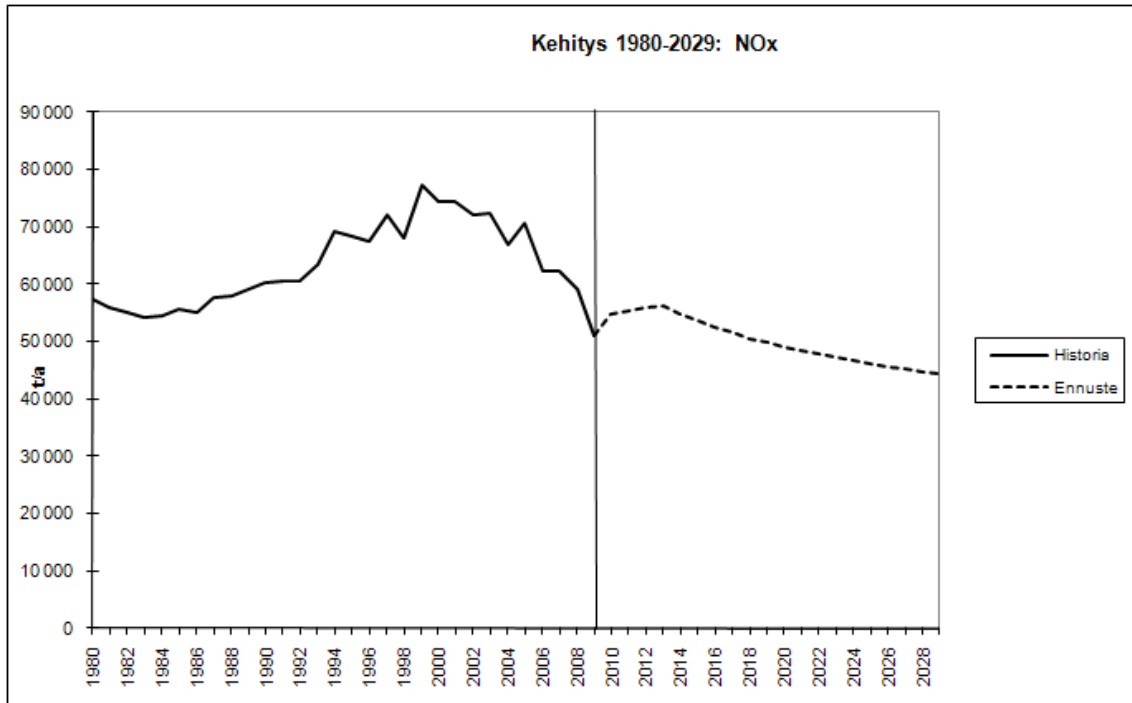
## Liite C:

### Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2009 laskentajärjestelmän mukaan

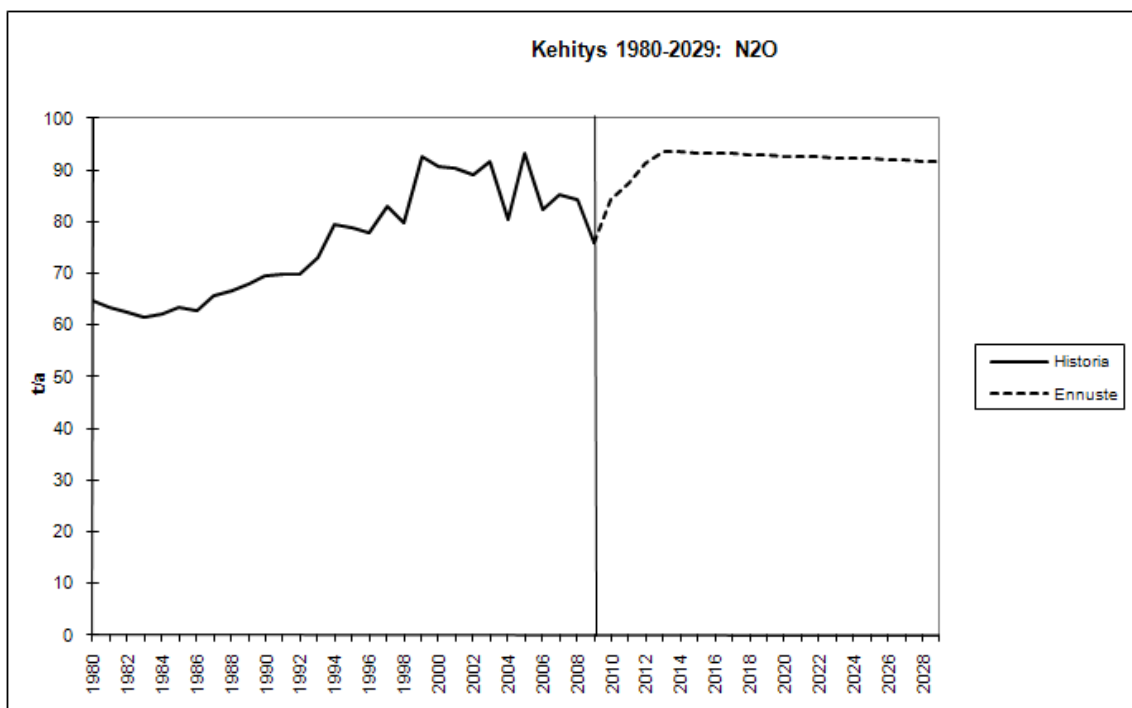
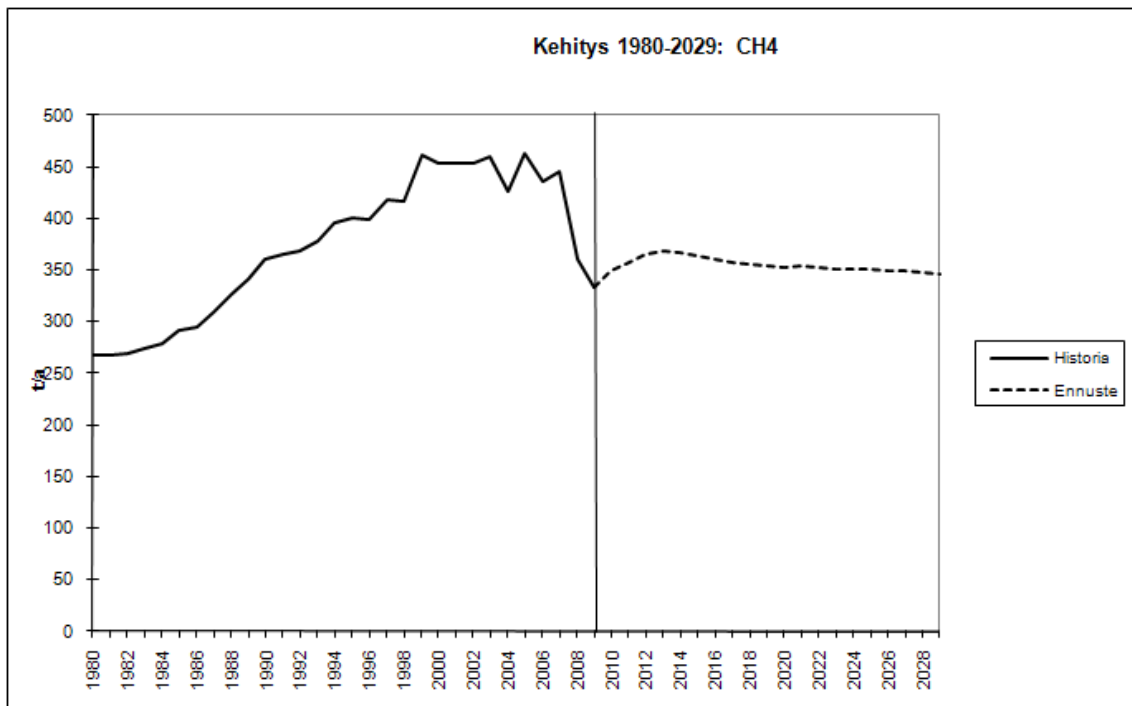




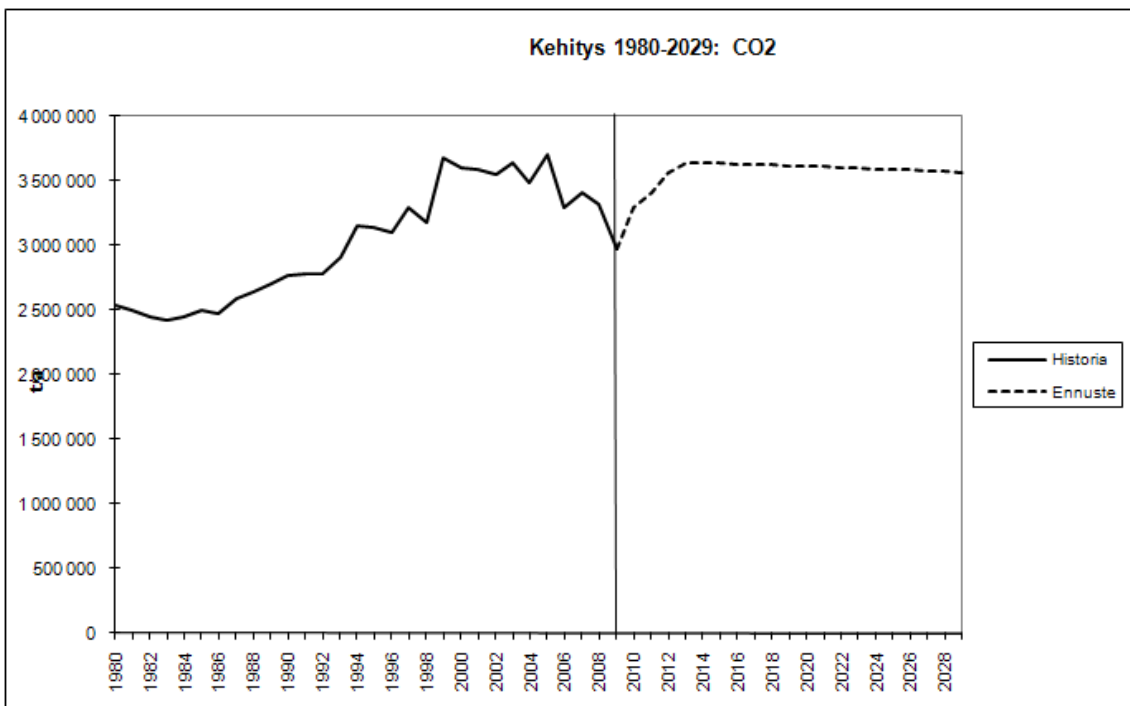
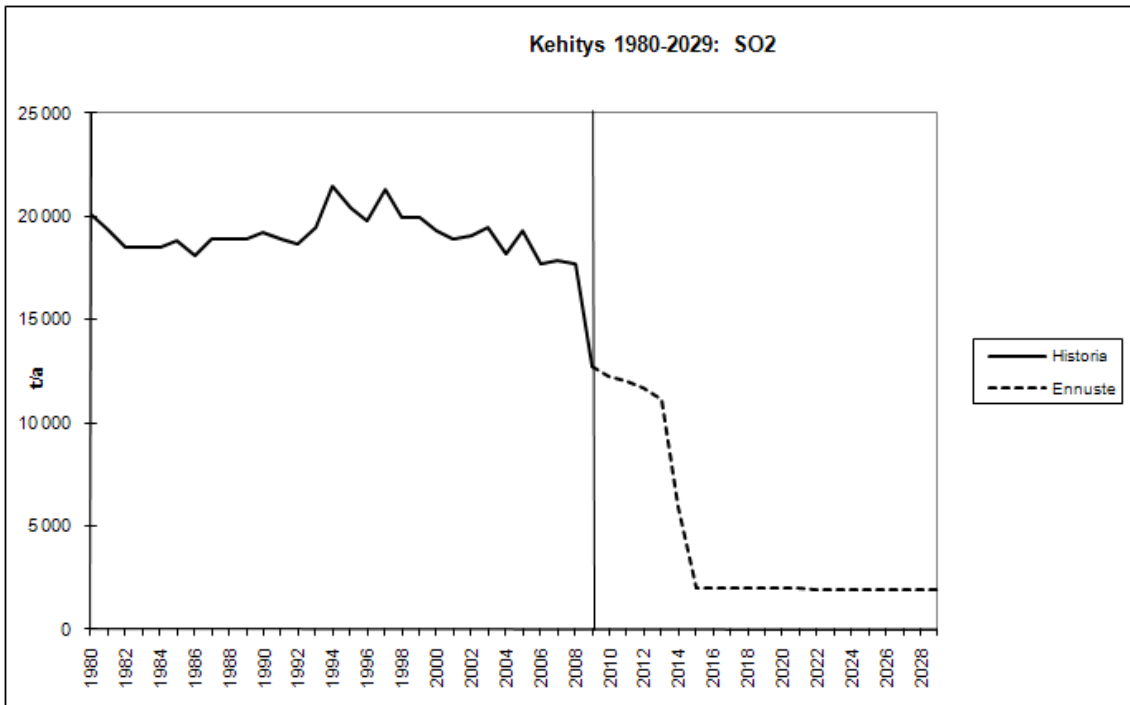
## Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2009 laskentajärjestelmän mukaan



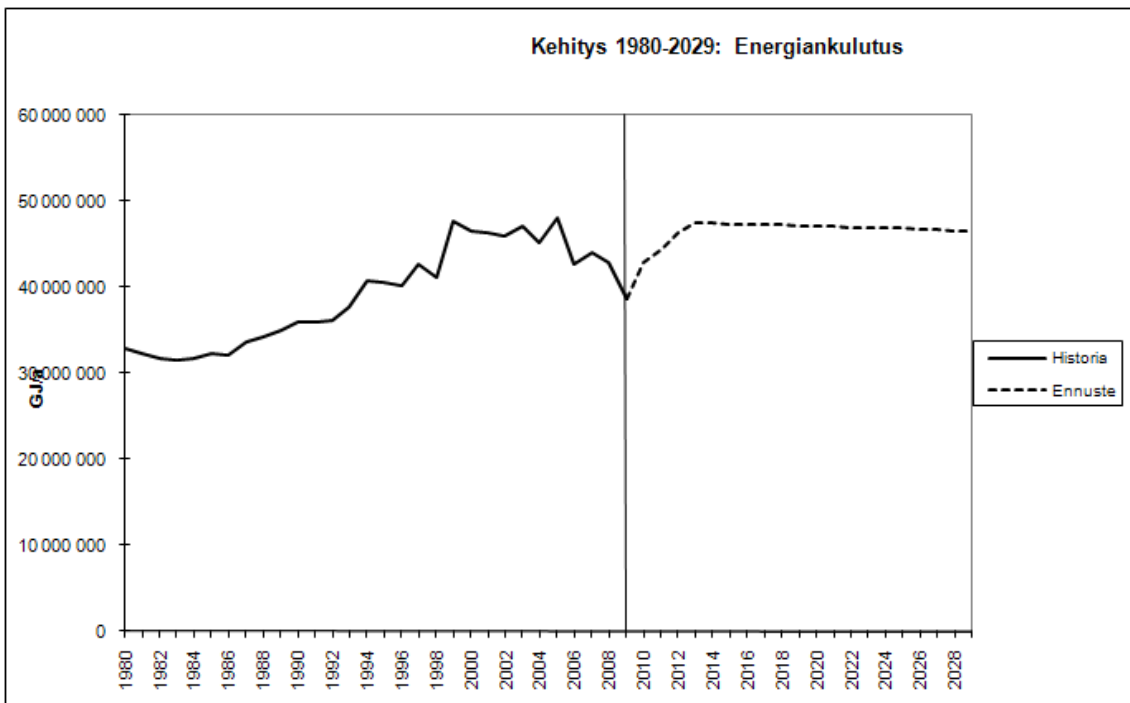
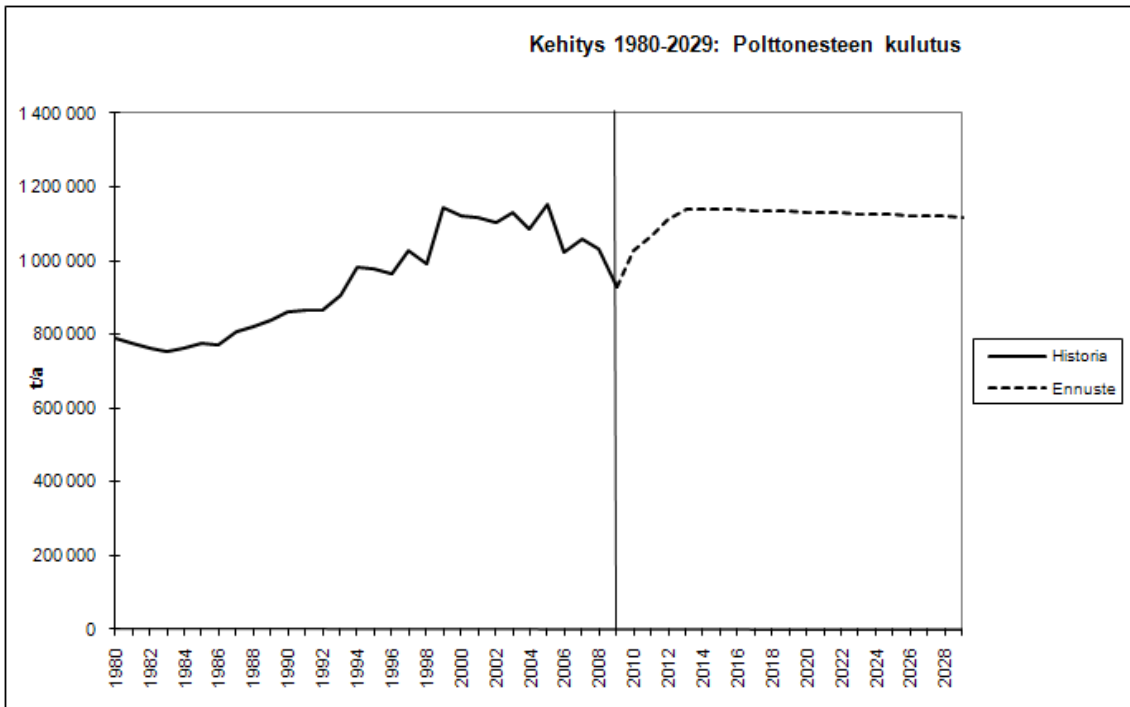
## Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2009 laskentajärjestelmän mukaan



## Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2009 laskentajärjestelmän mukaan

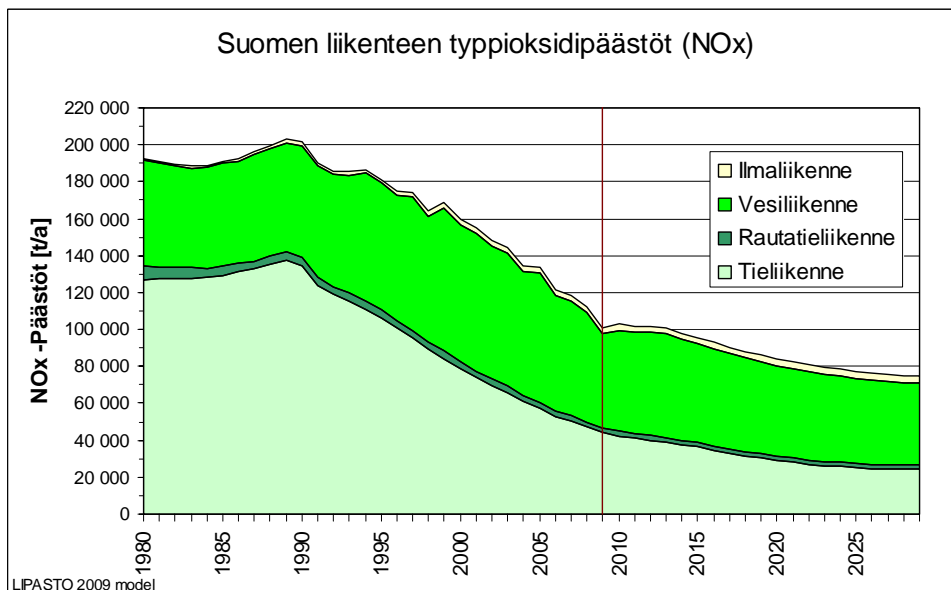
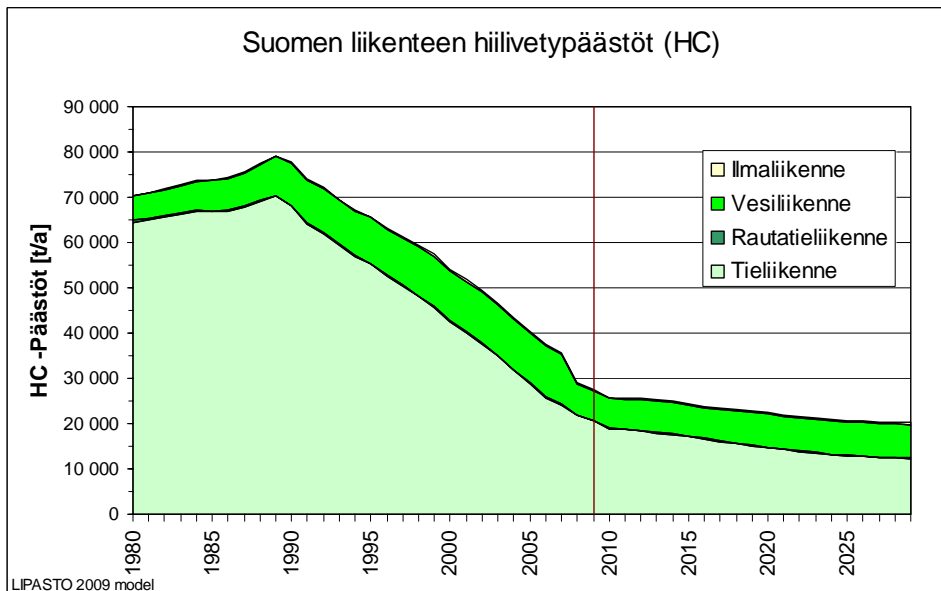
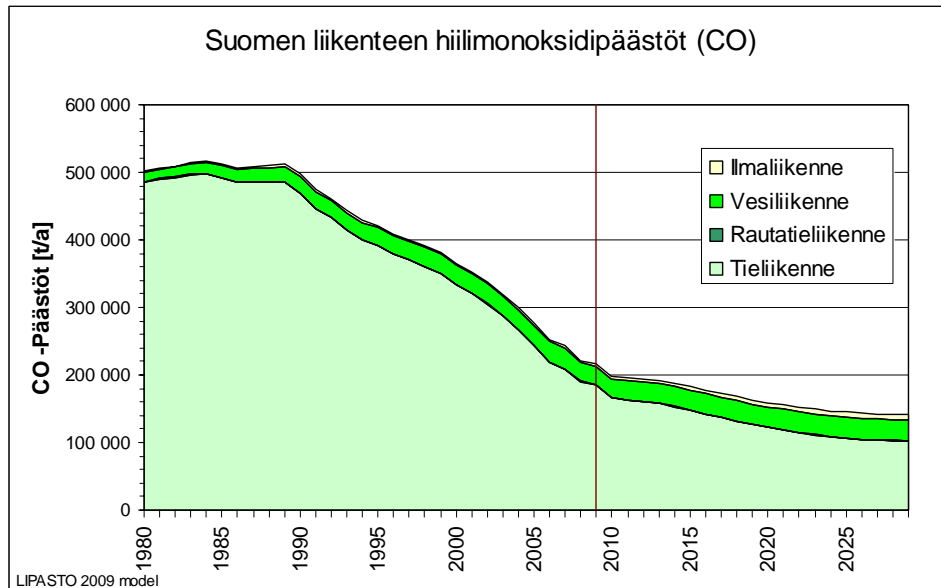


## Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2009 laskentajärjestelmän mukaan

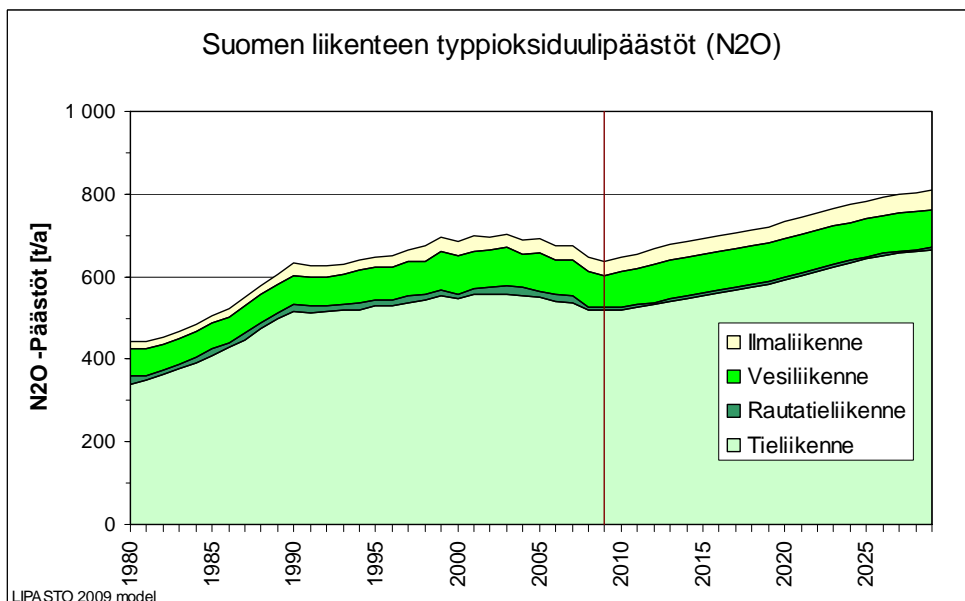
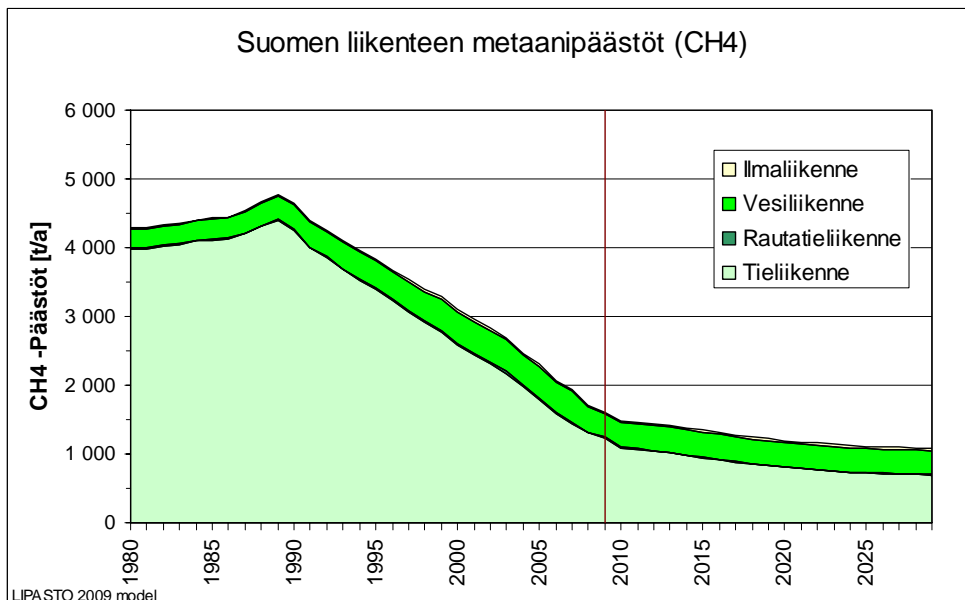
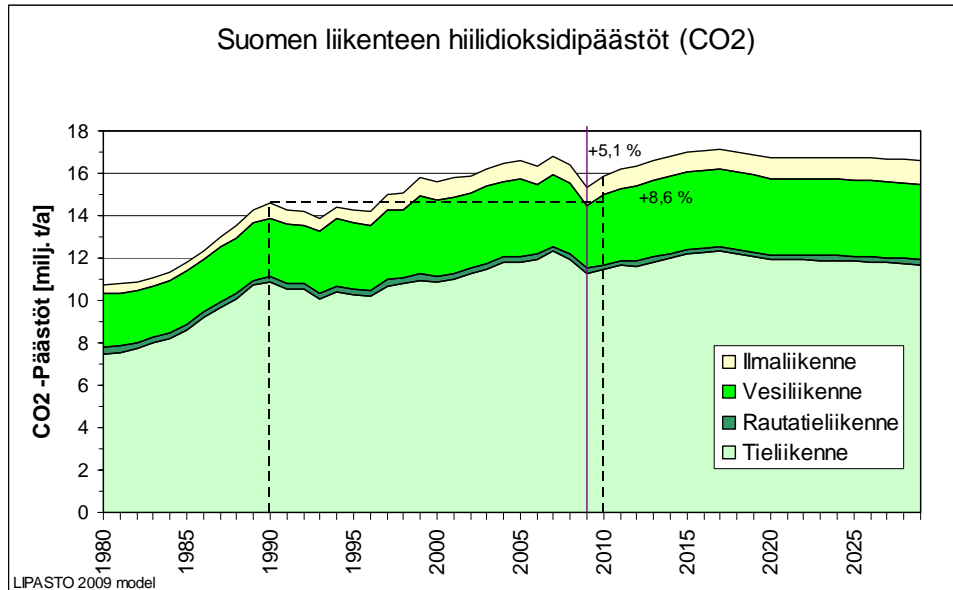


## Liite D:

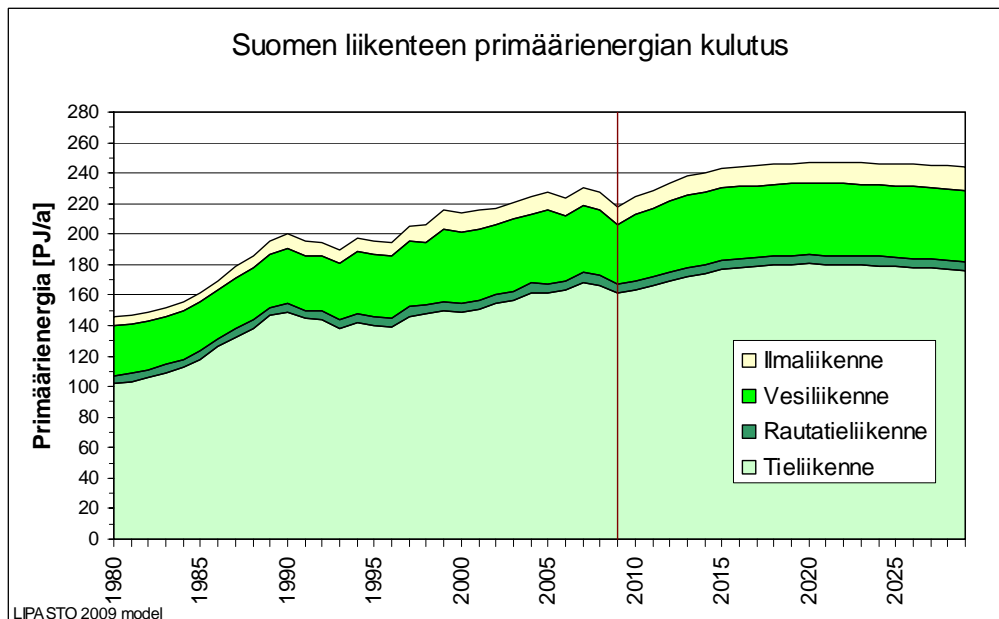
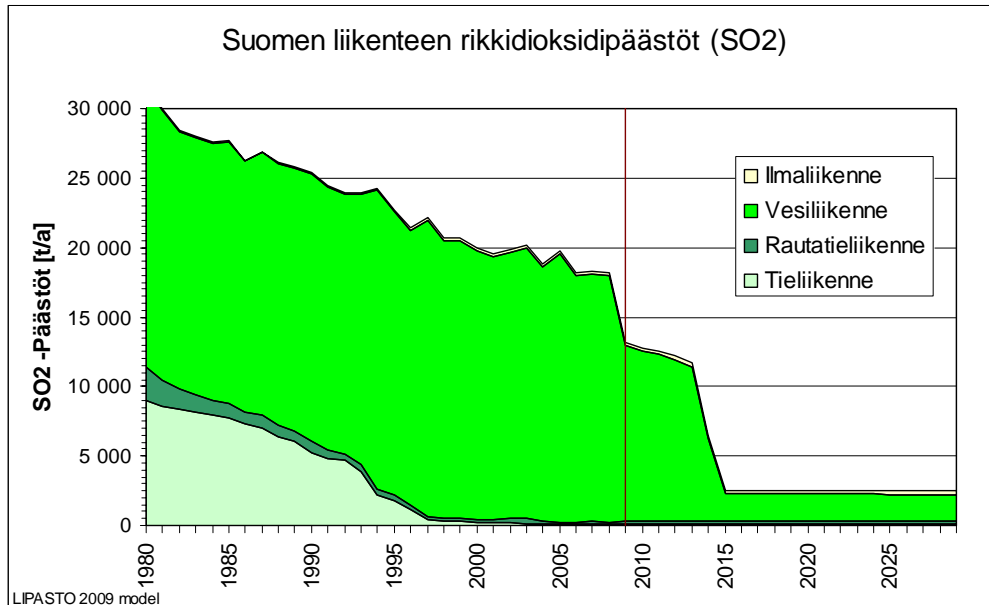
# Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen arvioitu kehitys (LIPASTO 2009)<sup>(1)</sup>



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



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



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