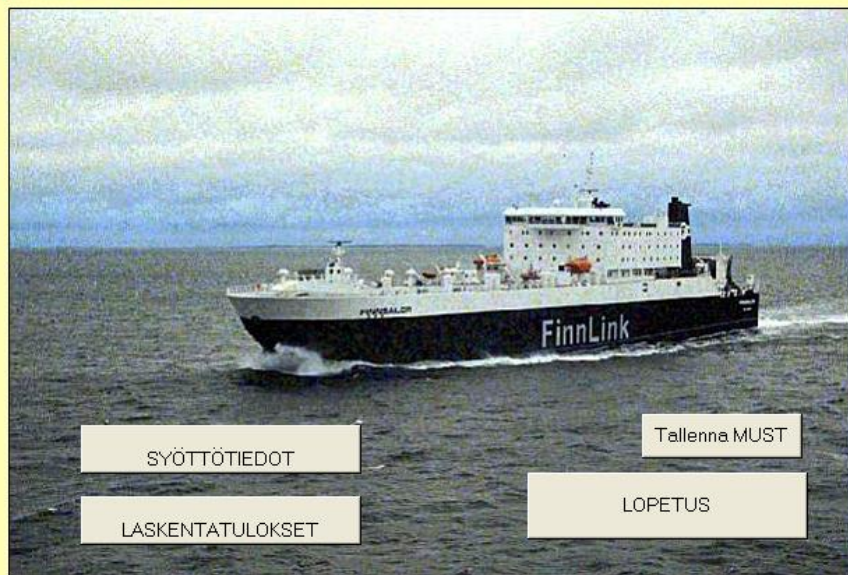


## MEERI 2010



# Suomen vesiliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä MEERI 2010

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

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi <b>Suomen vesiliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä MEERI 2010</b>	
Asiakkaan nimi, yhteystiedot ja yhteystiedot Tilastokeskus, Kari Grönfors Liikenne- ja viestintäministeriö, Saara Jääskeläinen	Asiakkaan viite
Projektin nimi <b>LIPASTO 2010</b>	Projektin numero /lyhytnimi 75175
Raportin laatija(t) Kari Mäkelä	Sivujen/ liitesivujen lukumäärä 35 / 11
Avainsanat	Raportin numero VTT-R-00221-12
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 viidettätoista, vuoden 2010 tiedoilla päivitettyä versiota MEERI 2010. Projekti kuuluu osana LIPASTO 2010 -laskentajärjestelmään, jossa selvitetään kaikkien liikennemuotojen päästöt Suomessa. MEERI 2010 -projektissa valmistui tämän raportin lisäksi tietokoneohjelma MEERI 2010. Malli laskee vesiliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna 2010. 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 2030.</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 2010 -laskentajärjestelmä on tarkoitettu lähinnä Liikenne- ja viestintäministeriön, Liikenneviraston ja VTT:n käyttöön. Tietoa LIPASTO 2010 ja MEERI 2010 -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 2010 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 28 100, hiilivetyjä (HC) 6 540 t, typen oksideja (NOx) 47 100 t, hiukkasia 1 480 t, metaania (CH<sub>4</sub>) 320 t, typpioksiduulia (N<sub>2</sub>O) 71 t, rikkidioksidia (SO<sub>2</sub>) 11 600 t ja hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) 2 760 000 t. Polttonesteitä kulutettiin yhteensä 864 000 t ja kokonaisenergiankulutus oli 36,0 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 20.10.2011	
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/meeri2010raportti.pdf">http://lipasto.vtt.fi/lipasto/meeri/meeri2010raportti.pdf</a>	
<p><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p>	

Report's title Calculation system for the Finnish waterway traffic emissions MEERI 2010	
Customer, contact person, address Statistics Finland, Kari Grönfors Ministry of Transport and Communications, Saara Jääskeläinen	Order reference
Project name LIPASTO 2010	Project number/Short name
Author(s) Kari Mäkelä	Pages 35 / 11
Keywords	Report identification code VTT-R-00221-12
<p>Summary</p> <p>MEERI 2010 is a sub model of the calculation system LIPASTO 2010 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 2010. 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 2010. 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, October 20 <sup>th</sup> 2011	
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/meeri2010raportti.pdf">http://lipasto.vtt.fi/lipasto/meeri/meeri2010raportti.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 2010 on kaikkien liikennemuotojen LIPASTO 2010 laskentajärjestelmän alamalli. Koko LIPASTO 2010 -laskentajärjestelmän (ml. alamallit) päivityksen on rahoittanut Tilastokeskus laskentavuoden 2010 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	5
2	Laskentamallin rakenne	6
2.1	Yleistä	6
2.2	Valtakunnallinen laskenta	8
2.2.1	Rakenne	8
2.2.2	Satamapäästöt	8
2.2.3	Väyläpäästöt	10
2.3	Satamakohtainen laskenta	11
2.4	Aikasarjat ja ennusteet	12
3	Lähtötiedot	13
3.1	Laskenta-alueen rajaus	13
3.2	Liikennöintitiedot	14
3.2.1	Satamakohtaiset liikennöintitiedot	14
3.2.2	Liikennöintitietojen muokkaus, jalostus ja luokittelu	14
3.2.3	Tietokantojen luonti	16
3.2.4	Liikennöintimäärien kehitys	18
3.3	Etäisyystiedot	18
3.4	Poltonestetiedot	18
3.4.1	Kulut	18
3.4.2	Rikkipitoisuus	19
3.5	Päästökerrointiedot	21
3.5.1	Tutkitut yhdisteet	21
3.5.2	Päästölähteet	21
3.5.3	Päästökertoimien määrittäminen	22
3.5.4	Päästökertoimien kehitys	23
4	Järjestelmäkuvaus	25
4.1	MUST malli	25
4.1.1	MUST-ohjelmistokehittäjän rakenne	25
5	Laskentatulokset	28
5.1	Päästömäärät	28
5.2	Päästöjen vertailu	32
6	Yhteenveto	33
	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 2010 tiedoilla päivitetystä laskentajärjestelmästä MEERI 2010. 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 2010 -laskentajärjestelmän perustan muodostavat satamien liikennöintitiedot. Järjestelmä laskee vesiliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna (2010) 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 1996–2010 sekä ennusteet vuodesta 2011 vuoteen 2030.

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



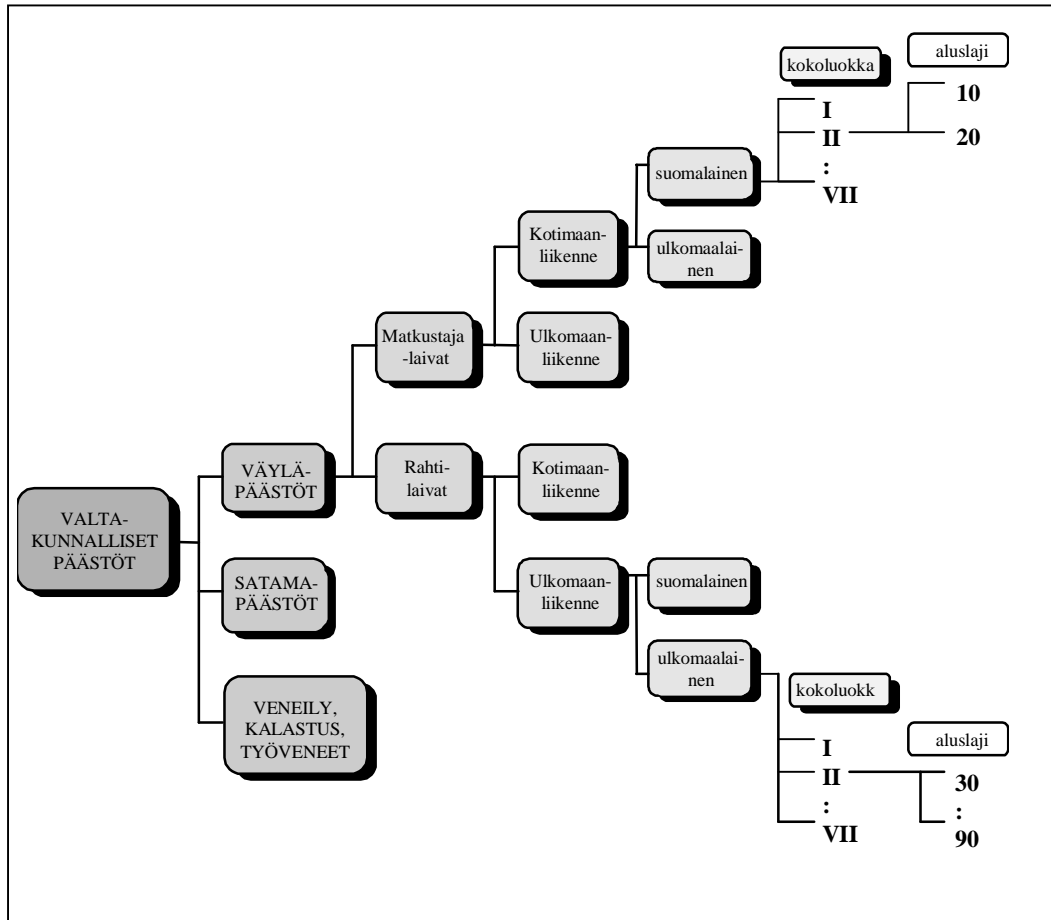
## 2.2 Valtakunnallinen laskenta

### 2.2.1 Rakenne

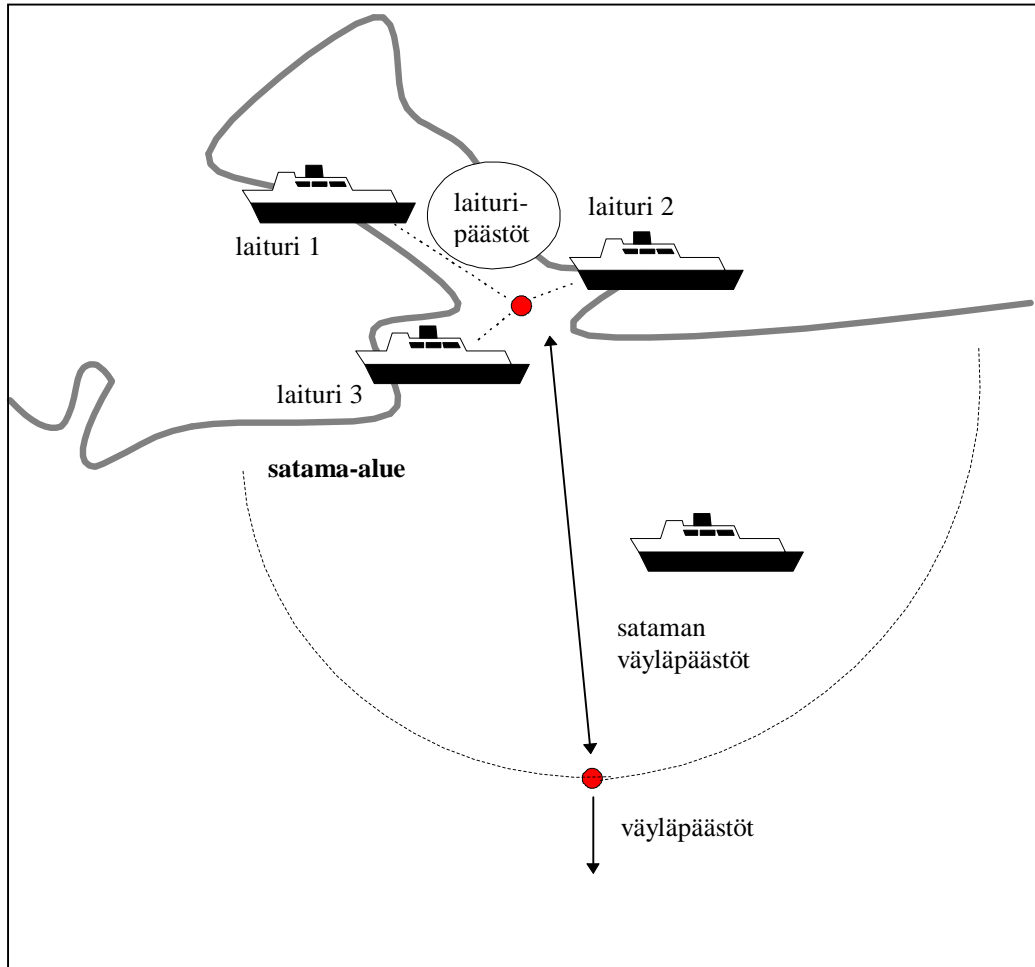
Valtakunnallinen laskenta koostuu kahdesta osasta: **satamapäästöistä** ja **väyläpäästöistä**. Satamapäästöihin lasketaan kuuluviksi kaikki laivojen satama-alueella aiheuttamat päästöt (sekä liikkeessä että seisonta-aikana laiturissa), väyläpäästöihin kaikki väylällä ajon aikana aiheutetut päästöt. 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).

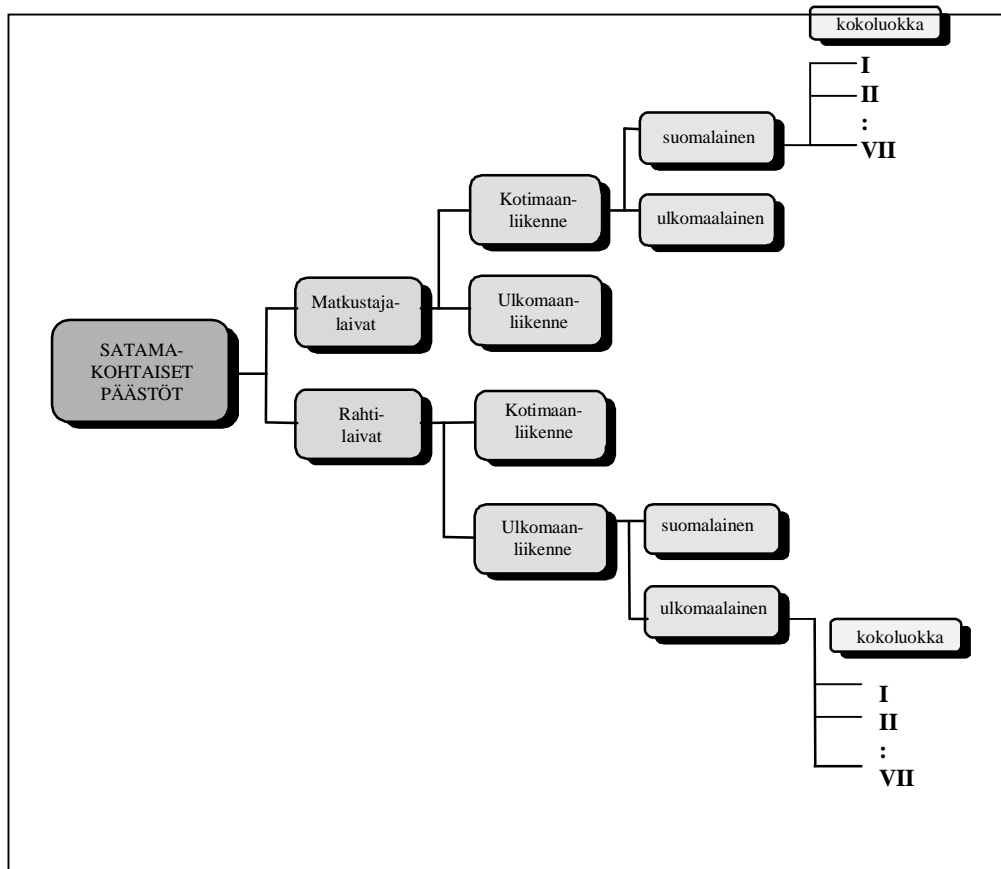
Lukumäärät on saatu moottoriveneiden osalta venerekisteristä. Kalastusalusten lukumäärä perustuu maa- ja metsätalousministeriön kalastusalusrekisteriin, jonka on aluskohtaisia tietoja on nähtävissä EU:n sivuilla. Työveneiden ja -alusten lukumää-

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

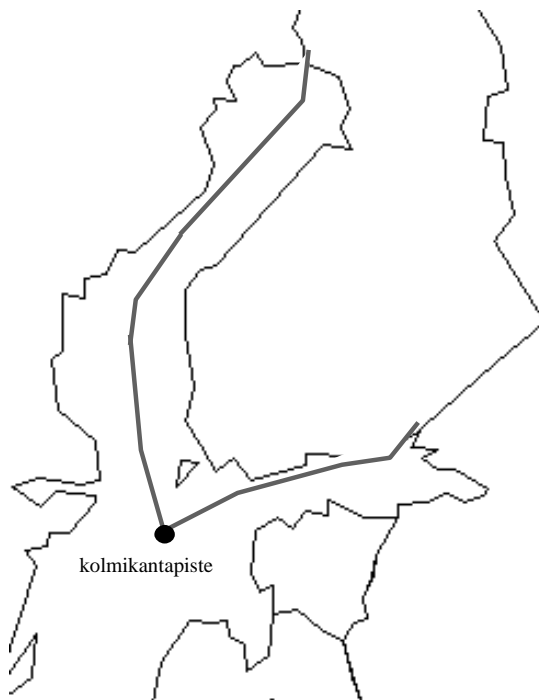
Laskentajärjestelmä laskee perusvuoden 2010 lisäksi pakokaasupäästöt vuosilta 1980-2010 sekä ennustevuosilta 2011-2030. Sekä kuluneiden vuosien että ennustevuosien laskenta perustuu kehityskertoimiin, joilla perusvuoden pakokaasujen määrää korjataan. Suoritteiden kehityskerroin kuvaa laivojen satamassakäyntien määrää perusvuoteen 2010 verrattuna. Aikasarjojen päästökertoimien kehityskertoimet (kullekin yhdisteelle omansa) kuvaavat päästökertoimien arvoja perusvuoden 2010 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 2010 -järjestelmässä menetelty seuraavasti.

MEERI 2010 -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 2010 yhteensä n. 77 000 liikennöintitapahtumaa. Tilastoissa on mukana kaikkiaan n. 80 satamaa. MEERI 2010-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 2010 syöttötietojen laskennassa.

Kaikkien Suomen satamien yhteenlaskettu satamassakäyntien lukumäärä vuonna 2010 oli 28 900 kpl. Tästä 11 % oli kotimaanliikennettä ja 89 % ulkomaanliikennettä. Rahtilaivojen osuus kaikista satamassakäynneistä oli 59 % ja matkustajalaivojen 41 %. Rahtiliikenteestä kotimaanliikennettä oli 16 %. 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 2010 arvioitu määrä on 567 000 kpl. Huviveneiden lukumäärän arvioinnissa tapahtuu kuluvan kolmen vuoden aikana melkoisia muutoksia vesikulkuneuvorekisterin totaalisen uudistamisen yhteydessä. Kalastusalusten ja -veneiden lukumäärä vuonna 2010 oli 3 365 kpl. Tulliveneiden, rajavartiolaitoksen alusten, merenkululaitoksen alusten sekä Suomen Meripelastusseuran alusten yhteenlaskettu lukumäärä oli 135 kpl. Näiden lisäksi muita työveneitä ja työaluksia on arvioitu olevan 1 800 kpl.

Jäänmurtajien päästöjen laskenta perustuu niiden polttonesteen kulutukseen. Suomessa oli vuonna 2010 käytössä yhdeksän jäänmurtajaa, joiden polttonesteenkulutus oli yhteensä 30 500 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 bruttorekisteritonnien 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 2010 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 2010.*

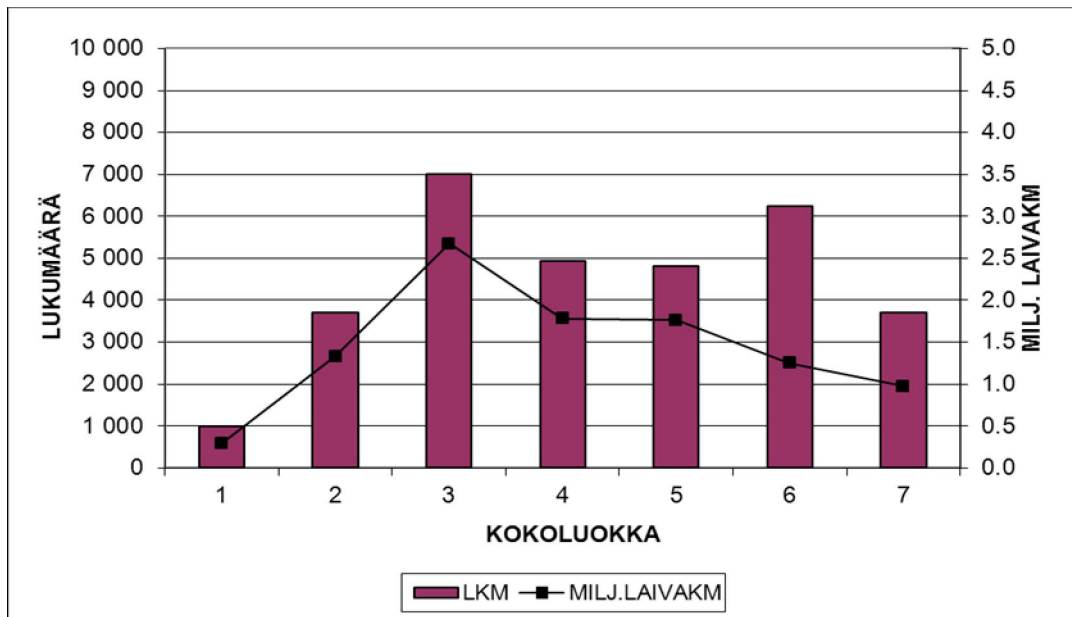
Luokka	BRT	Teho (kW)	Apuk. teho (kW)	Nop. (80% teholla) km/h
1	300-999	1 593	230	21.6
2	1 000-2 499	1 213	346	20.7
3	2 500-4 499	2 620	520	24.5
4	4 500-7 999	5 024	786	28.3
5	8 000-11 999	8 805	1 122	31.3
6	12 000-20 000	11 616	1 447	33.7
7	>21 000	19 160	1 770	36.5

*Taulukko 2. Matkustajalaivojen jako luokkiin bruttokisteritonniin perusteella 2010.*

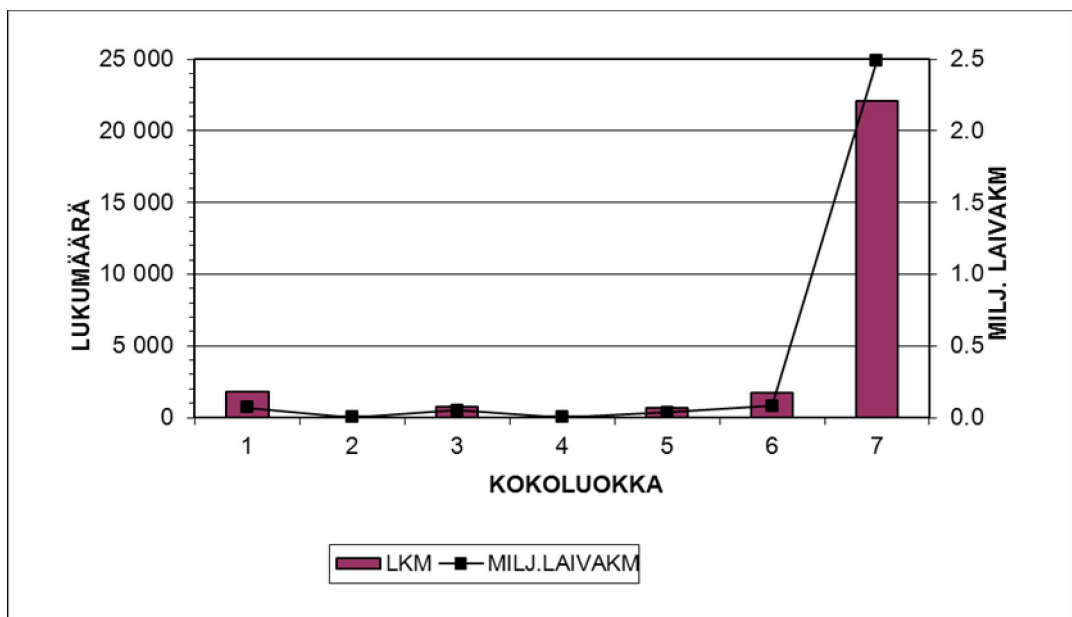
Luokka	BRT	Teho (kW)	Apuk. teho (kW)	Nop. (80% teholla) km/h
1	300-999	8 010	230	62.8
2	1 000-2 499	1 324	346	25.9
3	2 500-4 499	2 817	520	29.1
4	4 500-7 999	4 376	786	30.6
5	8 000-11 999	10 585	1 122	28.5
6	12 000-20 000	14 582	1 447	38.2
7	>21 000	31 375	1 770	40.7

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 2010 kokoluokittain.



Kuva 6. Matkustajalaivojen satamassakäyntien lukumäärä ja laivakilometrit vuonna 2010 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 tieto-

kannassa esitetään ainoastaan satamassakäyntien lukumäärät. Liikennöintitapahtumat on jaoteltu lähes samalla lailla kuin valtakunnallisessa laskennassa. Laivojen tyyppejä 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	616	45	41	0
kotimaa	suom	konttialus	0	0	0	0	0	0	0
kotimaa	suom	irtolastialus	0	64	141	0	0	0	0
kotimaa	suom	muu kuivalas-	57	35	16	6	11	0	0
kotimaa	suom	säiliöalus	0	0	0	0	319	31	1
kotimaa	suom	muu alus	168	18	7	16	28	0	0
kotimaa	ulkom	junalautta	0	0	0	0	0	0	0
kotimaa	ulkom	lastilautta	0	0	0	2	1	20	203
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

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	tehonkäyttö (%)	lkm bens. 2-tahti	lkm bens. 4-tahti	lkm diesel
<15	10	50	2 188	4 063	33
15-30	22.5	50	13 280	24 662	87
31-40	35	50	16 339	30 345	66
41-50	45	50	12 469	23 156	29
51-60	55	50	6 449	11 978	9
61-70	65	50	2 836	5 267	9
71-80	75	50	2 020	3 751	3
81-90	85	50	3 180	5 907	10
91-100	95	50	1 111	2 064	6
>100	120	50	5 000	9 286	103

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

Teho (hv)	lkm
<50	2040
50-100	677
100-200	390
>200	258
<b>YHT:</b>	<b>3365</b>

### 3.2.4 Liikennöintimäärien kehitys

Rahti- ja matkustajalaivojen satamassakäyntien määrän kehitys on arvioitu vuoteen 2030 asti. Lähiajan laman vaikutuksesta ei ole mikään tahon tehnyt virallista arvioita ja se perustuu VTT:n karkeaan arvioon. Vuosien 1980–2010 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 hivi-, kalastus- ja työveneiden sekä jäänmurtajien lukumäärien ja polttonesteenkulutuksen arviointi tulevaisuudessa on vaikeaa. Huviveneiden määrän on arvioitu kasvavan vuoteen 2030 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 2030.

## 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 405 g/kWh 2-tahtimoottoreilla, 270 g/kWh 4-tahtimoottoreilla ja 225 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.

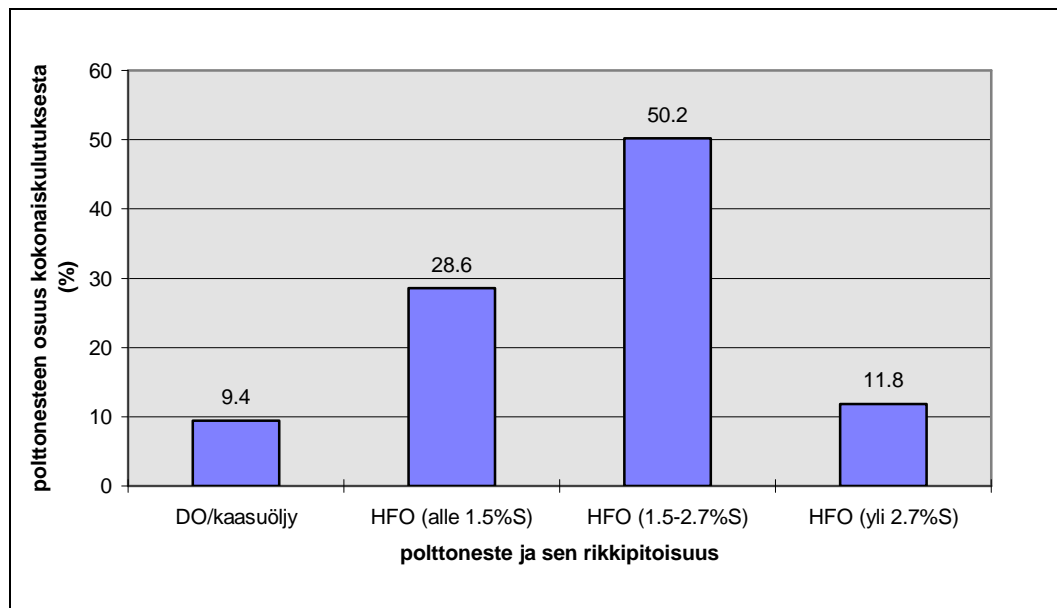
Teho (hv)	kulutus l/a/vene		
	Kalastusalukset ja -veneet	työveneet	työalukset
<50	500	500	1 000
50-100	1 000	1 000	3 000
100-200	5 000	2 000	10 000
>200	150 000	10 000	75 000

### 3.4.2 Rikkipitoisuus

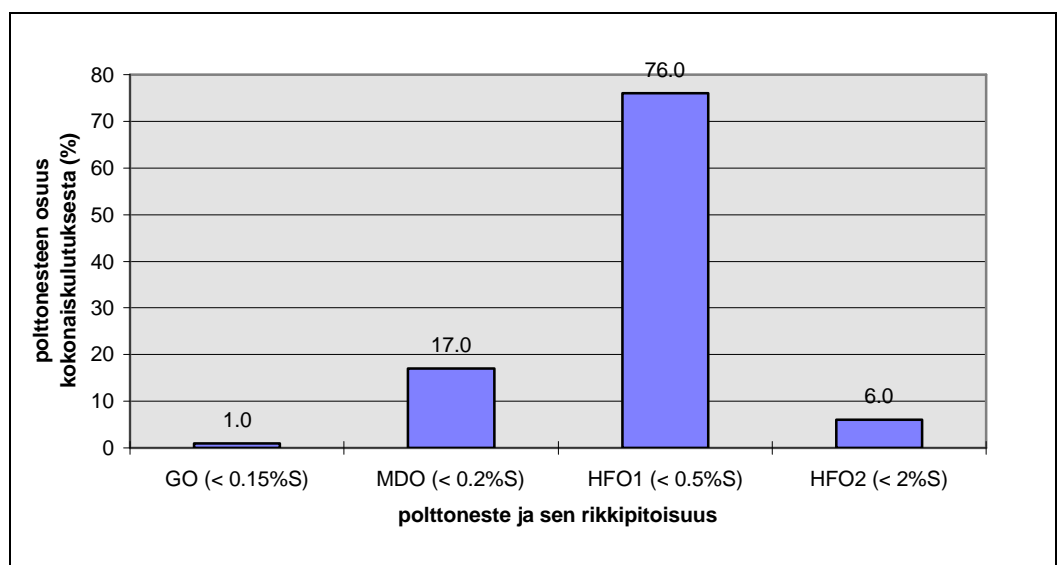
Rikkidioksidipäästöt ovat suoraan verrannollisia käytetyn polttonesteen rikkipitoisuuteen, joten päästöt ovat laskettavissa polttoaineen kulutuksen ja rikkipitoisuuden perusteella. Merenkululaitos on teettänyt vuonna 1995 Suomen lipun alla purjehtivien laivojen polttonesteiden rikkipitoisuutta koskevan 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 1,0 % vuonna 2010 (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 20009 (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 2010) 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 rikkipitoisuuden painoprosentti (p-%).

Taulukko 9. MEERI 96:ssa käytetyt päästökertoimet.

Moottorityyppi	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 2010 mallissa (polttoaineiden käytön määrällä painotettuna).

Yhdiste	Rahtilaivat keskimäärin	Matkustajalaivat keskimäärin
SO <sub>2</sub> päästökerroin [g/kg]	20 (S p-% = 1,0)	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

2010 käyttäneen dieselpolttoöljyä (mm. erittäin alhainen rikkipitoisuus). 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	11.4	13.0
2	1 000-2 499	12.2	13.2
3	2 500-4 499	12.1	13.2
4	4 500-7 999	13.6	13.6
5	8 000-11 999	14.1	13.8
6	12 000-20 999	14.1	13.8
7	>21 000	14.4	13.9

*Taulukko 12. Huviveneille, kalastus- ja työveneille sekä -aluksille käytetyt päästökertoimet, MEERI 2010.*

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	185	106.1	1.8	4.5	2.0	0.0076	2928
2-tahti, yli 20 hv	203.5	70.7	3.6	3.6	2.0	0.0076	2928
4-tahti	138.8	10.6	7.2	0.5	0.5	0.0253	2928
dieselöljy	3.70	1.06	13.75	0.42	0.04	0.0210	3060
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 2030 asti. Päästökertoimien arvot vuodelta 1996 ovat perusarvoja. Vuosittaisen päivityksen yhteydessä kaikkien yhdisteiden perusvuoden (tässä tapauksessa 2010) 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 2010: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
	2006	1,000	0,933	0,865	0,865	0,933	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	
2010	0,618	0,618	0,487	0,795	0,618	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.

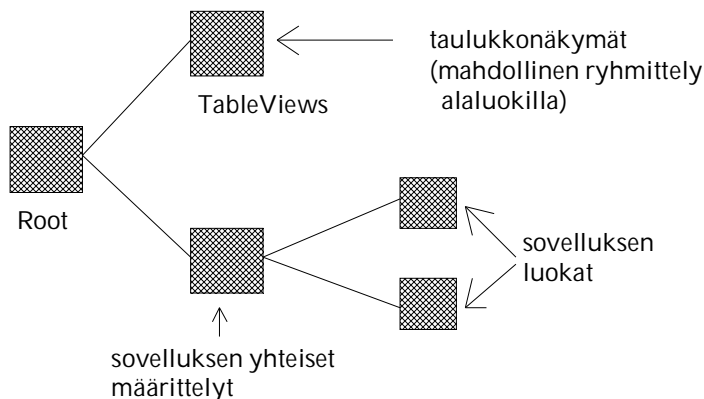
#### 4.1.1 MUST-ohjelmistokehittimen rakenne

##### 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**

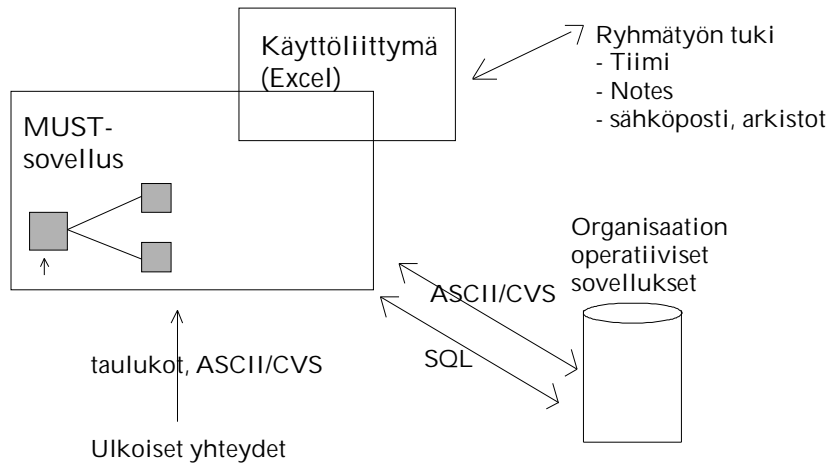
- MUSTissa luokkahierarkiassa toimii dynaaminen moniperintä
  - muutokset heijastuvat välittömästi kaikkiin alaluokkiin ja datataulukoihin
  - luokalla voi olla useampia yläluokkia
- linkin tai muuttujan määrittely on perusmäärittely (base relation, base item) silloin, kun määrittely ei ole peritty
-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

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

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

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

### Koko sovellusarkkitehtuuri



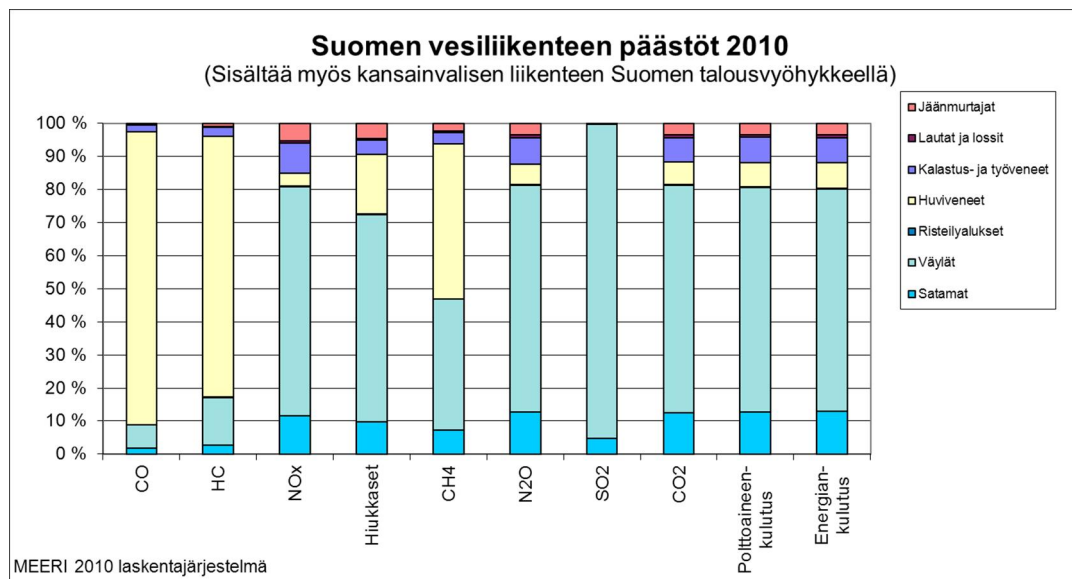
## 5 Laskentatulokset

### 5.1 Päästö määrät

Suomen vesiliikenteen aiheuttamat päästöt Suomen talousalueella vuonna 2010 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 28 100, hiilivetyjä (HC) 6 540 t, typen oksideja (NO<sub>x</sub>) 47 100 t, hiukkasia 1 480 t, metaania (CH<sub>4</sub>) 320 t, typpioksidia (N<sub>2</sub>O) 71 t, rikkidioksidia (SO<sub>2</sub>) 11 600 t ja hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) 2 760 000 t. Polttoaineita kulutettiin yhteensä 864 000 t ja kokonaisenergiankulutus oli 36,0 PJ. (taulukko 14, kuva 9).

Taulukko 14. Suomen vesiliikenteen päästö määrät 2010.

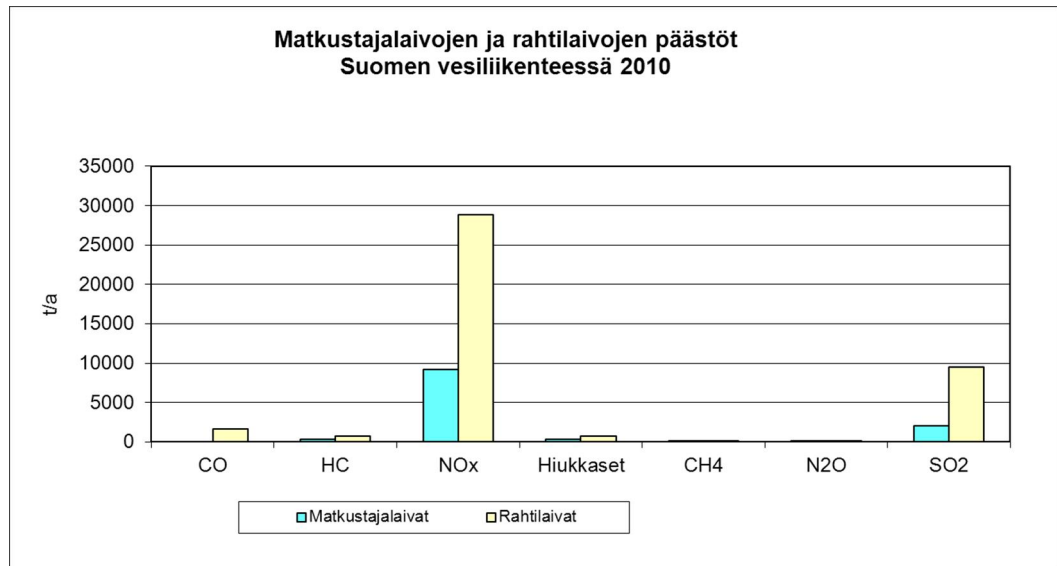
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	Hiuk- kaset	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Polttoaineen kulutus	Energianku- lutus
	t/a									GJ/a
Satamat	520	183	5 453	146	24	9	563	347 635	109 409	4 638 150
Väylät	1 961	932	32 595	926	128	48	11 021	1 890 534	586 019	24 187 464
Risteilyalukset	26	8,3	185	2,8	0,49	0,25	0,058	8 973	2 890	121 954
Huviveneet	24 827	5 151	1 818	268	152	4,4	1,1	187 919	63 515	2 719 343
Kalastus- ja työven.	590	188	4 193	63	11	5,6	1,3	203 417	65 515	2 764 749
Lautat ja lossit	58	19	415	6,2	1,1	0,55	0,13	20 145	6 488	273 803
Jäänmurtaajat	91	58	2 464	70	7,9	2,5	40	98 610	30 454	1 278 231
<b>Yhteensä</b>	<b>28 073</b>	<b>6 539</b>	<b>47 124</b>	<b>1 481</b>	<b>324</b>	<b>71</b>	<b>11 626</b>	<b>2 757 232</b>	<b>864 291</b>	<b>35 983 695</b>



Kuva 9. Suomen vesiliikenteen päästösuhteet 2010.

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 jäänmurtaajien 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. Rikkidiok-

sidin (SO<sub>2</sub>) määrä on suoraan verrannollinen laivoissa käytettävien polttonesteiden rikkipitoisuuteen, mikä rahtilaivoilla onkin huomattavasti suurempi. Myös typen oksidien kokonaismäärä on rahtilaivoilla huomattavasti matkustajalaivoja suurempi.

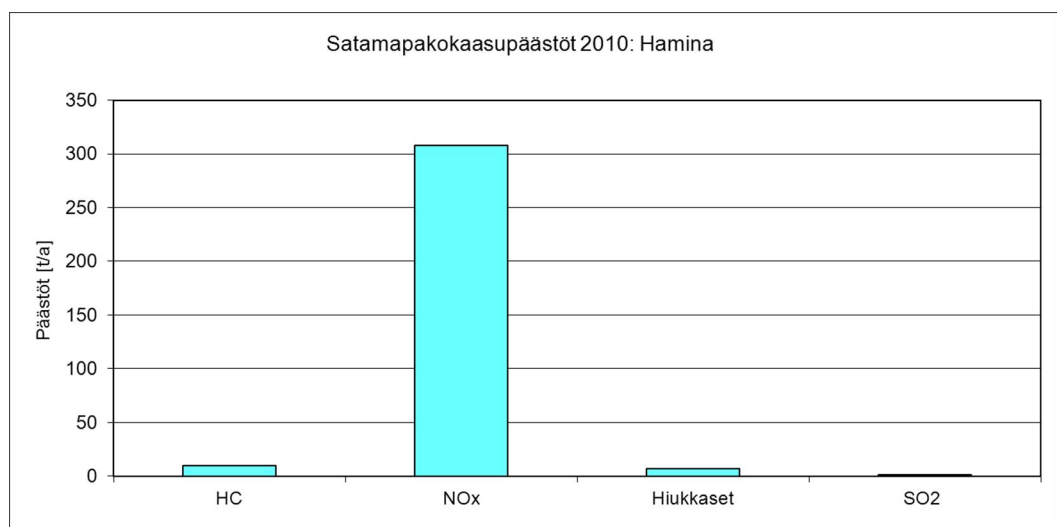


Kuva 10. Rahti- ja matkustajalaivojen päästöt Suomen talousvyöhykkeellä 2010.

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 2010.

	CO	HC	NO <sub>x</sub>	Hiukkaset	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Polttoaineenkulutus	Satamassakäynnit
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	kpl/a
2010	26	10	308	7.0	1.2	0.44	27	16 836	5 311	970



Kuva 11. Laivaliikenteen pakokaasupäästöt Haminan satamassa 2010.

Aikasarjatarkastelussa aikajänteeksi on valittu vuodet 1980–2030, yhteensä 51 vuotta, joka on sama kuin LIPASTO 2010 järjestelmässä. Vuodet 1980–2010 kuvaavat satamassakäyntien osalta todellista, tapahtunutta kehitystä ja vuodet 2011 - 2030 arvioitua tulevaisuuden kehitystä. Taulukossa 16 on esitetty eri yhdisteiden päästömäärien kehitys (kaikki laivatyyppit yhteensä mukaan lukien huviveneet) sekä polttoaineenkulutus yhteensä vuodesta 1980 vuoteen 2030.

Liitteessä C on esitetty kuvina vesiliikenteen päästömäärien kehitys vuodesta 1980 vuoteen 2010 sekä ennuste vuosille 2011-2030. 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 2009-2010 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 heilailuja 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 polttonesteen 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 1980–2030

	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
2009	26 748	6 535	51 111	1 578	333	76	12 716	2 968 888	929 826	38 692 097
<b>2010</b>	<b>28 073</b>	<b>6 539</b>	<b>47 124</b>	<b>1 481</b>	<b>324</b>	<b>71</b>	<b>11 626</b>	<b>2 757 232</b>	<b>864 291</b>	<b>35 983 695</b>
2011	28 283	6 383	49 155	1 569	336	77	12 062	3 011 640	944 811	39 316 441
2012	29 157	6 600	52 535	1 698	356	86	12 489	3 328 531	1 045 180	43 478 906
2013	29 809	6 726	53 438	1 751	364	90	12 067	3 482 658	1 095 047	45 547 843
2014	30 207	6 757	52 106	1 733	362	90	6 482	3 475 108	1 094 477	45 525 755
2015	30 478	6 759	50 932	1 714	359	90	2 197	3 466 349	1 093 494	45 485 927
2016	30 629	6 734	49 886	1 695	356	89	2 194	3 455 613	1 091 836	45 417 232
2017	30 746	6 887	48 950	1 677	354	89	2 190	3 447 548	1 091 075	45 386 940
2018	30 916	7 080	48 113	1 660	352	89	2 186	3 438 369	1 089 932	45 340 276
2019	30 964	7 021	47 355	1 643	350	89	2 182	3 426 900	1 088 000	45 259 748
2020	31 060	7 147	46 668	1 627	348	89	2 178	3 418 407	1 087 068	45 222 027
2021	31 161	7 143	46 036	1 613	350	89	2 175	3 408 037	1 085 496	45 156 906
2022	31 307	7 295	45 456	1 599	349	89	2 171	3 398 811	1 084 305	45 108 068
2023	31 371	7 302	44 911	1 585	348	89	2 167	3 389 243	1 082 992	45 054 034
2024	31 522	7 328	44 407	1 573	348	89	2 163	3 380 662	1 082 007	45 014 030
2025	31 632	7 346	43 932	1 562	347	89	2 160	3 375 224	1 082 078	45 019 256
2026	31 613	7 338	43 475	1 549	346	88	2 156	3 360 521	1 079 011	44 890 153
2027	31 639	7 339	43 046	1 538	346	88	2 152	3 350 416	1 077 493	44 827 343
2028	31 621	7 331	42 628	1 526	345	88	2 148	3 340 000	1 075 864	44 759 776
2029	31 603	7 323	42 224	1 515	344	88	2 145	3 329 598	1 074 234	44 692 151
2030	31 584	7 316	41 822	1 503	343	88	2 141	3 319 210	1 072 602	44 624 466



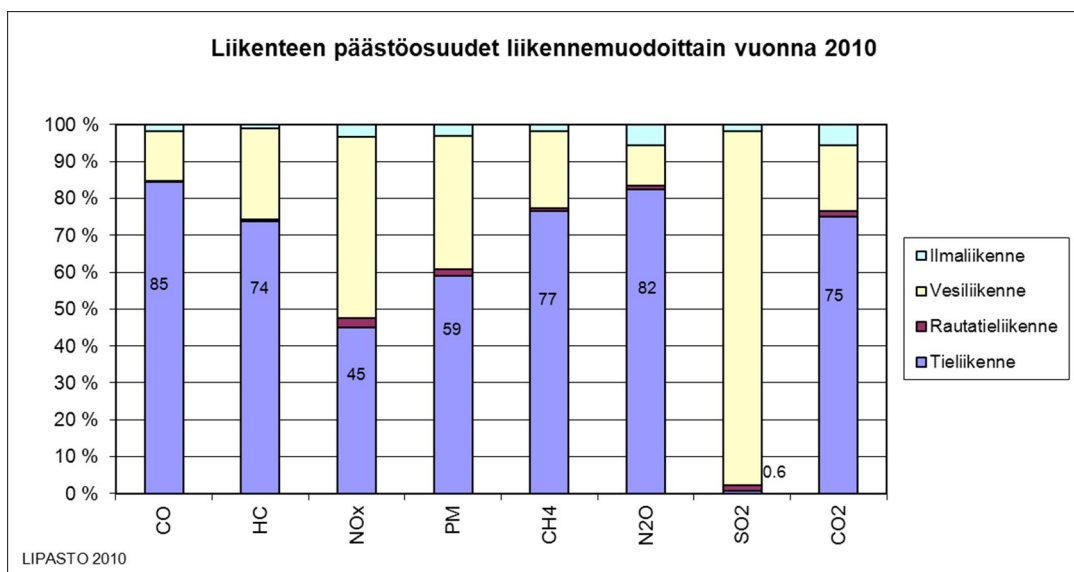
## 5.2 Päästöjen vertailu

Taulukossa 17 ja kuvassa 12 on esitetty eri liikennemuotojen aiheuttamien päästömäärien vertailu vuodelta 2010. Tulokset ovat Suomen liikenteen päästöjen laskentajärjestelmä LIPASTO 2010:stä, johon vesiliikenteen osuus tuotetaan MEERI 2010 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 2030.

Taulukko 17. Suomen liikenteen päästöt ja energiankulutus 2010.

	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	177 067	19 611	43 083	2 418	1 181	529	72	11 734 223	167
Rautatieliikenne	398	137	2 493	74	10	7	212	239 015	6.0
Vesiliikenne	28 073	6 539	47 124	1 481	324	71	11 626	2 757 232	36
Ilmaliikenne	3 870	287	3 120	121	27	36	224	888 749	12
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>209 408</b>	<b>26 575</b>	<b>95 820</b>	<b>4 095</b>	<b>1 543</b>	<b>643</b>	<b>12 133</b>	<b>15 619 219</b>	<b>221</b>

Kuva 12. Suomen liikenteen päästöt 2010. 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 viidettätoista, vuoden 2010 tiedoilla päivitettyä versiota MEERI 2010. Projekti kuului osana LIPASTO 2010 -projektiin, jossa selvitettiin kaikkien liikennemuotojen päästöt Suomessa. MEERI 2010 -malli laskee vesiliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna 2010. Laskentatulokset saadaan sekä valtakunnallisesti että satamakohtaisesti. Karkealla tasolla päästömäärät on ennustettu vuodesta 1980 vuoteen 2030. Laskentajärjestelmä koskee meri- ja sisävesiliikennettä sekä huviveneilyä ja kalastusta Suomessa. Suomen armeijan veneet ja alukset eivät sisälly laskentaan.

MEERI 2010-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 2010 laskentajärjestelmä on tarkoitettu lähinnä liikenneministeriön, Liikenneviraston ja VTT:n käyttöön. Tietoa LIPASTO 2010 ja MEERI 2010 laskentajärjestelmistä on nähtävissä VTT:n internetsivulla: <http://lipasto.vtt.fi/>

Suomen vesiliikenteen aiheuttamat päästöt Suomen talousalueella vuonna 2010 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 28 100, hiilivetyjä (HC) 6 540 t, typen oksideja (NO<sub>x</sub>) 47 100 t, hiukkasia 1 480 t, metaania (CH<sub>4</sub>) 320 t, typpioksiduulia (N<sub>2</sub>O) 71 t, rikkidioksidia (SO<sub>2</sub>) 11 600 t ja hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) 2 760 000 t. Polttonesteitä kulutettiin yhteensä 864 000 t ja kokonaisenergiankulutus oli 36,0 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 2010. Helsinki 2011. 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.

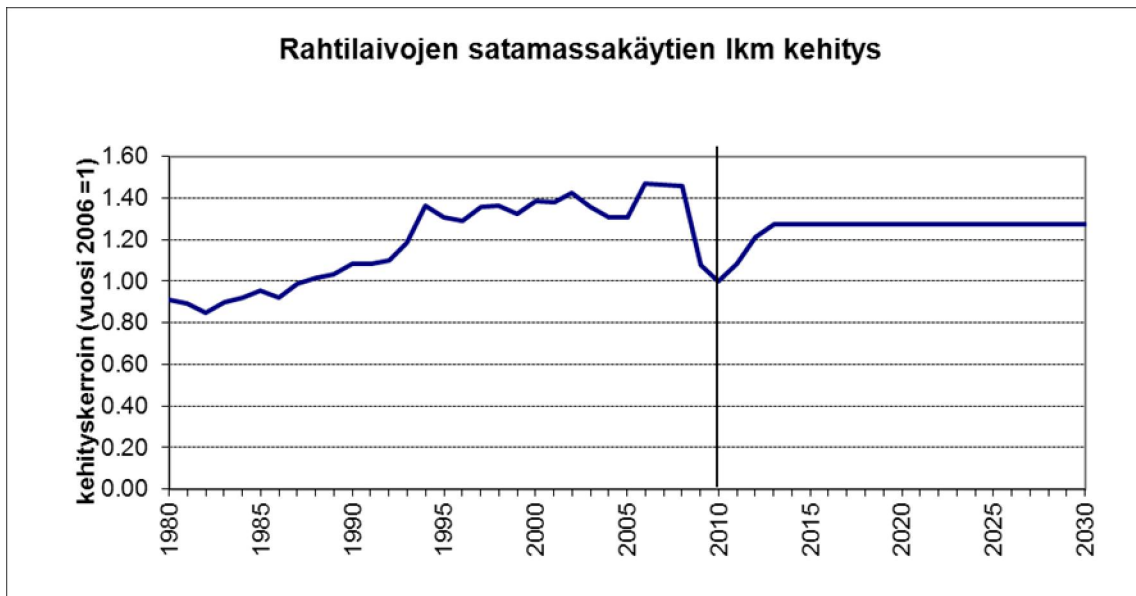
Tamminen Jaana. Suomen laivaliikenteen rikin ja typen oksidien päästöt sekä päästöjen vähentämismahdollisuudet. Helsinki 1992. Ympäristöministeriö Ympäristönsuojeluosasto selvitys 99 1992.

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

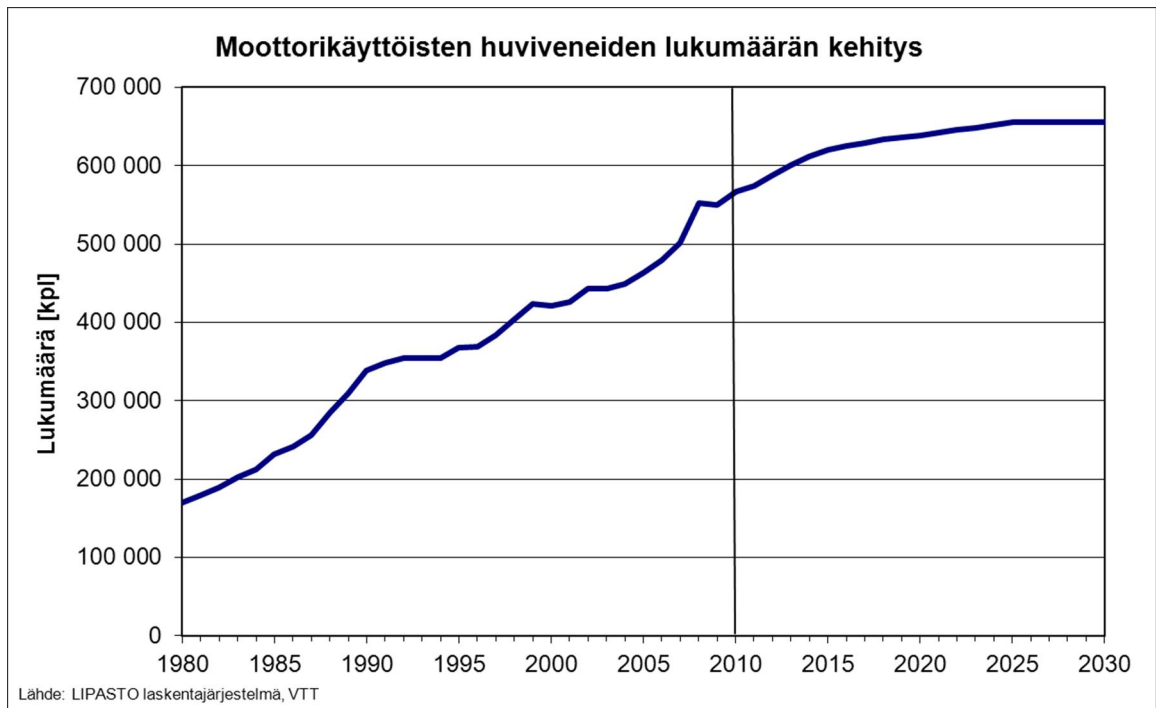
Laivaliikenteen satamassakäyntien kehityskertoimet on esitetty erikseen rahtilaivoille (kuva 1) ja matkustajalaivoille (kuva 2). Perusvuoden 2010 arvo on 1.0. Huviveneiden päästöjen laskenta perustuu niiden lukumäärään, joten myös kehityskerroin koskee lukumäärää (kuva 3). Jäänmurtajien päästölaskennan perusta on polttonesteen kulutus. Kehityskerroin kuvaa siis polttonesteen kulutusta vuoteen 2010 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 2010 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

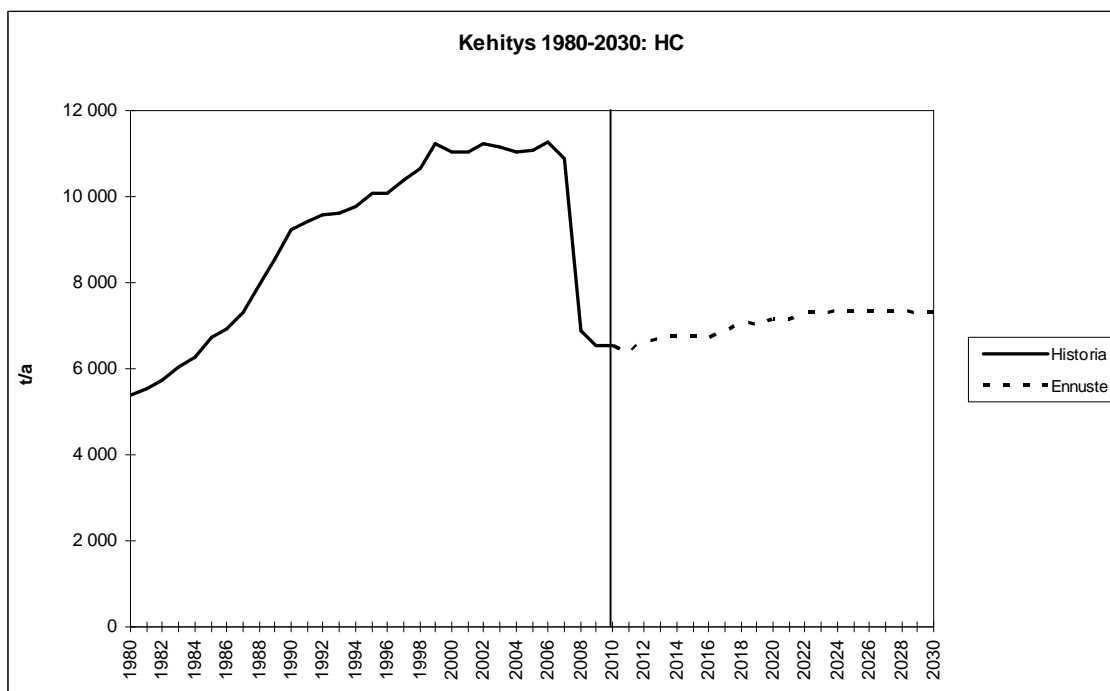
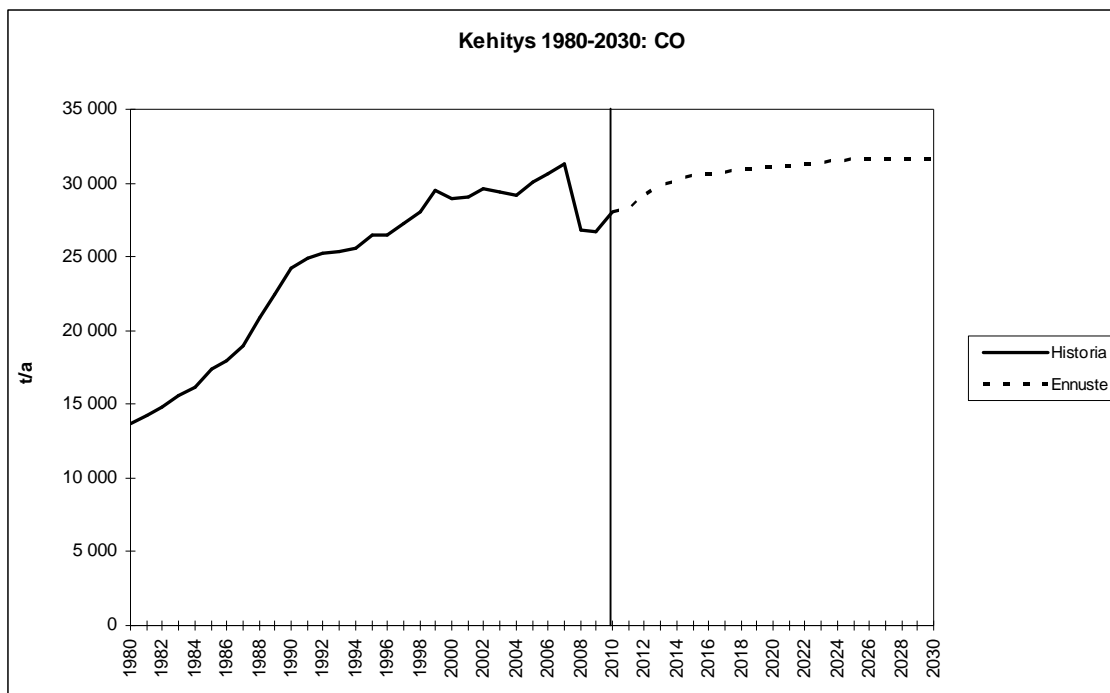
Moottorityyppi	kuormitus	MARITERM	LLOYD'S	MARITEK	WÄRTSILÄ	
		g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	
2-tahti	80 %	0.8	0.4		0.3	0.4
	20 %	1.3	0.5		0.5	0.5
4-tahti	80 %	0.2	0.6	0.48	0.35	0.4
	20 %	0.4	0.9	0.44	0.55	0.5

#### 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

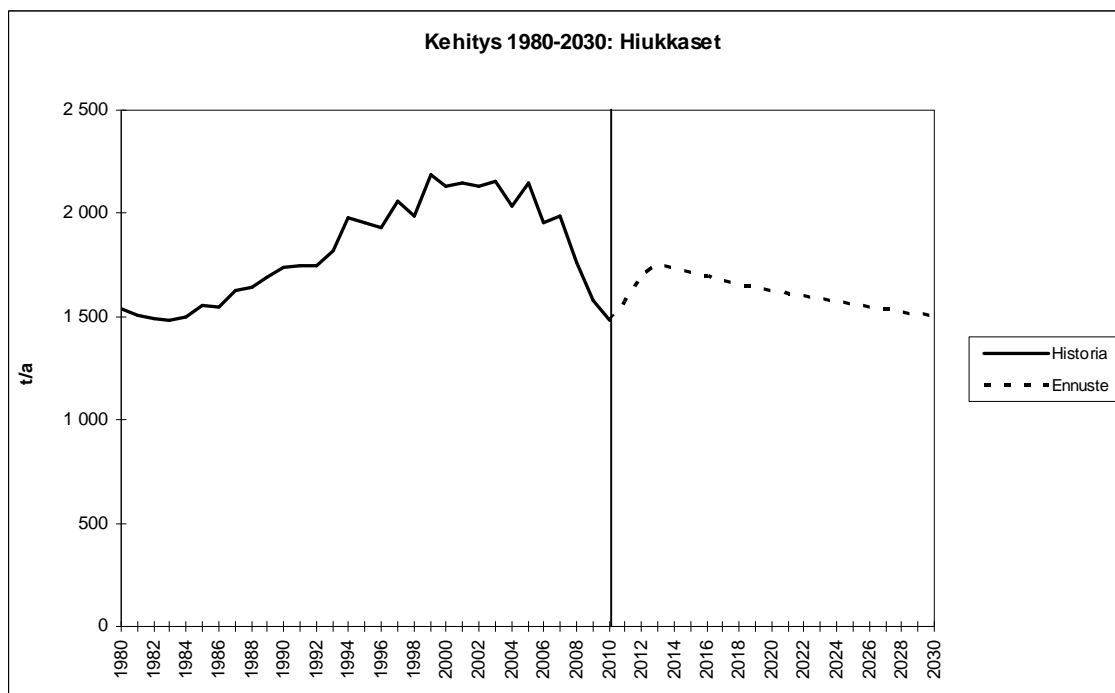
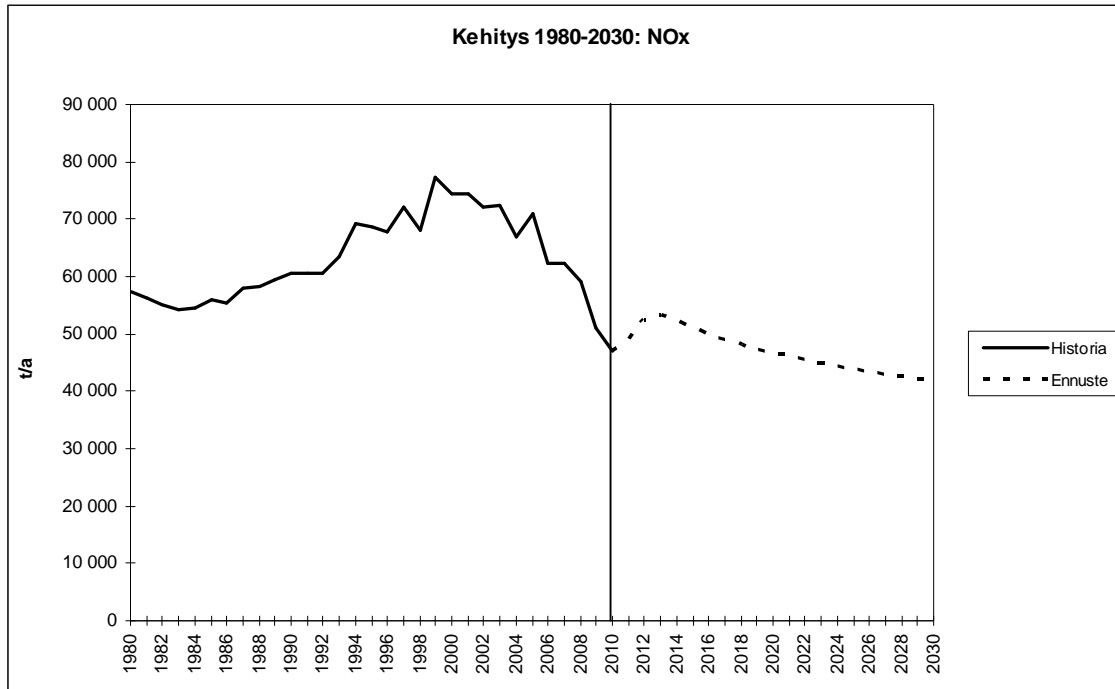
## Liite C:

### Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2010 laskentajärjestelmän mukaan

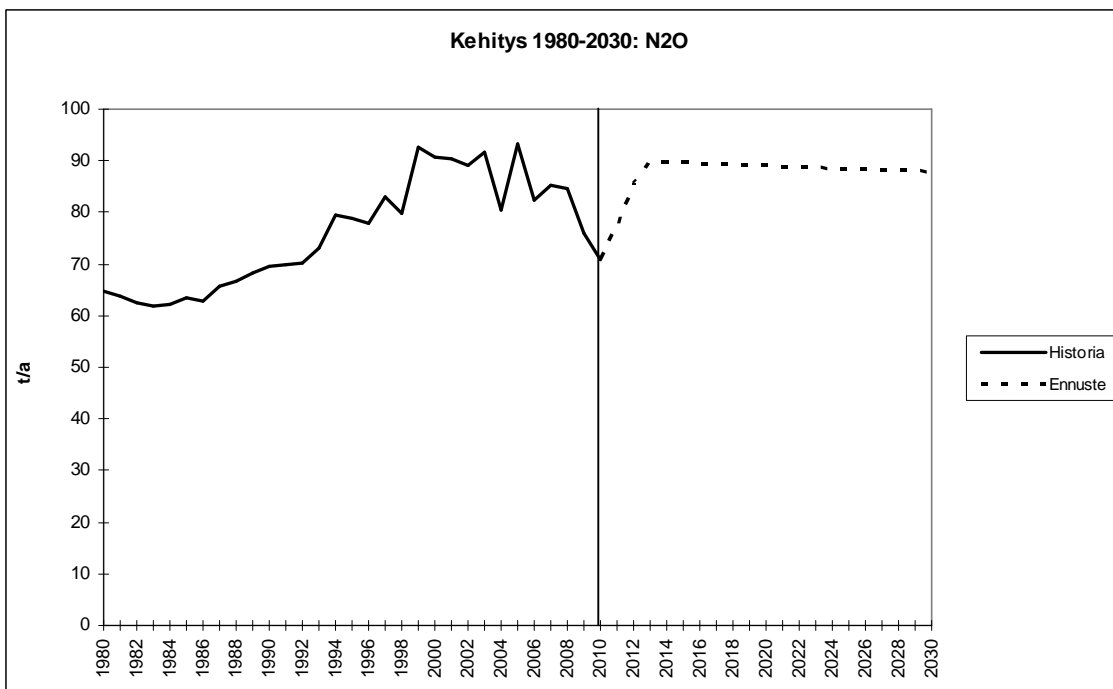
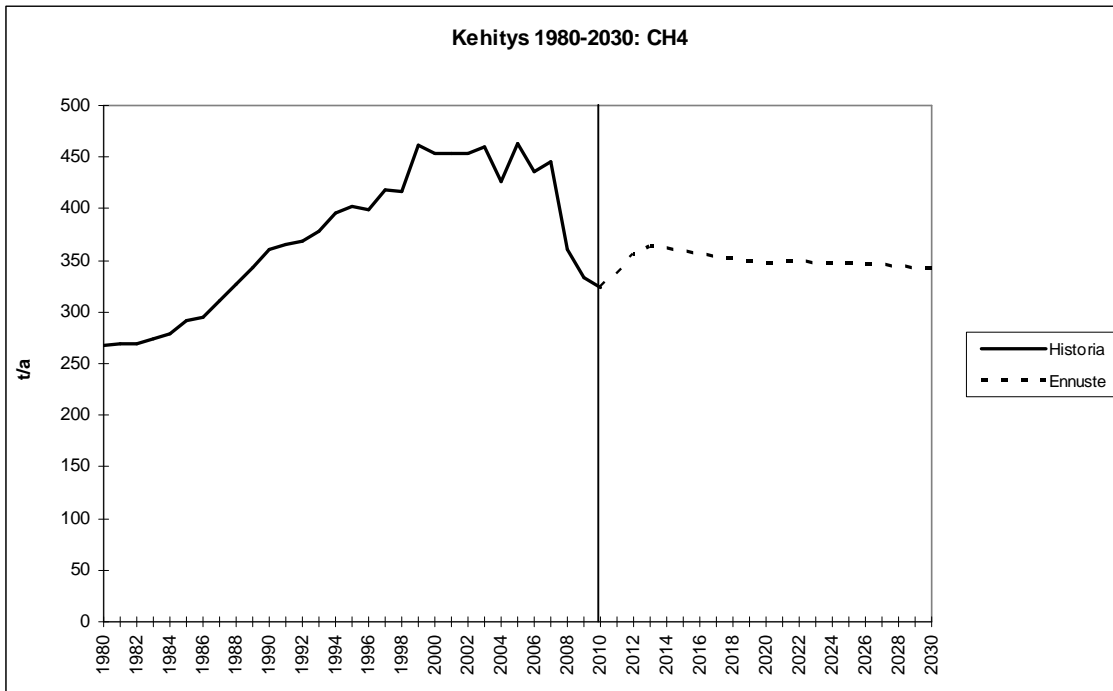




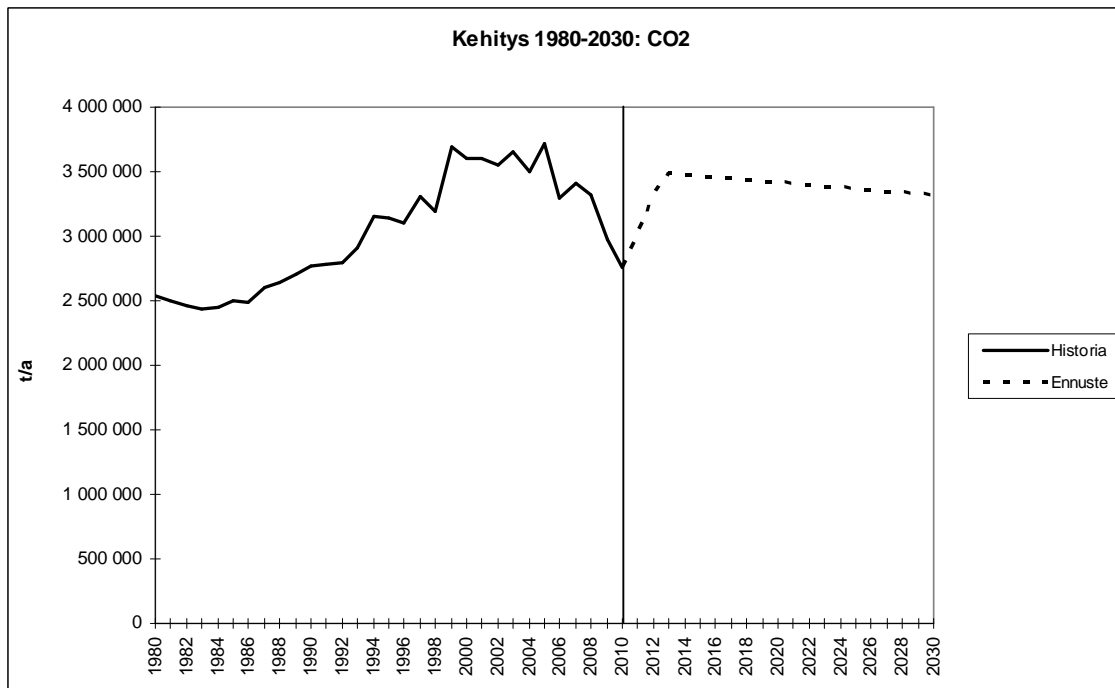
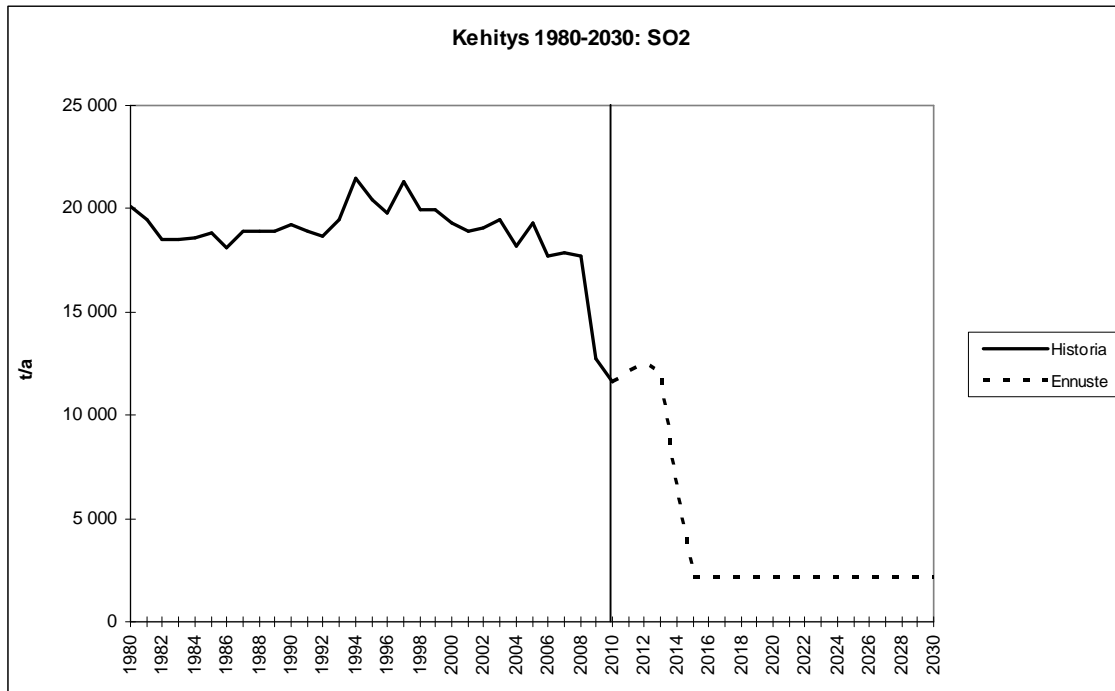
## Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2010 laskentajärjestelmän mukaan



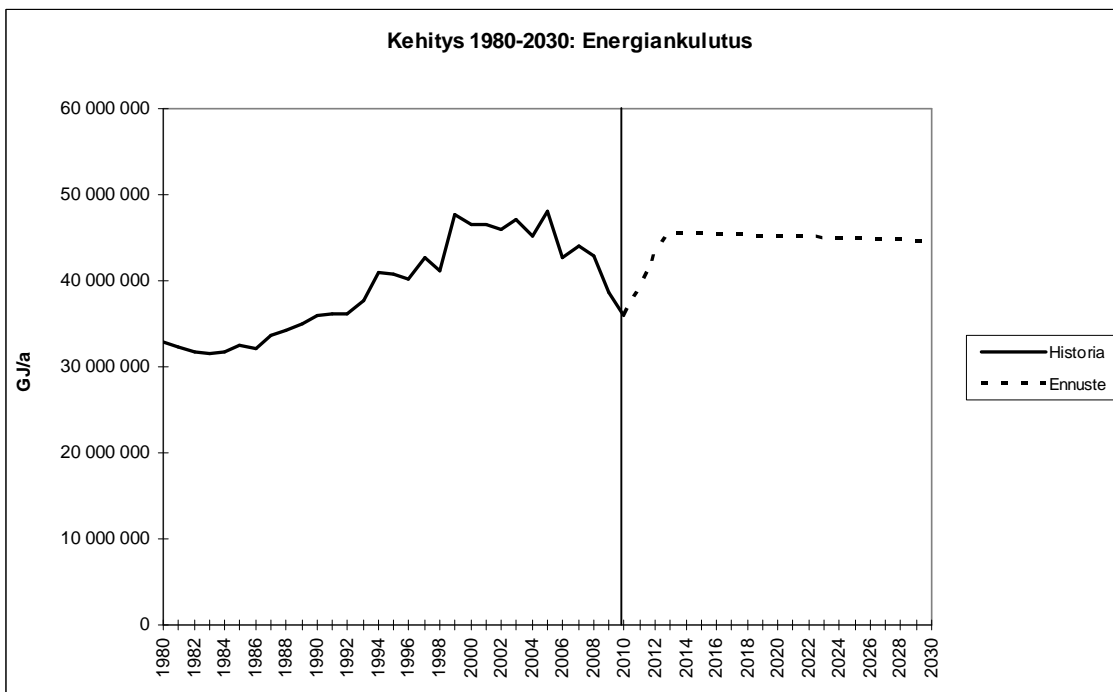
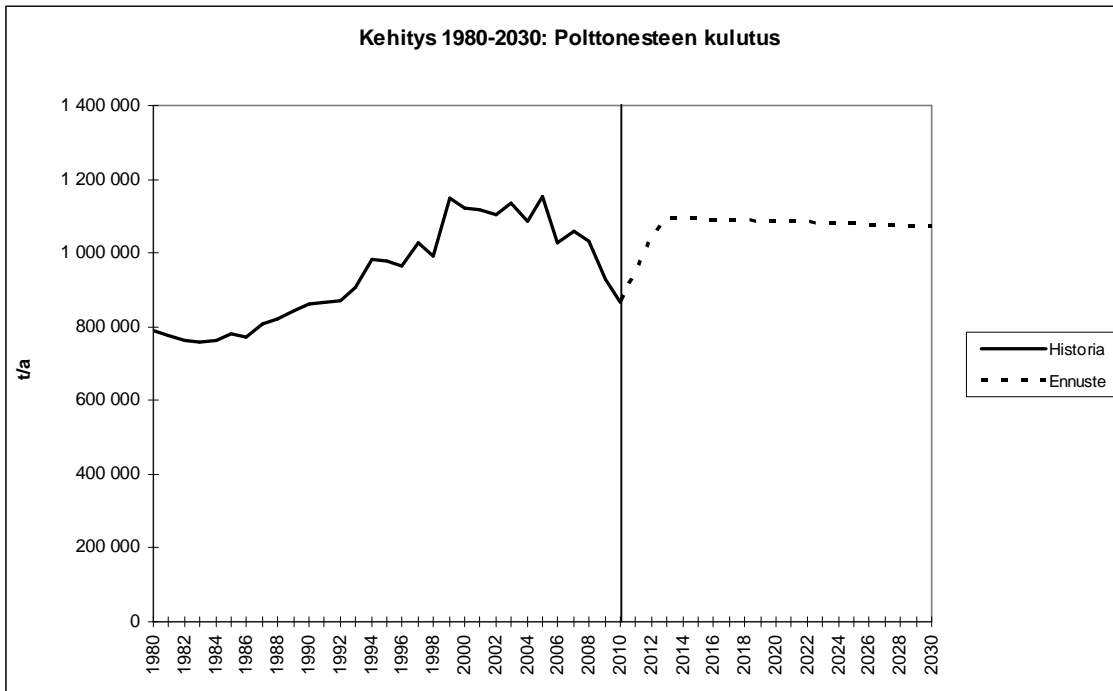
## Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2010 laskentajärjestelmän mukaan



## Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2010 laskentajärjestelmän mukaan

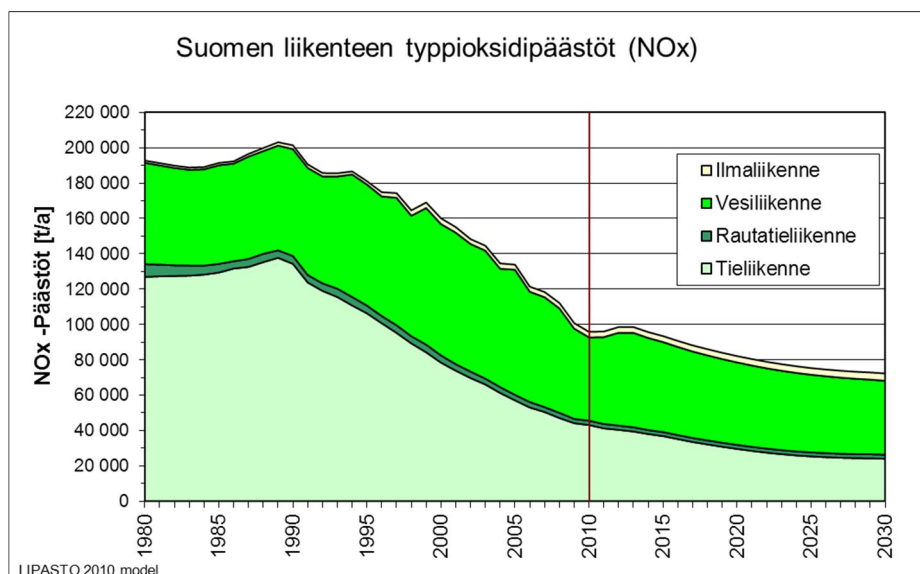
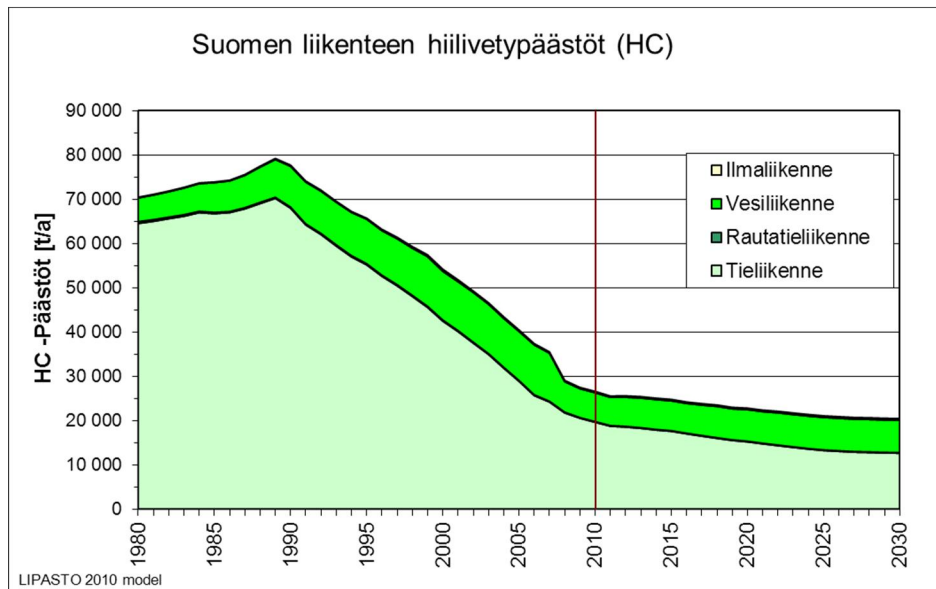
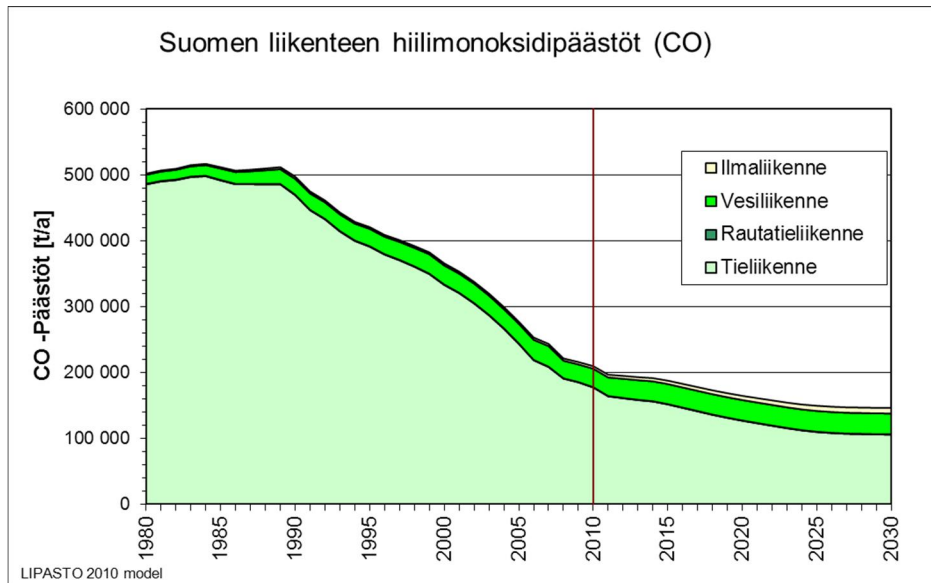


## Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2010 laskentajärjestelmän mukaan

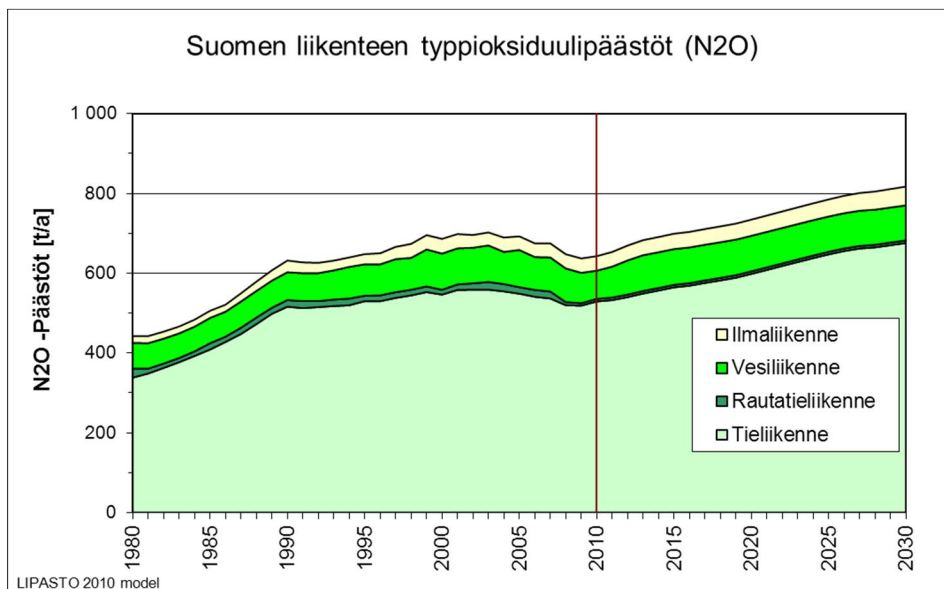
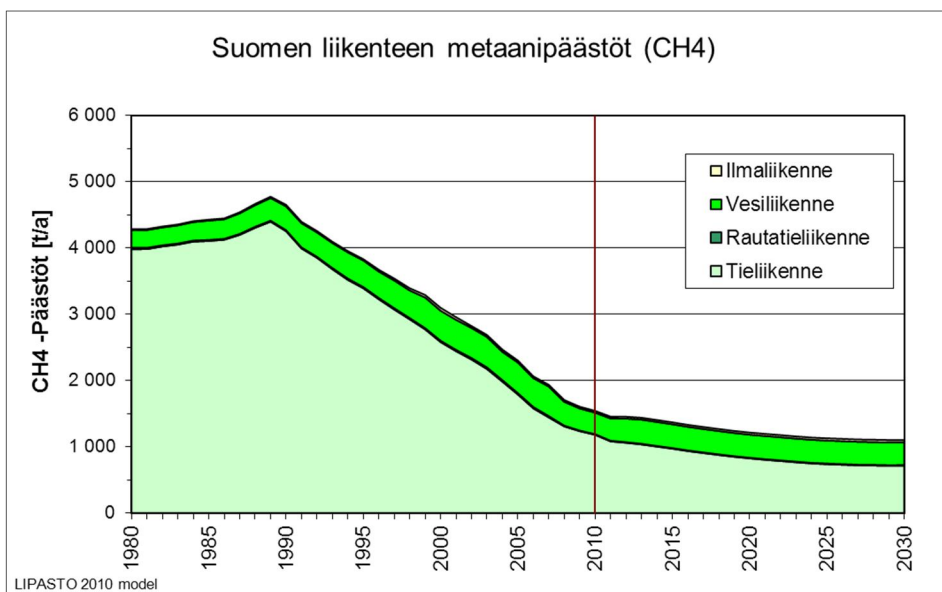
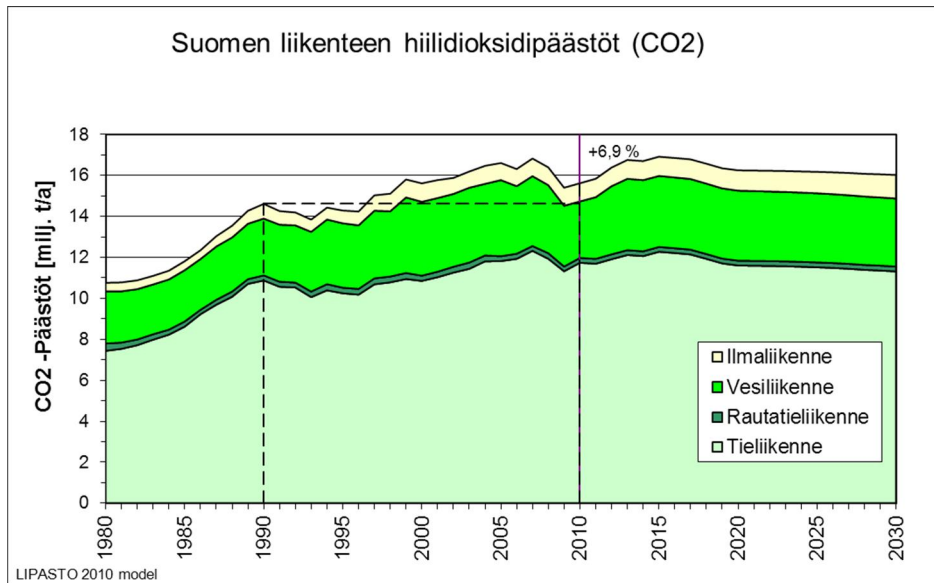


## Liite D:

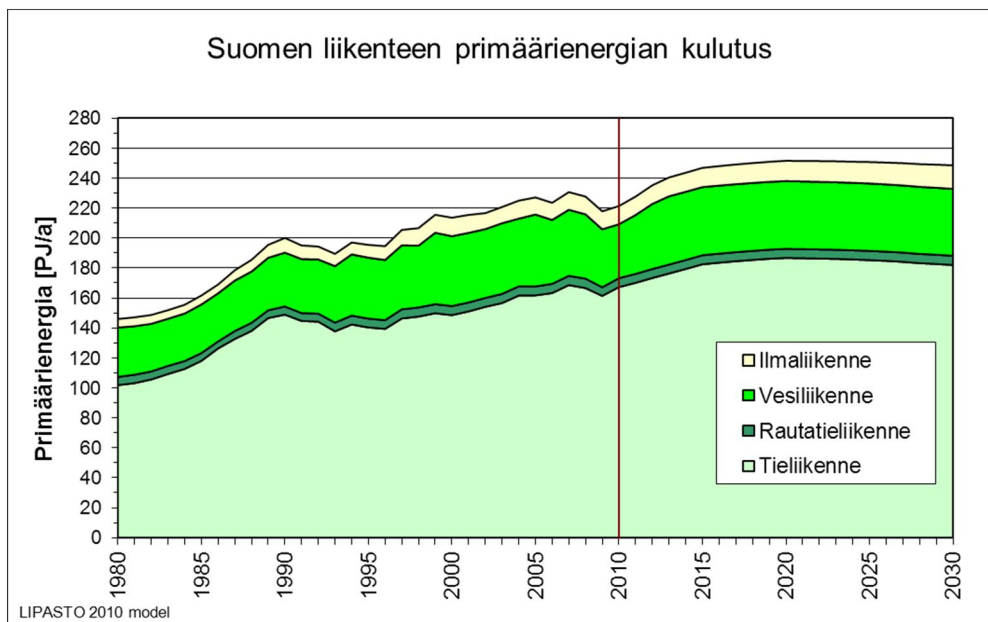
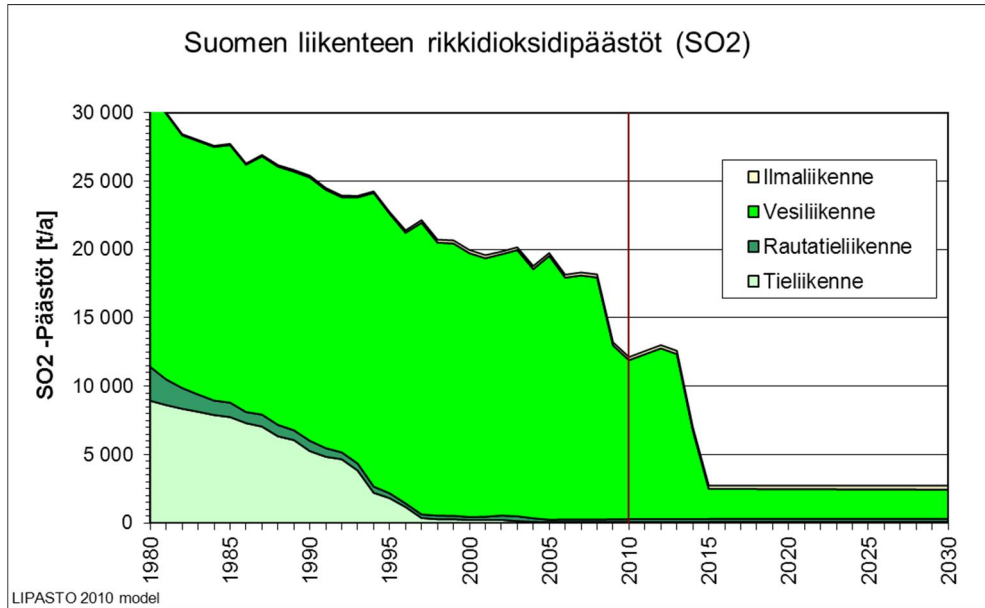
# Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen arvioitu kehitys (LIPASTO 2010)<sup>(1)</sup>



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



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



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