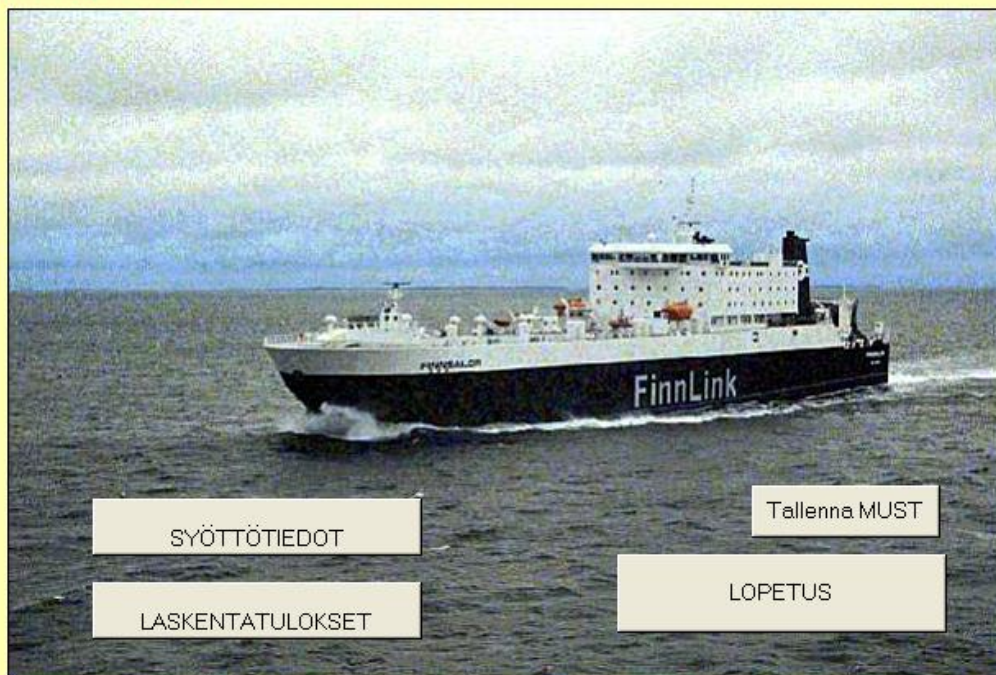


MEERI 2011

Suomen vesiliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä MEERI 2011

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

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Suomen vesiliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä MEERI 2011	
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Tilastokeskus, Kari Grönfors Liikenne- ja viestintäministeriö, Saara Jääskeläinen	Asiakkaan viite
Projektin nimi LIPASTO 2011	Projektin numero /lyhytnimi 78778 LIPASTO 2011
Raportin laatija(t) Kari Mäkelä	Sivujen/ liitesivujen lukumäärä 34 / 11
Avainsanat	Raportin numero VTT-R-03248-12
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 2011 tiedoilla päivitettyä versiota MEERI 2011. Projekti kuuluu osana LIPASTO 2011 -laskentajärjestelmään, jossa selvitetään kaikkien liikennemuotojen päästöt Suomessa. MEERI 2011 -projektissa valmistui tämän raportin lisäksi tietokoneohjelma MEERI 2011. Malli laskee vesiliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna 2011. 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 2031. </p> <p> Mallin avulla voidaan laskea Suomen vesiliikenteen aiheuttamat päästöt seuraavista yhdisteistä: hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x), hiukkaset (PM), metaani (CH₄), dityppioksidi (N₂O), rikkidioksidi (SO₂) sekä hiilidioksidi (CO₂). Laskentaan sisältyy myös polttonesteenkulutus. MEERI 2011 -laskentajärjestelmä on tarkoitettu lähinnä Liikenne- ja viestintäministeriön, Liikenneviraston ja VTT:n käyttöön. Tietoa LIPASTO 2011 ja MEERI 2011 -laskentajärjestelmistä on nähtävissä VTT:n internetsivulla: http://lipasto.vtt.fi </p> <p> Suomen vesiliikenteen aiheuttamat päästöt Suomen talousalueella vuonna 2011 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 22 500, hiilivetyjä (HC) 5 420 t, typen oksideja (NO_x) 45 000 t, hiukkasia 1 420 t, metaania (CH₄) 290 t, typpioksiduulia (N₂O) 70 t, rikkidioksidia (SO₂) 8 100 t ja hiilidioksidia (CO₂) 2 730 000 t. Polttonesteitä kulutettiin yhteensä 857 000 t ja kokonaisenergiankulutus oli 35,6 PJ. </p> <p> Meneillään oleva lama on aiheuttanut melkoisen pudotuksen päästöissä, mutta sen jälkeen vesiliikenteen päästöjen kehityksessä ei näyttäisi tulevaisuudessa tapahtuvan suuria muutoksia nykyhetken verrattuna muiden yhdisteiden paitsi rikkidioksidin osalta, jonka määrässä on tapahtunut ja tapahtuu laskua vähärikkisempien polttonesteiden sekä jyrkempien satamamääräysten myötä. </p>	
Luottamuksellisuus:	Julkinen
Espoo 2.5.2012	
VTT:n yhteystiedot Kari Mäkelä, PL 1000, 02044 VTT kari.makela@vtt.fi puh. 040 551 8475	
Jakelu (asiakkaat ja VTT): Tilaaja, web: http://lipasto.vtt.fi/lipasto/meeri/meeri2011raportti.pdf	
<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 2011	
Customer, contact person, address Statistics Finland, Kari Grönfors Ministry of Transport and Communications, Saara Jääskeläinen	Order reference
Project name LIPASTO 2011	Project number/Short name 78778 LIPASTO 2011
Author(s) Kari Mäkelä	Pages 34 / 11
Keywords	Report identification code VTT-R-03248-12
<p>Summary</p> <p>MEERI 2011 is a sub model of the calculation system LIPASTO 2011 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 2011. 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 2011. 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_x), particles (PM), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), sulphur dioxides (SO₂) and carbon dioxides (CO₂). Calculation includes fuel consumption as well. Web pages concerning MEERI model will be found on site:</p> <p>http://lipasto.vtt.fi/meerie/index.htm</p>	
Confidentiality	Public
Espoo, May 2 nd 2012	
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: http://lipasto.vtt.fi/lipasto/meeri/meeri2011raportti.pdf (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 2011 on kaikkien liikennemuotojen LIPASTO 2011 laskentajärjestelmän alamalli. Koko LIPASTO 2011 -laskentajärjestelmän (ml. alamallit) päivityksen on rahoittanut Tilastokeskus laskentavuoden 2011 osalta.

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	20
3.5.1	Tutkitut yhdisteet	20
3.5.2	Päästölähteet	20
3.5.3	Päästökertoimien määrittäminen	21
3.5.4	Päästökertoimien kehitys	22
4	Järjestelmäkuvaus	24
4.1	MUST malli	24
4.1.1	MUST-ohjelmistokehittäjän rakenne	24
5	Laskentatulokset	27
5.1	Päästömäärät	27
5.2	Päästöjen vertailu	31
6	Yhteenveto	32
	Lähdeviitteet	33

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 2011 tiedoilla päivitetystä laskentajärjestelmästä MEERI 2011. 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 2011 -laskentajärjestelmän perustan muodostavat satamien liikennöintitiedot. Järjestelmä laskee vesiliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna (2011) 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_x), hiukkaset (PM), metaani (CH₄), di-tiypiksi (N₂O), rikkidioksidi (SO₂) sekä hiilidioksidi (CO₂). 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 1996–2011 sekä ennusteet vuodesta 2012 vuoteen 2031.

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

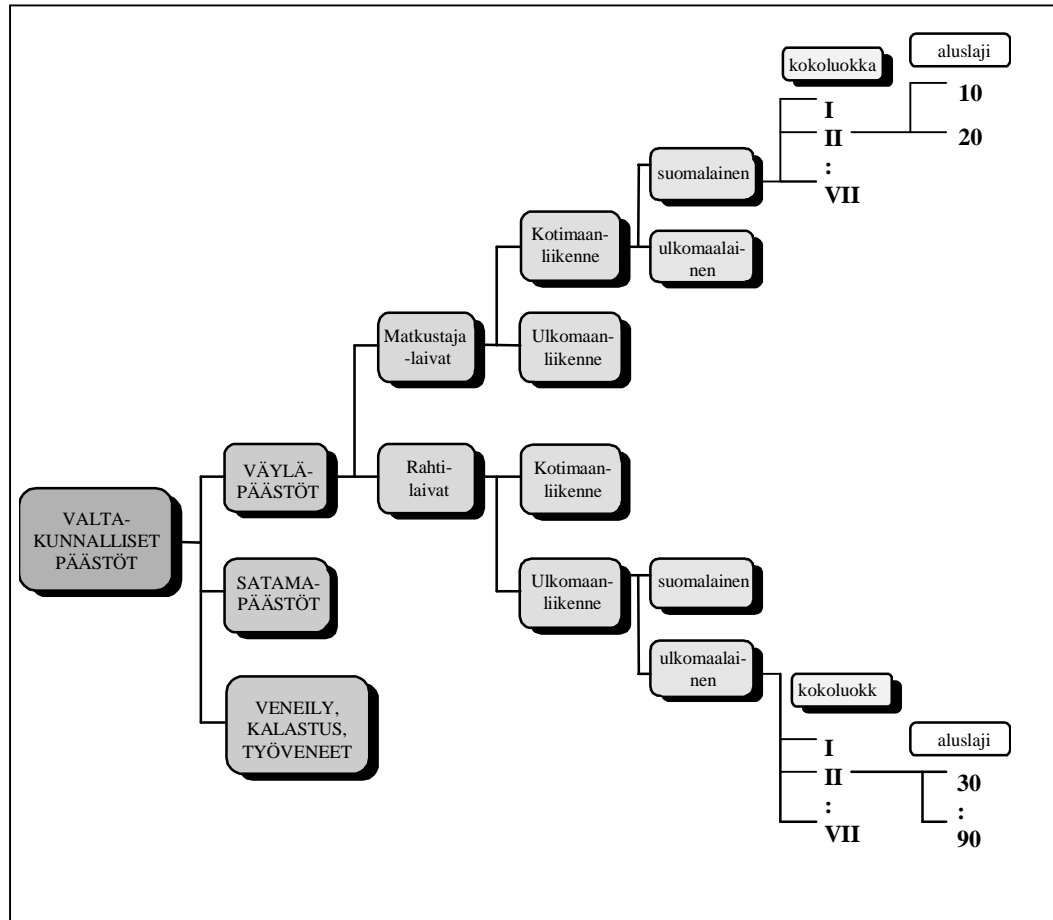
2.2 Valtakunnallinen laskenta

2.2.1 Rakenne

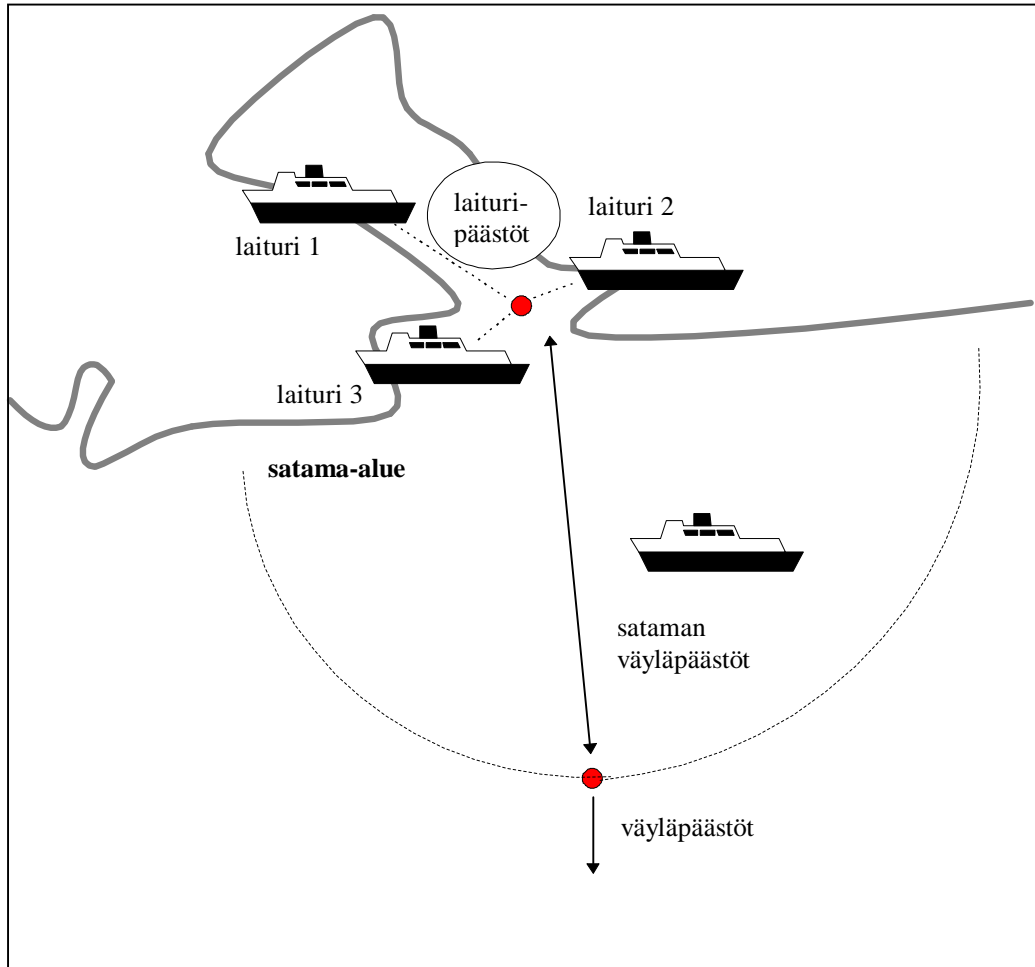
Valtakunnallinen laskenta koostuu kahdesta osasta: **satamapäästöistä** ja **väyläpäästöistä**. Satamapäästöihin lasketaan kuuluviksi kaikki laivojen satama-alueella aiheuttamat päästöt (sekä liikkeessä että seisonta-aikana laiturissa), väyläpäästöihin kaikki väylällä ajon aikana aiheutetut päästöt. Veneliikenteen, kalastusalusten ja -veneiden, työalusten ja -veneiden, risteilyalusten, lauttojen ja lossien sekä jäänmurtaajien 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 määriteltä 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).

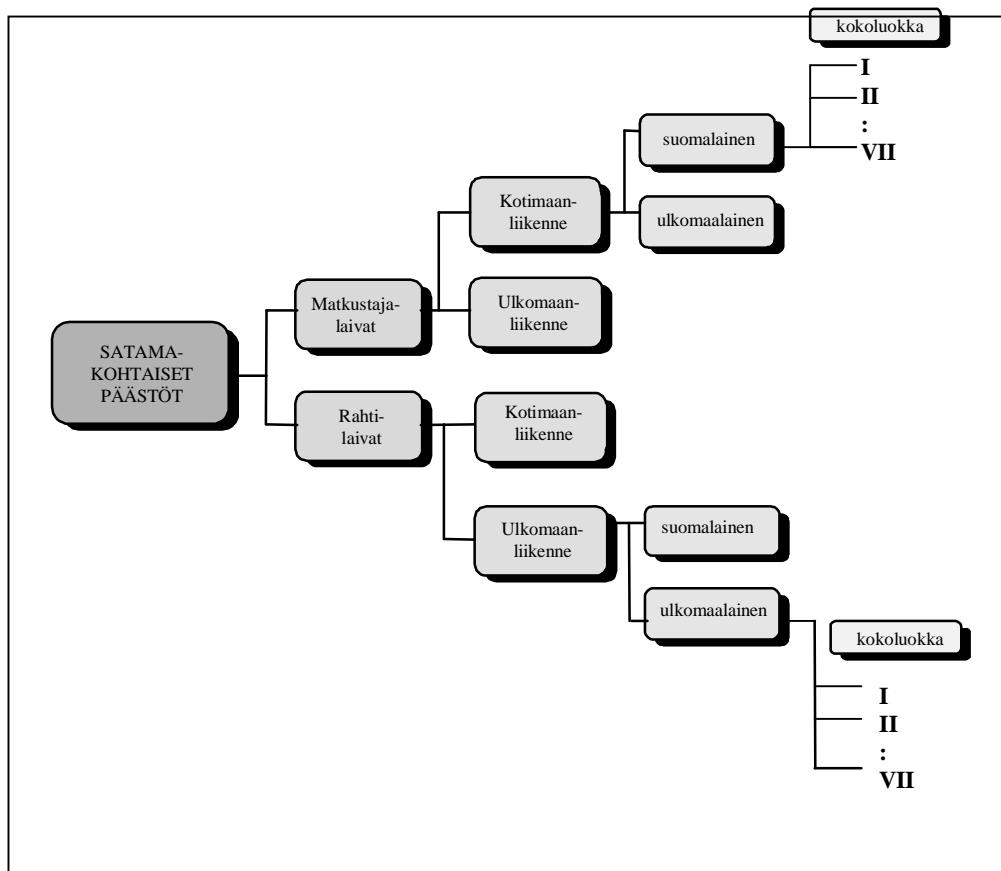
Lukumäärät on saatu moottoriveneiden osalta venerekisteristä. Kalastusalusten lukumäärä perustuu maa- ja metsätalousministeriön kalastusalusrekisteriin, jonka on aluskohtaisia tietoja on nähtävissä EU:n sivuilla. Työveneiden ja -alusten lukumää-

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

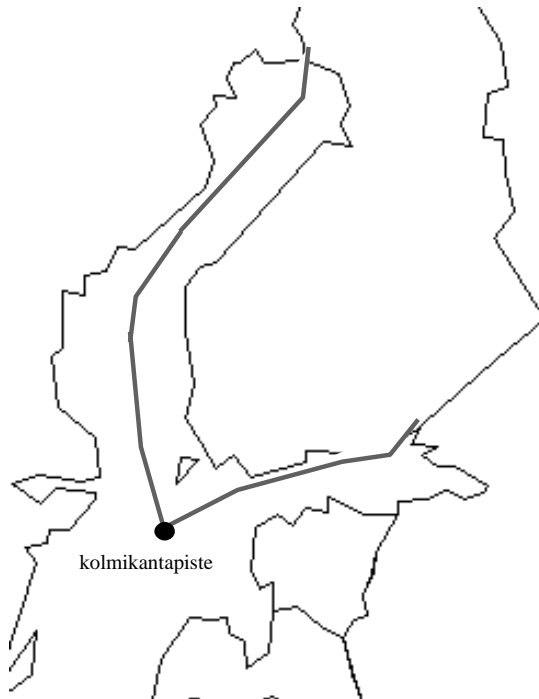
Laskentajärjestelmä laskee perusvuoden 2011 lisäksi pakokaasupäästöt vuosilta 1980-2011 sekä ennustevuosilta 2012-2031. Sekä kuluneiden vuosien että ennustevuosien laskenta perustuu kehityskertoimiin, joilla perusvuoden pakokaasujen määrää korjataan. Suoritteiden kehityskerroin kuvaa laivojen satamassakäyntien määrää perusvuoteen 2011 verrattuna. Aikasarjojen päästökertoimien kehityskertoimet (kullekin yhdisteelle omansa) kuvaavat päästökertoimien arvoja perusvuoden 2011 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 2011 -järjestelmässä menetelty seuraavasti.

MEERI 2011 -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 2011 yhteensä n. 77 700 liikennöintitapahtumaa. Tilastoissa on mukana kaikkiaan n. 80 satamaa. MEERI 2011-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 2011 syöttötietojen laskennassa.

Kaikkien Suomen satamien yhteenlaskettu satamassakäyntien lukumäärä vuonna 2011 oli 28 000 kpl. Tästä 14 % oli kotimaanliikennettä ja 86 % ulkomaanliikennettä. Rahtilaivojen osuus kaikista satamassakäynneistä oli 59 % ja matkustajalaivojen 41 %. Rahtiliikenteestä kotimaanliikennettä oli 20 %.

Huviveneiden sekä kalastus- ja työveneiden ja -alusten päästöt on laskettu omana kokonaisuutenaan. Laskennan perustan muodostavat lukumäärätiedot. Pääosin lukumäärä saadaan vesikulkuneuvorekisteristä (venerekisteristä). Tämä rekisteri uudistettiin perusteellisesti vuonna 2011 siten, että jokaisen veneen omistajan täytyi uudistaa veneensä rekisteröinti. Näin saatiin poistettua sellaiset veneet, joita ei oltu ilmoitettu poistetuksi aikaisemmin. Uudistuksen seurauksena noin 40 % rekisterissä olleista veneistä poistui. Tämä uudistus muutti radikaalisti päästötietoja eli päästöt vähenivät noin 20 %. Tästä aiheutuu päästöaikasarjaan jyrkkä pudotus. Virheellinen tieto venemäärästä on ollut jo pitkään ja jossakin vaiheessa täytyy tehdä uudelleenlaskenta menneille vuosille todellisten venemäärien ja päästöjen arvioimiseksi.

Huviveneiden (moottoriveneet ja purjeveneet) lukumääräksi Suomessa vuonna 2005 arvioitiin n. 464 000 kpl. Arvio perustuu Länsi-Suomen lääninhallituksen koko Suomen kattaviin venerekisteritietoihin sekä arvioon rekisteröimättömien veneiden määrästä (Räsänen et al. 2005). Vuodelle 2011 arvioitu määrä on 471 000 kpl (liite A, kuva 3). Ilman venerekisteriuudistusta venemääräarvio olisi n. 590 000. Venerekisterissä olevien veneiden 167 000 kpl lisäksi arvioidaan olevan noin 270 000 rekisteröimätöntä moottorivenettä (alle 20 hv). Kalastusalusten ja -veneiden lukumäärä vuonna 2011 oli 3 332 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 2011 käytössä yhdeksän jäänmurtajaa, joiden polttonesteenkulutus oli yhteensä 26 400 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 2011 käyneiden rahti- ja matkustajalaivojen lukumäärät ja väylillä ajetut kilometrit brt-luokittain. Kuvaajien muodot noudattelevat suhteellisen hyvin toisiaan. Lukumäärätietoja on käytetty satamapäästöjen laskennan, laivakilometrejä väyläpäästöjen laskennan lähtötietoina.

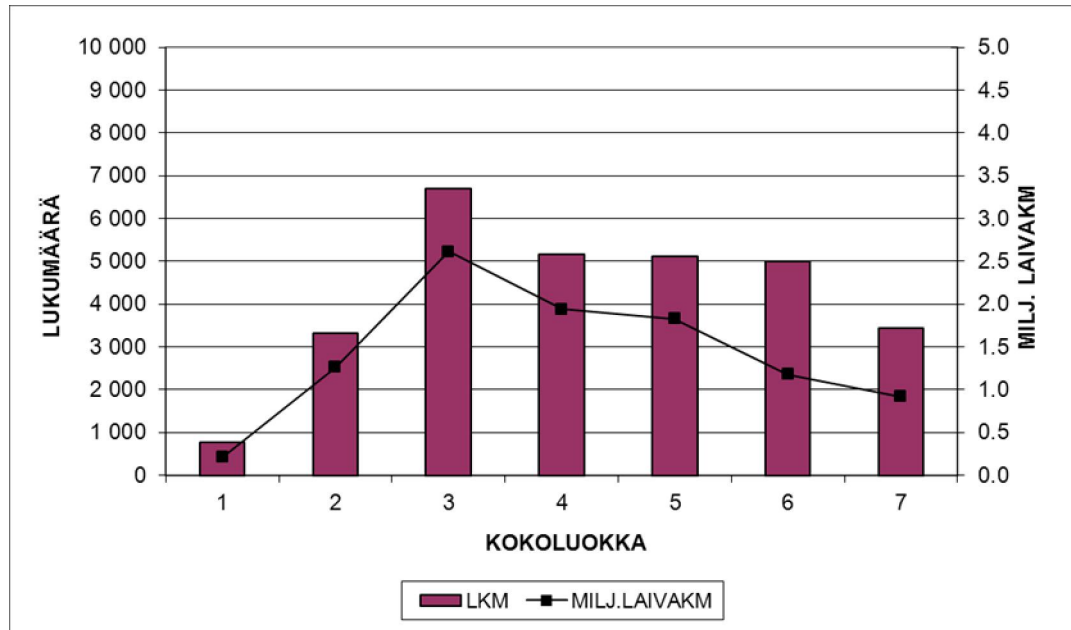
Taulukko 1. Rahtilaivojen jako luokkiin bruttorekisteritonniin perusteella 2011.

Luokka	BRT	Teho (kW)	Apuk. teho (kW)	Nop. (80% teholla) km/h
1	300-999	1 817	230	22.2
2	1 000-2 499	1 256	346	20.6
3	2 500-4 499	2 825	520	24.5
4	4 500-7 999	5 006	786	28.1
5	8 000-11 999	9 070	1 122	31.8
6	12 000-20 999	11 254	1 447	33.1
7	>21 000	19 685	1 770	37.3

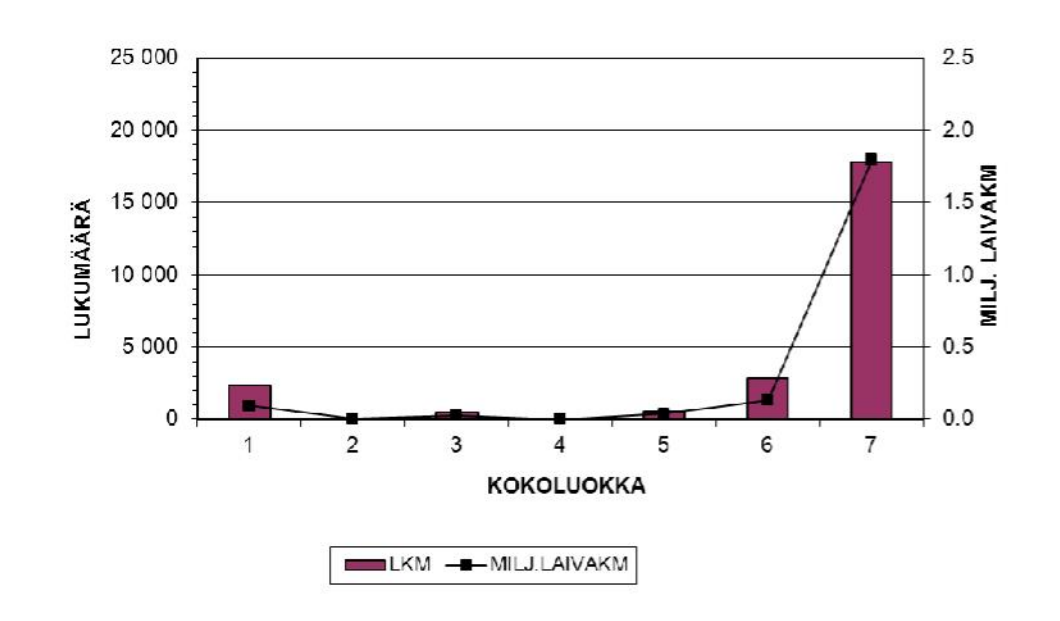
Taulukko 2. Matkustajalaivojen jako luokkiin bruttorekisteritonniin perusteella 2011.

Luokka	BRT	Teho (kW)	Apuk. teho (kW)	Nop. (80% teholla) km/h
1	300-999	8 025	230	66.4
2	1 000-2 499	1 324	346	25.9
3	2 500-4 499	2 811	520	30.9
4	4 500-7 999	4 854	786	29.6
5	8 000-11 999	10 347	1 122	28.6
6	12 000-20 999	14 730	1 447	38.3
7	>21 000	31 048	1 770	40.7

Huvi-, kalastus- ja työvenet 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 2011 kokoluokittain.



Kuva 6. Matkustajalaivojen satamassakäyntien lukumäärä ja laivakilometrit vuonna 2011 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	2 153	3 999	36
15-30	22.5	50	6 781	12 593	66
31-40	35	50	7 940	14 745	36
41-50	45	50	8 052	14 953	22
51-60	55	50	3 765	6 993	6
61-70	65	50	1 588	2 949	5
71-80	75	50	1 422	2 642	2
81-90	85	50	2 328	4 324	8
91-100	95	50	916	1 700	5
>100	120	50	3 851	7 153	79

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

Teho (hv)	lkm
<50	2000
50-100	686
100-200	393
>200	253
YHT:	3332

3.2.4 Liikennöintimäärien kehitys

Rahti- ja matkustajalaivojen satamassakäyntien määrän kehitys on arvioitu vuoteen 2031 asti. Lähiajan laman vaikutuksesta ei ole mikään tahon tehnyt virallista arvioita ja se perustuu VTT:n karkeaan arvioon. Vuosien 1980–2011 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 2031 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 2031.

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 399 g/kWh 2-tahtimoottoreilla, 266 g/kWh 4-tahtimoottoreilla ja 222 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) ja myöhempiin arvioihin vuosittaisten tekijöiden mukaan (sääät, veromuutokset ym.). 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. Normaalivuosien käyttömäärän muutoksista ei ole tutkittua tietoa.

Taulukko 6. Huviveneiden vuotuiset käyttöajat.

Venetyyppi	Käyttöaika h/a/vene
Perämoottoriveneet, alle 20 hv	16,5
Perämoottoriveneet, yli 20 hv	27,5
Sisäperämoottoriveneet	22
Sisämoottoriveneet	55
Vesisuihkumoottoriv.	33
Purjeveneet (moott.)	11
Moottoripurjehtijat	71,5

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. MEERI:n nykyversiossa on laivoilla kahden tyyppistä polttoainetta, MDO ja HFO. Uudet polttonesteiden rikkipitoisuuden rajat Itämerellä ja Suomen satamissa ovat muuttaneet nopeasti laivapolttoaineiden rikkipitoisuutta ja eri polttonesteiden käyttöosuuksia. Tutkittua tietoa ei ole saatavissa todellisista pitoisuuksista. Lainsäädännön mukaan satamissa on käytettävä rikkipitoisuudeltaan alle 0,1 % polttoainetta. Suomen aluevesillä oli vuonna 2011 edelleen voimassa 1,5 %:n sääntö, mutta käytännössä laivat joutuivat muussa kuin Suomen ja Viron välisessä

liikenteessä käyttämään alle 1 %:n polttoaineita. MEERI –järjestelmässä on MDO:n rikkipitoisuutena käytetty 0,08 % ja HFO rahtilaivoilla 0,95 % ja matkustajalaivoilla 0,45. Mallissa rahtilaivojen keskimääräinen rikkisisältö polttoaineissa oli 0,72 % vuonna 2011 ja matkustajalaivoilla 0,34 % (taulukko 10).

Huviveneiden käyttämän bensiinin rikkipitoisuus on sama kuin tieliikeneessä eli 0.0008 paino- %. Kaikkien dieselmoottorilla varustettujen huviveneiden täytyy käyttää nykyisin samaa dieselöljyä kuin tieliikenteen eli sen rikkipitoisuus on 0.001 paino- %. Kalastusalusten ja -veneiden sekä työalusten ja -veneiden arvioidaan käyttävän moottoripolttoöljyä 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_x), hiukkaset, metaani (CH₄), typpioksiduuli (N₂O), rikkidioksidi (SO₂) ja hiilidioksidi (CO₂). 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 dieselmoneita. Keskinopea 4-tahtidieselmoottori on tavallinen alle 5 000 brt aluksissa. Hidaskäyntinen 2-tahtimoottori on tyypillinen yli 5 000 brt aluksissa. Tästä poikkeuksen muodostavat jäänmurtaajat 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 jäänmurtaajat hidaskäyntisiksi 2-tahtimoottoreiksi.

Taulukko 8. Keskinopeiden ja hidaskäyntisten moottoreiden prosenttiosuudet 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 2011) 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_2) ja hiilidioksidi- (CO_2) päästöt lasketaan eri tyyppisten polttoaineiden käytön määrien ja niitä vastaavan kertoimen (g/kg) pohjalta. Polttoaineet on kuvattu edellä luvussa Rikkipitoisuus. Taulukossa 10 on koko laivakannan keskimääräiset kertoimet, joissa siis on otettu huomioon polttoaineen rikkipitoisuus ja käytön määrä. Rikkidioksidin (SO_2) määrä on 20 kertaa polttoaineen rikkisisällön painoprosentti (p-%).

Taulukko 9. MEERI 96:ssa käytetyt päästökertoimet.

Moottorityyppi	Kuormitus	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	hiukkaset (g/kWh)	CH ₄ (g/kWh)	N ₂ 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_2 , CO_2 päästöt ja energiasisältö MEERI 2011 mallissa (polttoaineiden käytön määrällä painotettuna).

Yhdiste	Rahtilaivat keskimäärin	Matkustajalaivat keskimäärin
Rikkipitoisuus [paino-%]	0,72	0,34
CO ₂ 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 kes-

kinopeiksi, joten kaikille niiden kokoluokille on käytetty 4-tahtimootteriden päästökertoimia. Samoin kaikille apukoneille sekä rahti- että matkustajalajoissa on käytetty 4-tahtimootteriden kertoimia.

Huviveneille sekä kalastus- ja työveneille käytetyt päästökertoimet on esitetty taulukossa 12. Arvot perustuvat aikaisempiin tutkimuksiin (Lundén 1993, Naturvårdsverket 1992). Kaikkien kevyttä polttoöljyä käyttäneiden veneiden oletetaan vuonna 2011 käyttäneen dieselpolttoöljyä (mm. erittäin alhainen rikkipitoisuus). Hiilidioksidipäästöt on suhteutettu kulutukseen. Jäänmurtaajille on käytetty rahtilajoille määritettyjä päästökertoimia.

Taulukko 11. Rahtilajojen typen oksidien päästökertoimet kokoluokittain vuonna 2011 (g/kWh).

Luokka	BRT	Kuormitus 80 %	Kuormitus 20 %
1	300-999	11.3	12.8
2	1 000-2 499	12.0	13.0
3	2 500-4 499	11.9	13.0
4	4 500-7 999	13.4	13.4
5	8 000-11 999	13.8	13.6
6	12 000-20 999	13.9	13.6
7	>21 000	14.1	13.6

Taulukko 12. Huviveneille, kalastus- ja työveneille sekä -aluksille käytetyt päästökertoimet, MEERI 2011.

Huviveneet							
Moottorityyppi	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	hiukkaset (g/kWh)	CH ₄ (g/kWh)	N ₂ O (g/kWh)	SO ₂ (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 _{pa})	HC (g/kg _{pa})	NO _x (g/kg _{pa})	hiukkaset (g/kg _{pa})	CH ₄ (g/kWh)	N ₂ O (g/kWh)	SO ₂ (g/kg polttoain.)
nopeakie. 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 2031 asti. Päästökertoimien arvot vuodelta 1996 ovat perusarvoja. Vuosittaisen päivityksen yhteydessä kaikkien yhdisteiden perusvuoden (tässä tapauksessa 2011) 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 rahtilajoille. Lähteinä on käytetty sekä ulko- että kotimaisia selvityksiä (G. Demker et al. 1994, Thune-Larsen et al. 1997) että asiantuntija-arvioita.

Taulukko 13. MEERI 2011:n kehityskertoimet päästökertoimille (MEERI 96:een verrattuna).

Alustyyppi	vuosi	CO	HC	NO _x	hiukkaset	CH ₄	N ₂ 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
	2007	1,000	0,926	0,852	0,852	0,926	1,000
2008	1,000	0,920	0,838	0,838	0,920	1,000	
2009	1,000	0,913	0,825	0,825	0,913	1,000	
2010	1,000	0,906	0,811	0,811	0,906	1,000	
2011	1,000	0,900	0,900	0,798	0,798	0,900	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	
2011	0,584	0,584	0,445	0,777	0,584	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.

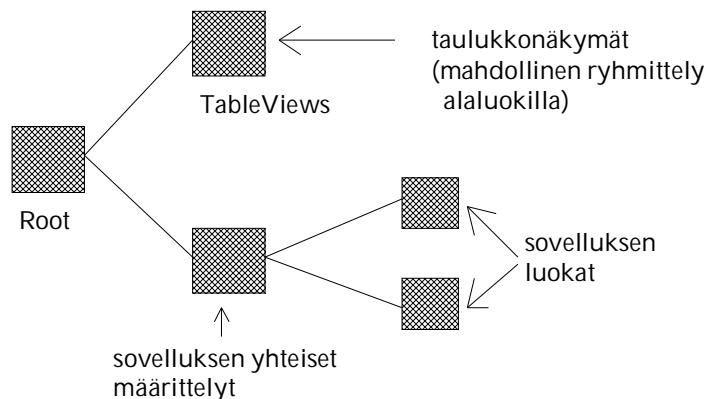
4.1.1 MUST-ohjelmistokehittimen rakenne

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

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

Periytyminen, perus- ja johdetut määrittelyt

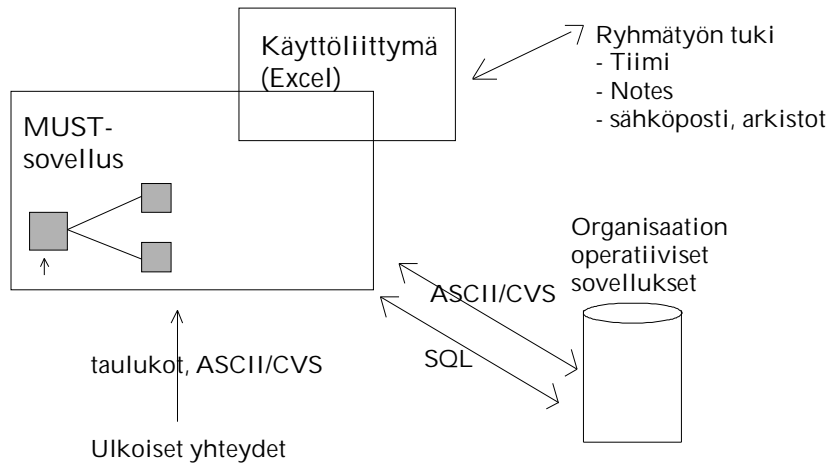
- MUSTissa luokkahierarkiassa toimii dynaaminen moniperintä
 - muutokset heijastuvat välittömästi kaikkiin alaluokkiin ja datataulukoihin
 - luokalla voi olla useampia yläluokkia
- linkin tai muuttujan määrittely on perusmäärittely (base relation, base item) silloin, kun määrittely ei ole peritty
- peritty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

Mallin komponenttien “eristäminen”, ylläpidettävyys

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

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

Koko sovellusarkkitehtuuri



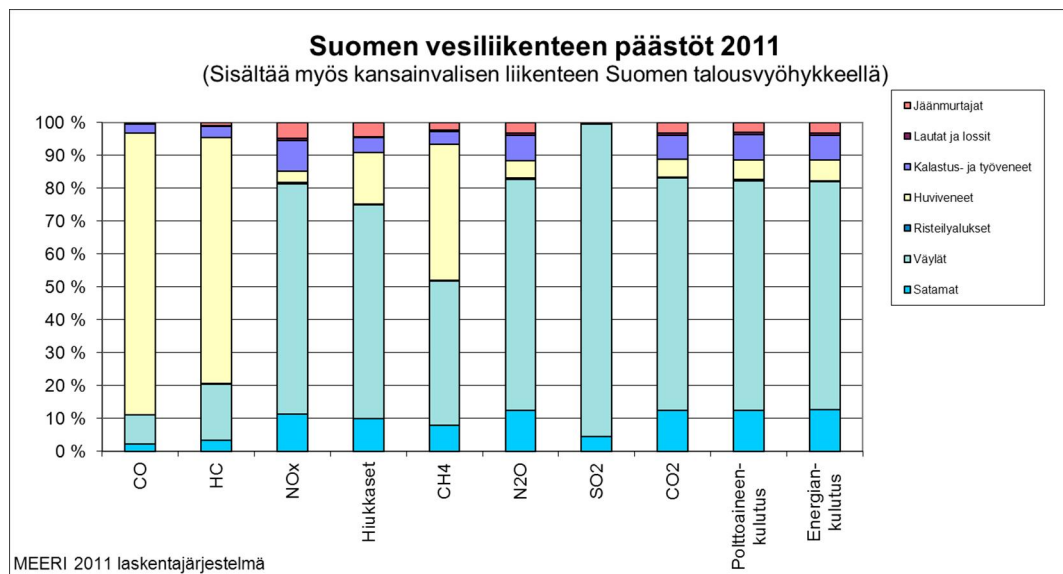
5 Laskentatulokset

5.1 Päästö määrät

Suomen vesiliikenteen aiheuttamat päästöt Suomen talousalueella vuonna 2011 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 22 500, hiilivetyjä (HC) 5 420 t, typen oksideja (NO_x) 45 000 t, hiukkasia 1 420 t, metaania (CH₄) 290 t, typpioksiduulia (N₂O) 70 t, rikkidioksidia (SO₂) 8 100 t ja hiilidioksidia (CO₂) 2 730 000 t. Polttonesteitä kulutettiin yhteensä 857 000 t ja kokonaisenergiankulutus oli 35,6 PJ. (taulukko 14, kuva 7).

Taulukko 14. Suomen vesiliikenteen päästö määrät 2011.

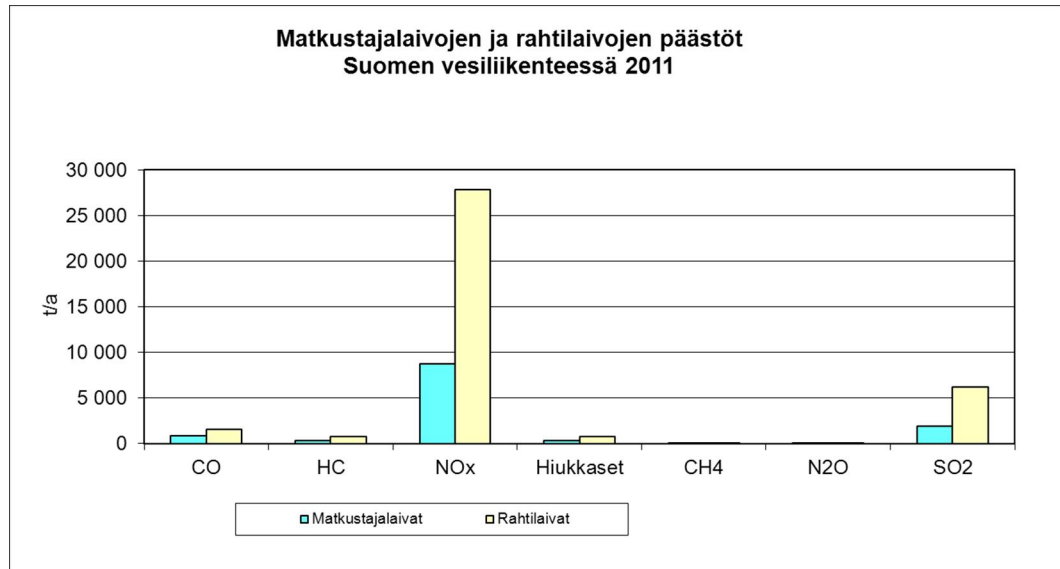
	CO	HC	NO _x	Hiuk- kaset	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂	Polttoaineen kulutus	Energianku- lutus
	t/a									GJ/a
Satamat	495	173	5 074	139	23	9	361	338 423	106 503	4 514 434
Väylät	1 963	931	31 537	923	127	49	7 707	1 930 718	598 480	24 702 170
Risteilyalukset	26	8,3	185	2,8	0,49	0,25	0,06	8 916	2 890	121 954
Huviveneet	19 284	4 051	1 536	223	120	3,6	0,88	147 792	51 320	2 195 957
Kalastus- ja työven.	584	186	4 152	62	11	5,5	1,3	200 175	64 885	2 738 148
Lautat ja lossit	54	17	385	5,8	1,0	0,51	0,12	18 576	6 021	254 095
Jäänmurtajat	79	51	2 141	60	6,9	2,2	34	85 687	26 463	1 110 356
Yhteensä	22 485	5 417	45 012	1 417	290	70	8 104	2 730 286	856 562	35 637 114



Kuva 7. Suomen vesiliikenteen päästösuhteet 2011.

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 työvenien, 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 8. Rikkidioksidin ja typen oksidien määrät ovat rahtilaivoilla selvästi suuremmat kuin matkustajalaivoilla. Rikkidioksidin (SO₂) määrä on suoraan verrannollinen laivoissa käytettävien polttonestei-

den rikkipitoisuuteen, mikä rahtilaivoilla on perinteisesti suurempi. Myös typen oksidien kokonaismäärä on rahtilaivoilla huomattavasti matkustajalaivoja suurempi.

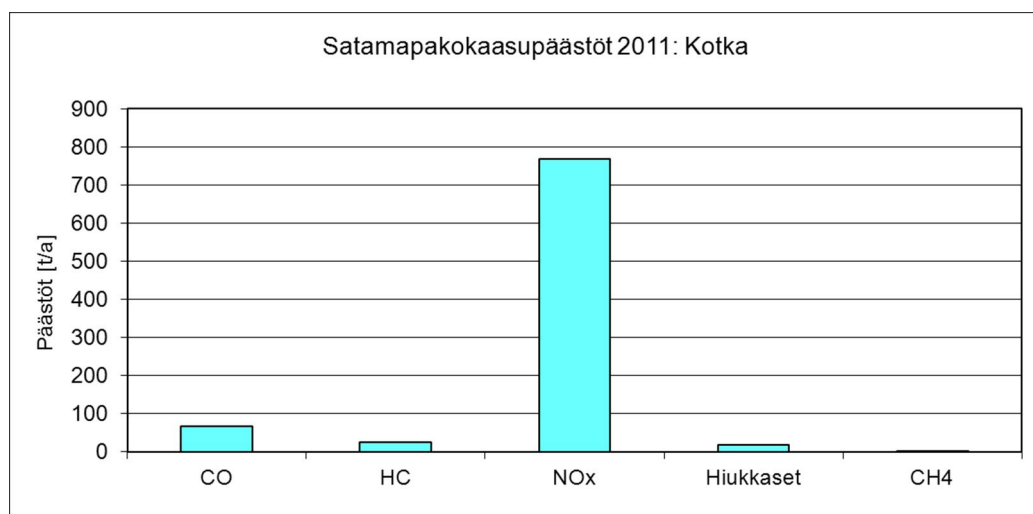


Kuva 8. Rahti- ja matkustajalaivojen päästöt Suomen talousvyöhykkeellä 2011.

Esimerkkinä satamakohtaisen laskennan tuloksista on taulukossa 15 ja kuvassa 9 esitetty laivaliikenteen aiheuttamat päästöt Kotkan satamassa (sisältää 20 minuutin ajon sisään ja 20 minuutin ajon ulos satamasta ja laituripäästöt).

Taulukko 15. Laivaliikenteen pakokaasupäästöt Kotkan satamassa 2011.

	CO	HC	NO _x	Hiukkaset	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂	Polttoaineenkulutus	Satamassakäynnit
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	kpl/a
2011	67	25	768	18	3.1	1.1	40	42 739	13 481	2 920



Kuva 9. Laivaliikenteen pakokaasupäästöt Kotkan satamassa 2011.

Aikasarjatarkastelussa aikajänteeksi on valittu vuodet 1980–2031, yhteensä 52 vuotta, joka on sama kuin LIPASTO 2011 järjestelmässä. Vuodet 1980–2011 kuvaavat satamassakäyntien osalta todellista, tapahtunutta kehitystä ja vuodet 2012–

2031 arvioitua tulevaisuuden kehitystä. Taulukossa 16 on esitetty eri yhdisteiden päästömäärien kehitys (kaikki laivatyyppit yhteensä mukaan lukien huviveneet) sekä polttoaineenkulutus yhteensä vuodesta 1980 vuoteen 2031.

Liitteessä C on esitetty kuvina vesiliikenteen päästömäärien kehitys vuodesta 1980 vuoteen 2011 sekä ennuste vuosille 2012-2031. 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. Jyrkkä lasku vuonna 2011 aiheutuu venerekisterin uudistuksesta, jolloin ilmeni veneitä olevan huomattavasti vähemmän kuin rekisterissä oli eli veneitä ei oltu poistettu rekisteristä asianmukaisesti (liite A, kuva 3). Hiilivetyjen (HC) määrän kehitys on CO:n kanssa samansuuntainen. Erittäin jyrkkä lasku 2008 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 lieväänä. 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 (SO₂) kehitys riippuu olennaisesti käytetyn polttonesteen rikkipitoisuudesta. Laivaliikenteen polttoaineiden rikkipitoisuudet ovat alentuneet jyrkästi viime vuosina Itämeren alueella tiukentuneista rajoituksista johtuen. Tämä näkyy rikkidioksidipäästöjen nopeana laskuna (liite 4/3). Hiilidioksidipäästöt ja energiankulutus tullevat vain lievästi laskemaan tulevina vuosina lisääntyvän liikennöinnin seurauksena.

Taulukko 16. Suomen vesiliikenteen päästöt 1980–2031

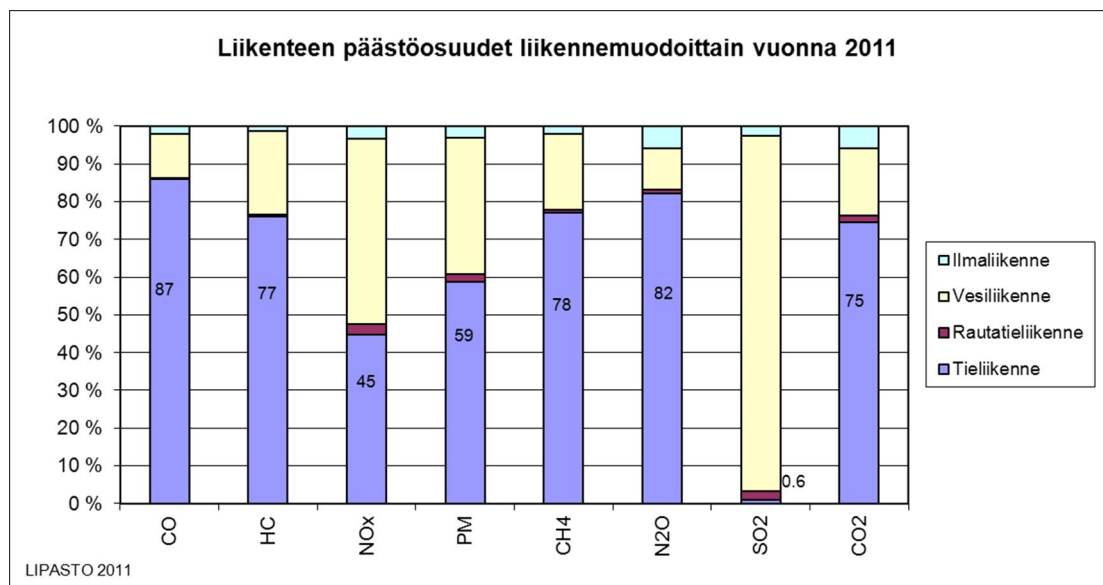
	CO	HC	NO _x	Hiuk- kaset	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂	Polttoain- kulutus	Energian- kulutus
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	GJ/a
1980	13 683	5 366	57 370	1 537	267	65	20 145	2 544 022	791 200	32 906 280
1981	14 231	5 552	56 111	1 510	269	64	19 431	2 502 288	778 321	32 370 324
1982	14 768	5 741	55 115	1 494	270	62	18 484	2 457 343	764 455	31 801 361
1983	15 601	6 039	54 187	1 483	274	62	18 530	2 432 687	756 849	31 482 223
1984	16 203	6 261	54 498	1 499	279	62	18 550	2 450 349	762 351	31 712 164
1985	17 413	6 720	55 831	1 554	292	63	18 836	2 504 673	779 244	32 421 545
1986	17 982	6 920	55 249	1 546	294	63	18 094	2 480 884	771 938	32 124 173
1987	19 002	7 309	57 898	1 624	310	66	18 889	2 601 686	809 408	33 681 209
1988	20 838	7 970	58 144	1 644	326	67	18 890	2 642 210	822 105	34 204 829
1989	22 396	8 541	59 294	1 688	342	68	18 918	2 706 421	842 113	35 038 395
1990	24 230	9 218	60 477	1 740	360	70	19 252	2 772 885	862 787	35 898 818
1991	24 851	9 440	60 608	1 747	366	70	18 898	2 785 051	866 610	36 059 695
1992	25 206	9 561	60 548	1 746	368	70	18 660	2 792 495	868 948	36 154 205
1993	25 342	9 631	63 488	1 822	378	73	19 467	2 915 112	906 907	37 731 281
1994	25 601	9 771	69 327	1 976	396	79	21 477	3 158 716	982 306	40 861 566
1995	26 462	10 061	68 515	1 953	402	79	20 446	3 144 437	978 002	40 681 472
1996	26 511	10 074	67 680	1 935	399	78	19 799	3 104 056	965 070	40 150 861
1997	27 298	10 390	72 135	2 056	418	83	21 334	3 303 394	1 027 327	42 733 056
1998	28 063	10 661	68 183	1 984	416	80	19 970	3 186 955	991 282	41 238 350
1999	29 502	11 227	77 320	2 188	462	93	19 919	3 688 357	1 146 681	47 681 320
2000	28 994	11 021	74 355	2 134	454	91	19 300	3 605 212	1 120 882	46 610 163
2001	29 088	11 053	74 439	2 148	453	90	18 908	3 598 867	1 117 434	46 461 774
2002	29 577	11 233	72 241	2 134	454	89	19 105	3 557 046	1 104 468	45 927 727
2003	29 390	11 163	72 400	2 153	460	92	19 467	3 651 978	1 133 864	47 149 969
2004	29 186	11 045	66 982	2 031	427	81	18 223	3 497 742	1 086 708	45 191 172
2005	30 037	11 087	70 835	2 150	463	93	19 288	3 716 644	1 154 839	48 015 749
2006	30 632	11 271	62 397	1 954	436	83	17 694	3 299 346	1 025 589	42 665 699
2007	31 242	10 874	62 225	1 986	445	85	17 835	3 411 395	1 060 355	44 106 956
2008	26 798	6 887	59 132	1 765	360	84	17 704	3 320 184	1 031 808	42 900 641
2009	26 748	6 535	51 111	1 578	333	76	12 716	2 969 153	929 826	38 681 998
2010	28 073	6 539	47 123	1 481	324	71	11 626	2 757 232	864 291	35 976 589
2011	22 485	5 417	45 012	1 417	290	70	8 104	2 730 286	856 562	35 637 114
2012	22 876	5 333	47 083	1 503	301	76	8 160	2 954 577	927 735	38 585 743
2013	23 472	5 469	48 720	1 584	314	82	7 929	3 185 054	1 001 148	41 630 014
2014	23 986	5 580	50 286	1 663	324	88	4 630	3 413 249	1 074 072	44 653 742
2015	24 175	5 574	49 116	1 644	321	88	1 797	3 404 065	1 072 951	44 607 975
2016	24 274	5 547	48 079	1 625	318	88	1 794	3 393 350	1 071 291	44 539 198
2017	24 352	5 660	47 155	1 606	315	88	1 791	3 384 712	1 070 347	44 501 033
2018	24 471	5 804	46 331	1 589	313	88	1 788	3 375 214	1 069 098	44 449 817
2019	24 499	5 754	45 590	1 573	310	88	1 785	3 364 032	1 067 247	44 372 731
2020	24 566	5 848	44 919	1 557	309	88	1 782	3 355 164	1 066 193	44 329 768
2021	24 637	5 842	44 304	1 543	309	87	1 779	3 344 843	1 064 629	44 264 964
2022	24 745	5 957	43 741	1 529	309	87	1 776	3 335 413	1 063 368	44 213 139
2023	24 789	5 960	43 213	1 516	307	87	1 773	3 325 722	1 062 010	44 157 173
2024	24 902	5 978	42 727	1 504	307	87	1 770	3 316 801	1 060 913	44 112 390
2025	24 983	5 990	42 269	1 492	306	87	1 767	3 310 324	1 060 659	44 103 659
2026	24 966	5 981	41 830	1 480	305	87	1 764	3 296 658	1 057 903	43 987 856
2027	24 984	5 981	41 419	1 468	304	87	1 761	3 286 566	1 056 382	43 924 894
2028	24 968	5 973	41 018	1 457	303	87	1 758	3 276 236	1 054 772	43 858 140
2029	24 951	5 965	40 630	1 446	302	86	1 755	3 265 920	1 053 161	43 791 341
2030	24 935	5 958	40 244	1 435	301	86	1 752	3 255 619	1 051 549	43 724 493
2031	25 327	5 951	39 865	1 425	300	86	1 749	3 249 122	1 051 252	43 713 895

5.2 Päästöjen vertailu

Taulukossa 17 ja kuvassa 10 on esitetty eri liikennemuotojen aiheuttamien päästömäärien vertailu vuodelta 2011. Tulokset ovat Suomen liikenteen päästöjen laskentajärjestelmä LIPASTO 2011:stä, johon vesiliikenteen osuus tuotetaan MEERI 2011 mallilla. Vesiliikenteen osuus liikenteen kokonaispäästöistä on kaikkien muiden yhdisteiden paitsi rikkidioksidin (SO₂) osalta tieliikenteen jälkeen toiseksi suurin. Vesiliikenteen aiheuttamien typen oksidien (NO_x) määrä on 49 %, hiukasten 36 % ja hiilidioksidin (CO₂) n. 18 % liikenteen kokonaispäästöistä. Vesiliikenteen aiheuttamat rikkidioksidipäästöt sen sijaan ovat 94 % 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 2031.

Taulukko 17. Suomen liikenteen päästöt ja energiankulutus 2011.

	CO	HC	NO _x	PM	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂	Primäärienergian kulutus [PJ]
Tieliikenne	165 840	18 617	40 925	2 304	1 099	525	73	11 389 152	168
Rautatieliikenne	407	139	2 551	76	10	7	212	242 655	6.0
Vesiliikenne	22 485	5 417	45 012	1 417	290	70	8 104	2 730 286	36
Ilmaliikenne	4 119	292	3 166	123	28	37	226	898 996	12
YHTEENSÄ	192 851	24 466	91 654	3 919	1 426	639	8 615	15 261 089	222



Kuva 10. Suomen liikenteen päästöt 2011. 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 kuudettatoista, vuoden 2011 tiedoilla päivitettyä versiota MEERI 2011. Projekti kuului osana LIPASTO 2011 -projektiin, jossa selvitettiin kaikkien liikennemuotojen päästöt Suomessa. MEERI 2011 -malli laskee vesiliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna 2011. Laskentatulokset saadaan sekä valtakunnallisesti että satamakohtaisesti. Karkealla tasolla päästömäärät on ennustettu vuodesta 1980 vuoteen 2031. Laskentajärjestelmä koskee meri- ja sisävesiliikennettä sekä huviveneilyä ja kalastusta Suomessa. Suomen armeijan veneet ja alukset eivät sisälly laskentaan.

MEERI 2011-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_x), hiukkaset (PM), metaani (CH₄), typpioksiduuli (N₂O), rikkidioksidi (SO₂) sekä hiilidioksidi (CO₂). Laskentaan sisältyy myös polttonesteenkulutus. MEERI 2011 laskentajärjestelmä on tarkoitettu lähinnä Liikenne- ja viestintäministeriön, Liikenneviraston, Liikenteen turvallisuusviraston ja VTT:n käyttöön. Tietoa LIPASTO 2011 ja MEERI 2011 laskentajärjestelmistä on nähtävissä VTT:n internetsivulla: <http://lipasto.vtt.fi/>

Suomen vesiliikenteen aiheuttamat päästöt Suomen talousalueella vuonna 2011 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 22 500, hiilivetyjä (HC) 5 420 t, typen oksideja (NO_x) 45 000 t, hiukkasia 1 420 t, metaania (CH₄) 290 t, typpioksiduulia (N₂O) 70 t, rikkidioksidia (SO₂) 8 100 t ja hiilidioksidia (CO₂) 2 730 000 t. Polttonesteitä kulutettiin yhteensä 857 000 t ja kokonaisenergiankulutus oli 35,6 PJ.

Rahti- ja matkustajaliikenteen osalta päästöt on jaettu väylä- ja satamapäästöihin. Huviveneiden, kalastus- ja työveneiden sekä jäänmurtajien 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 kokonaispäästöistä.

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. Venerekisterin tarkistus aiheutti huomattavan pudotuksen huviveneiden laskennallisissa päästöissä.

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 2011. Helsinki 2012. 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

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

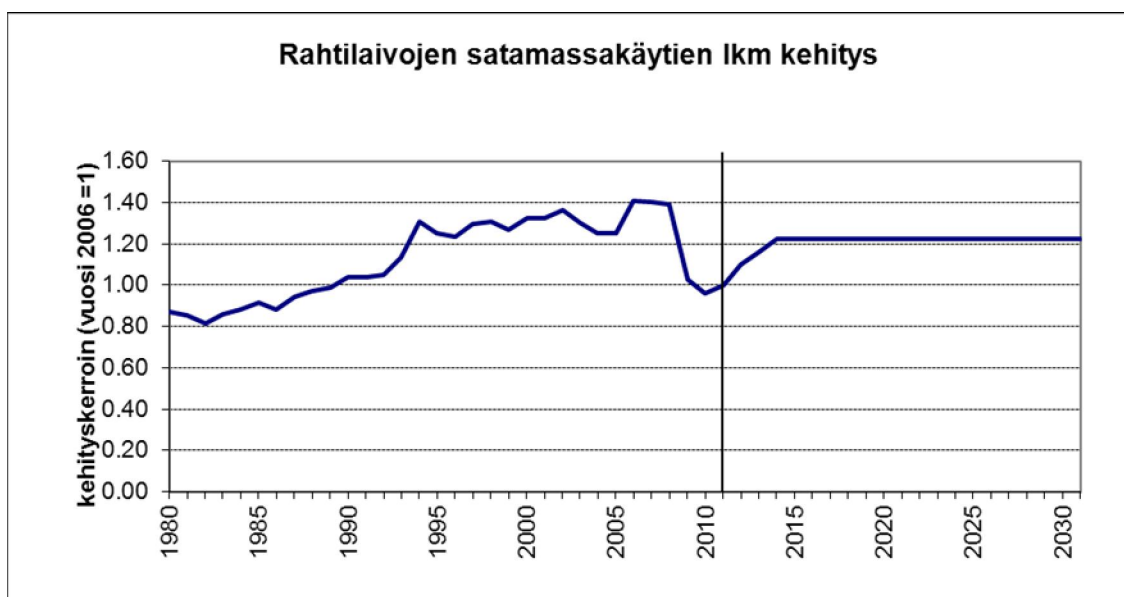
Tamminen Jaana. Suomen laivaliikenteen rikin ja typen oksidien päästöt sekä päästöjen vähentämismahdollisuudet. Helsinki 1992. Ympäristöministeriö Ympäristönsuojeluosasto selvitys 99 1992.

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

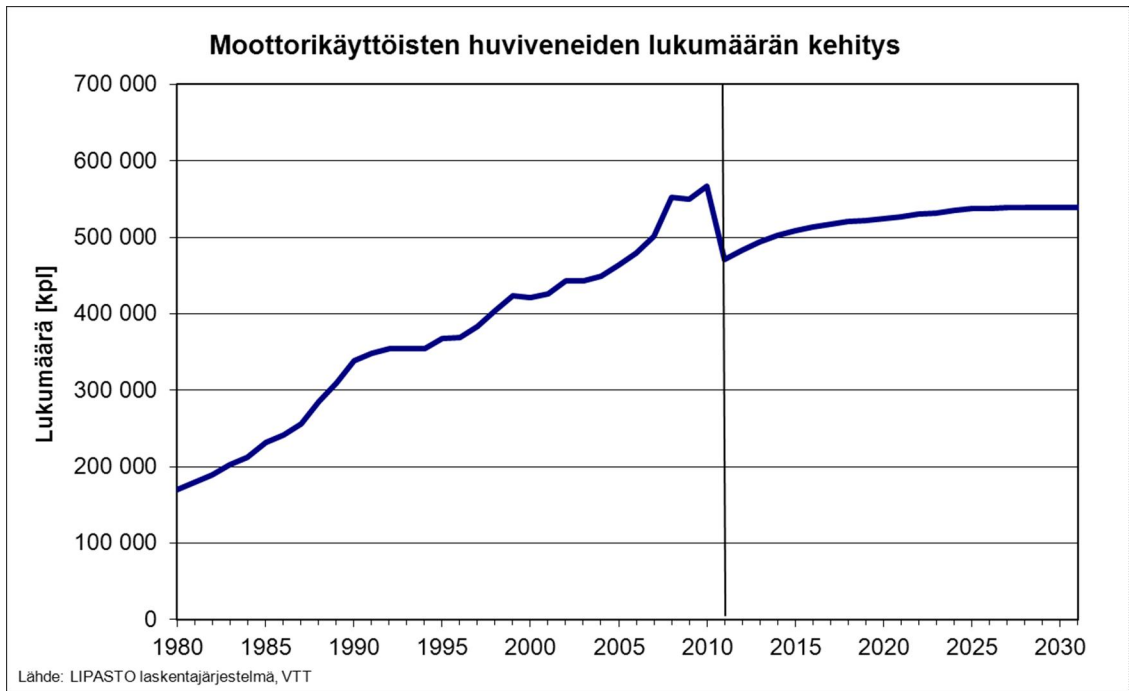
Laivaliikenteen satamassakäyntien kehityskertoimet on esitetty erikseen rahtilaivoille (kuva 1) ja matkustajalaivoille (kuva 2). Perusvuoden 2011 arvo on 1.0. Huviveneiden päästöjen laskenta perustuu niiden lukumäärään, joten myös kehityskerroin koskee lukumäärää (kuva 3). Jäänmurtajien päästölaskennan perusta on polttonesteen kulutus. Kehityskerroin kuvaa siis polttonesteen kulutusta vuoteen 2011 verrattuna. Kalastus- ja työveneiden suoritteiden ennusteina on käytetty rahtilaivojen suoritteiden kehityskertoimista. Kertoimien ennusteet perustuvat Merenkulkulaitoksen, suurimpien varustamojen (matkustajalaivat) ja Maa- ja metsätalousministeriön arvioihin.



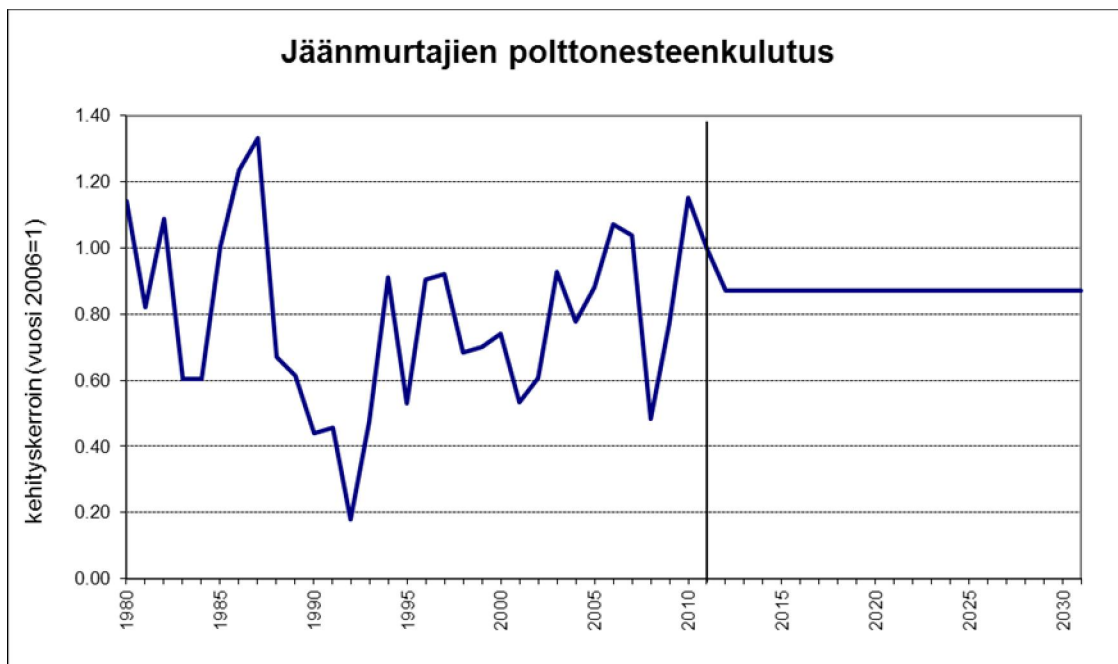
Liite A kuva 1. Rahtilaivojen satamassakäyntien kehityskerroin



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 2011 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

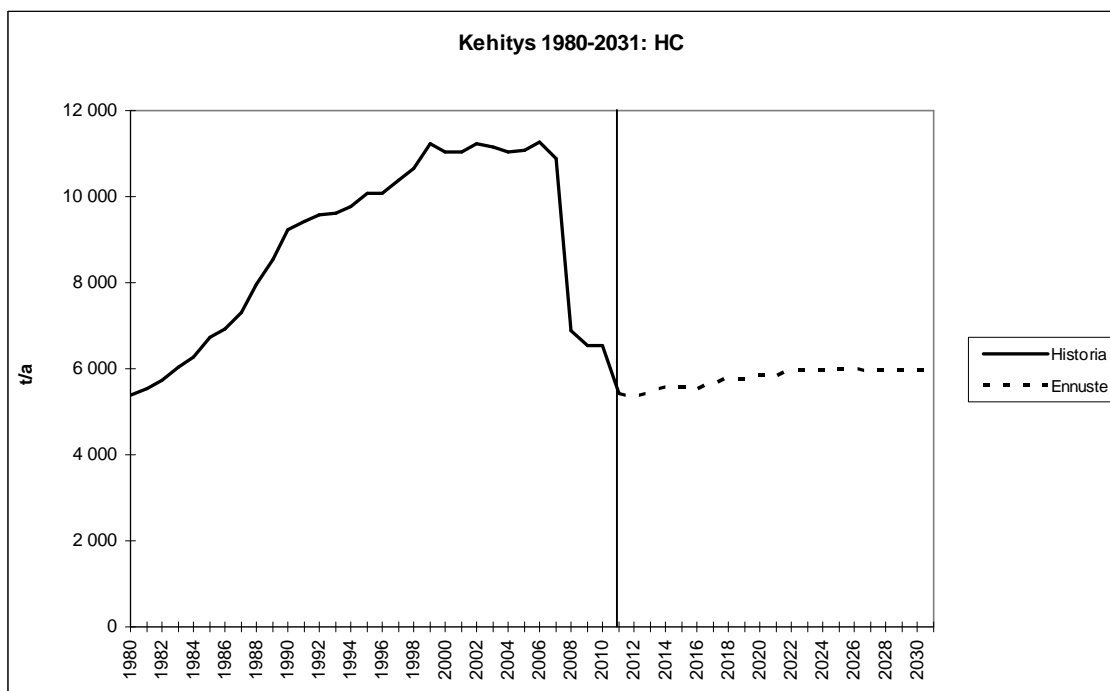
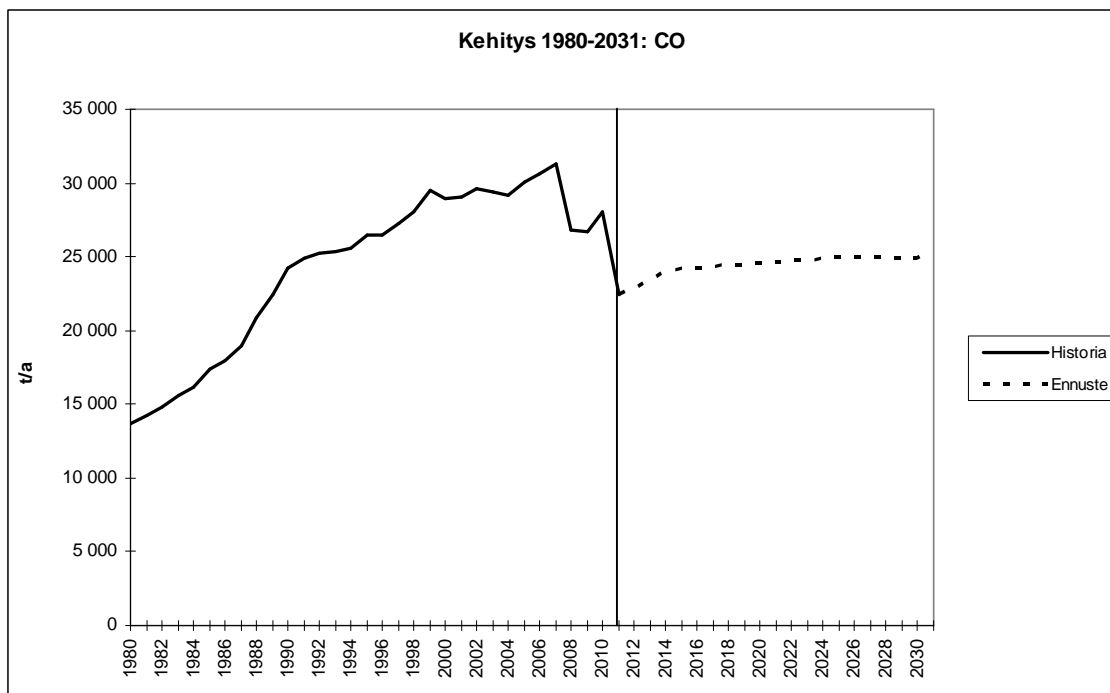
Moottorityyppi	kuormitus	MARITERM	LLOYD'S	MARITEK	WÄRTSILÄ	
		g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	
2-tahti	80 %	0.8	0.4		0.3	0.4
	20 %	1.3	0.5		0.5	0.5
4-tahti	80 %	0.2	0.6	0.48	0.35	0.4
	20 %	0.4	0.9	0.44	0.55	0.5

PM

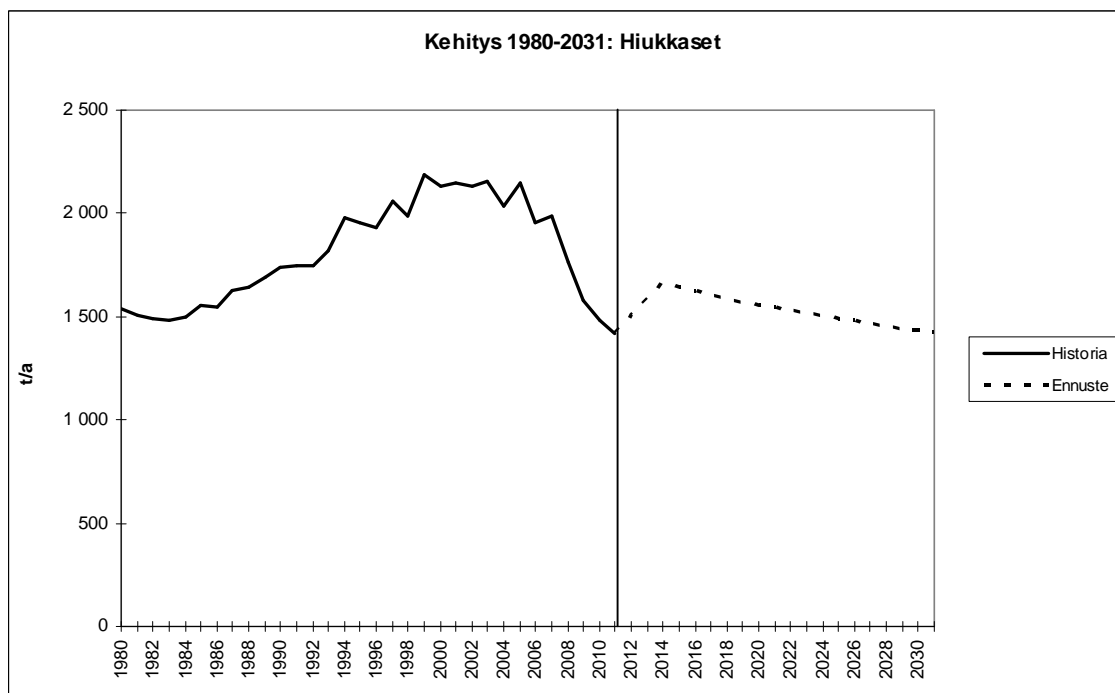
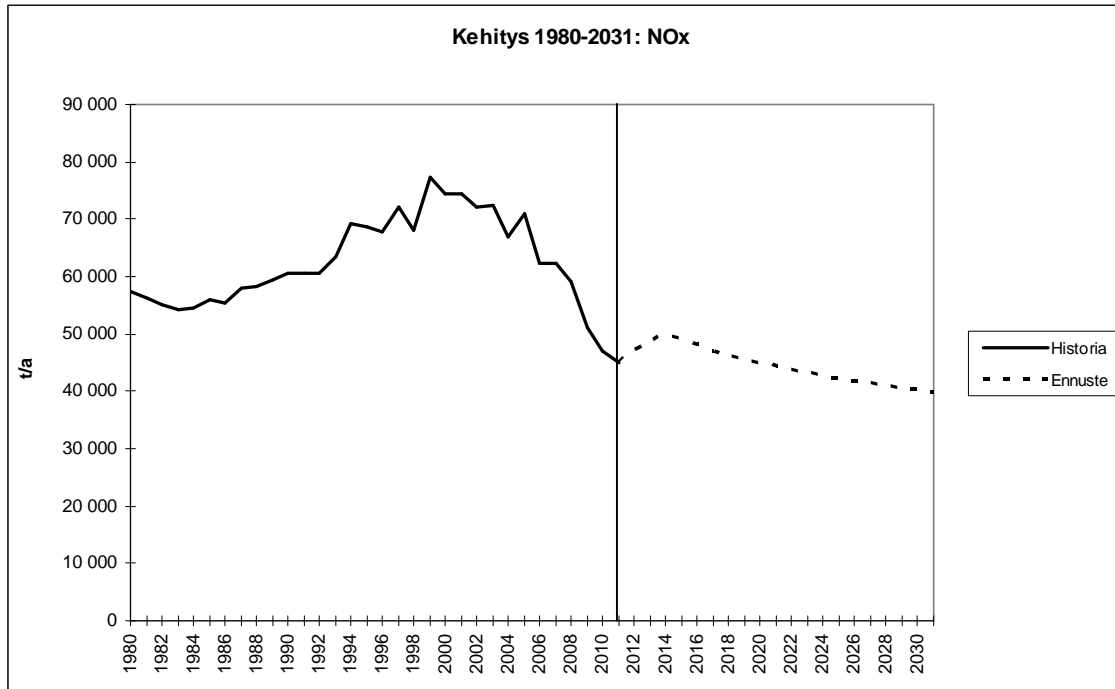
Moottorityyppi	kuormitus	MARITERM	LLOYD'S	MARITEK	WÄRTSILÄ	
		g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	
2-tahti	80 %	0.9			0.25	0.5
	20 %	0.9			0.3	0.6
4-tahti	80 %	0.4		0.22	0.25	0.3
	20 %	0.6		0.12	0.35	0.4

Liite C:

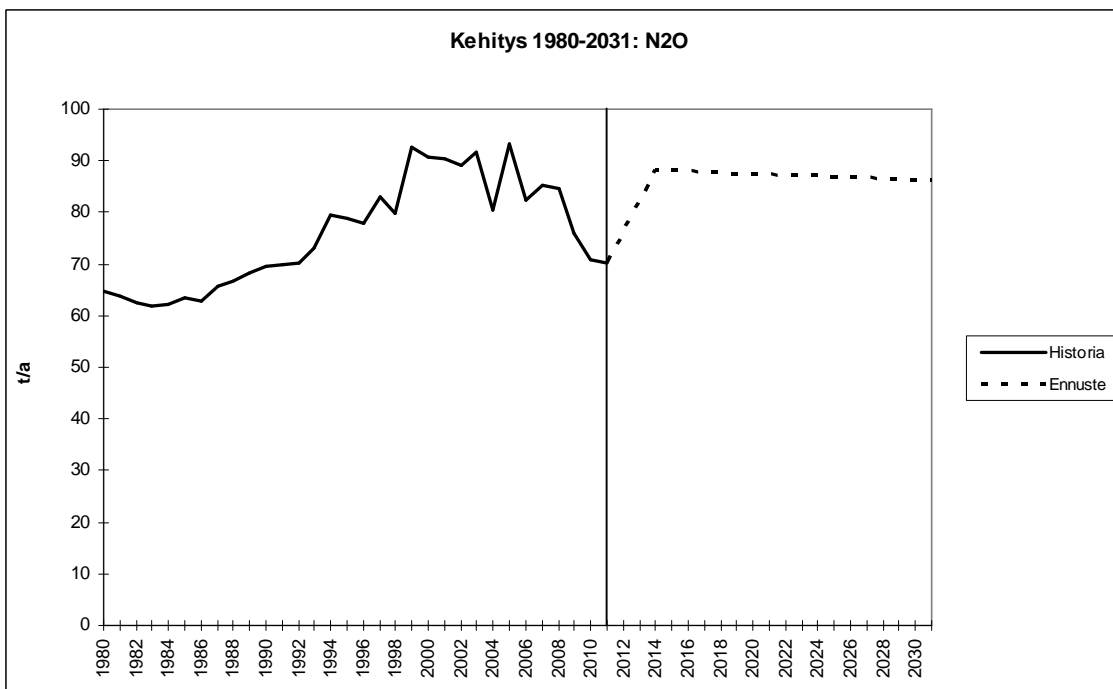
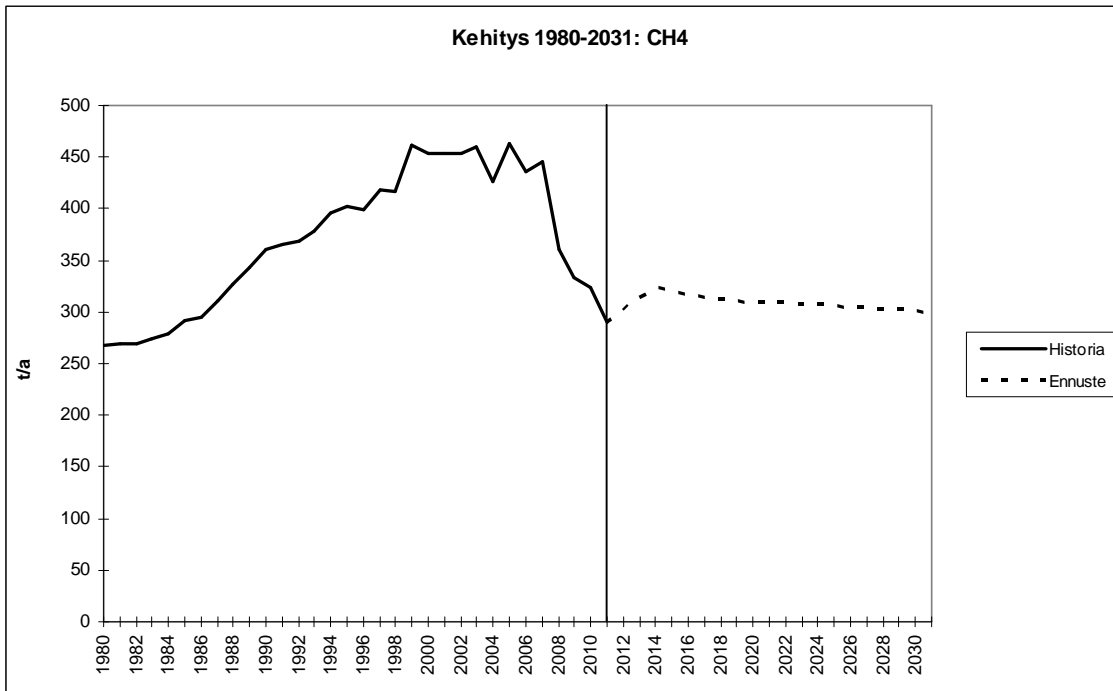
Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2011 laskentajärjestelmän mukaan



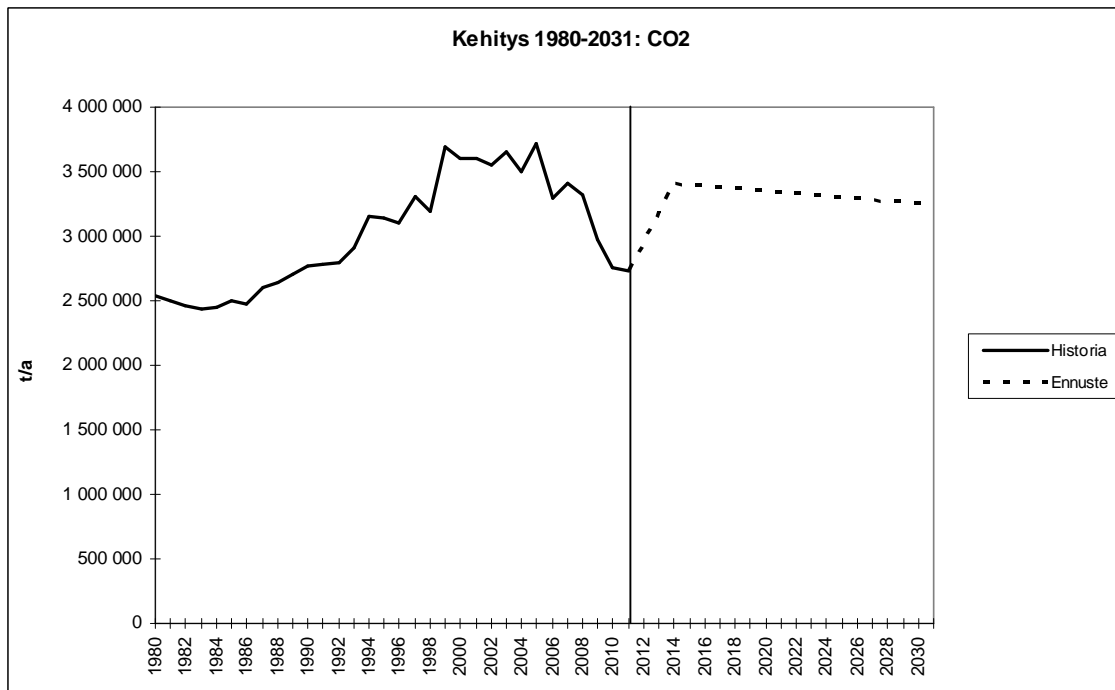
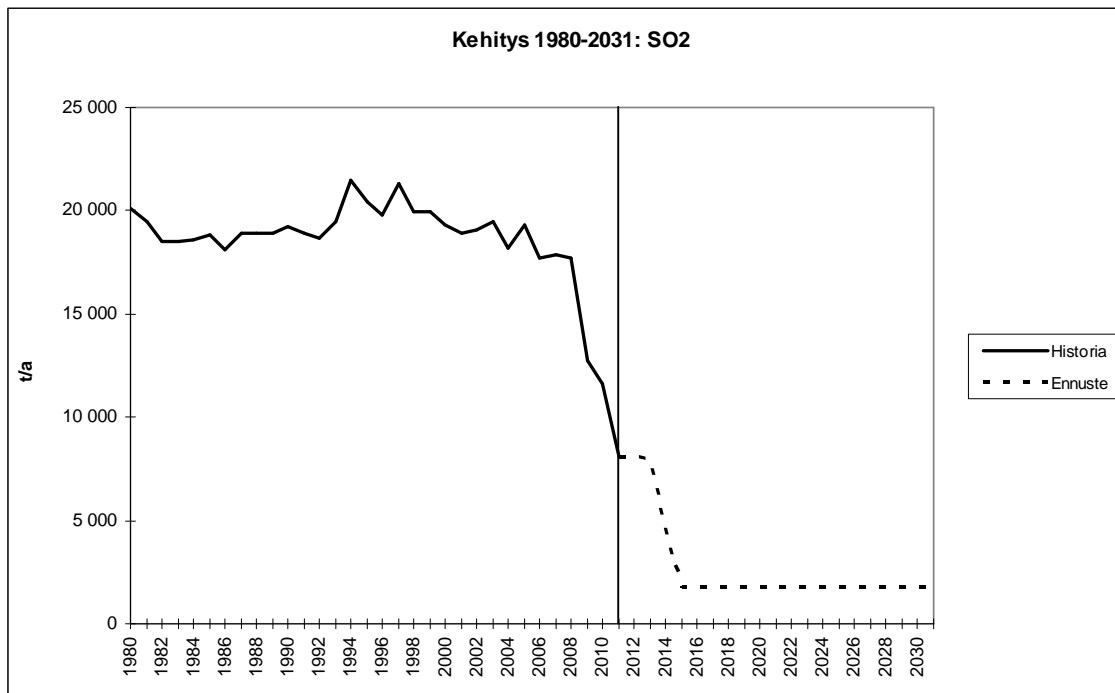
Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2011 laskentajärjestelmän mukaan



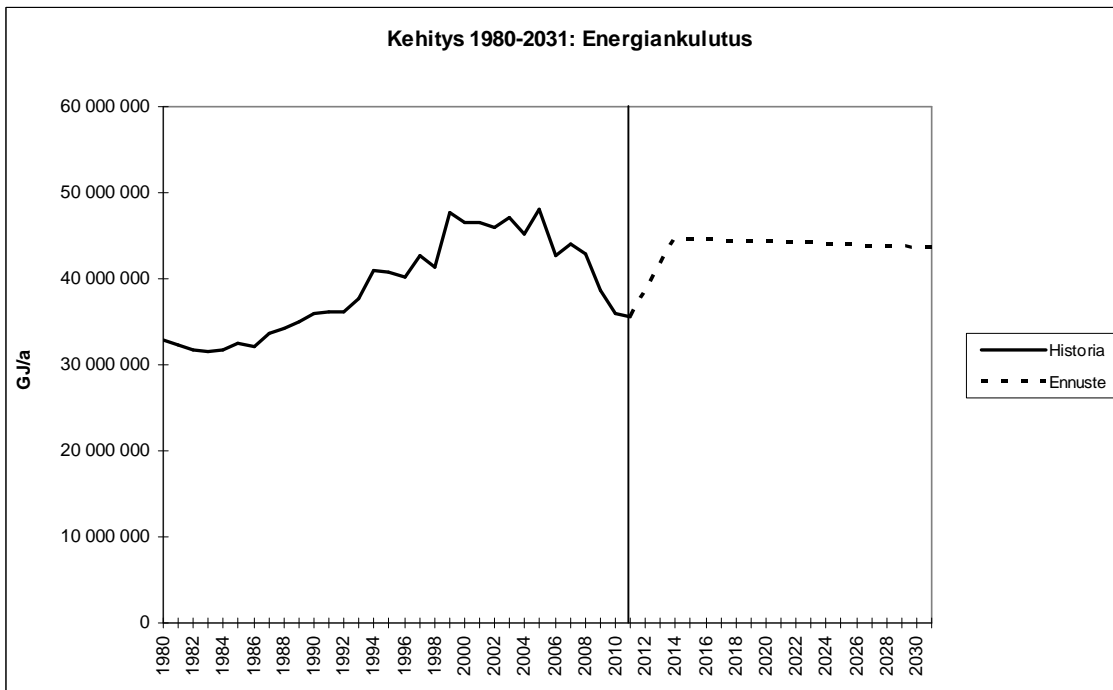
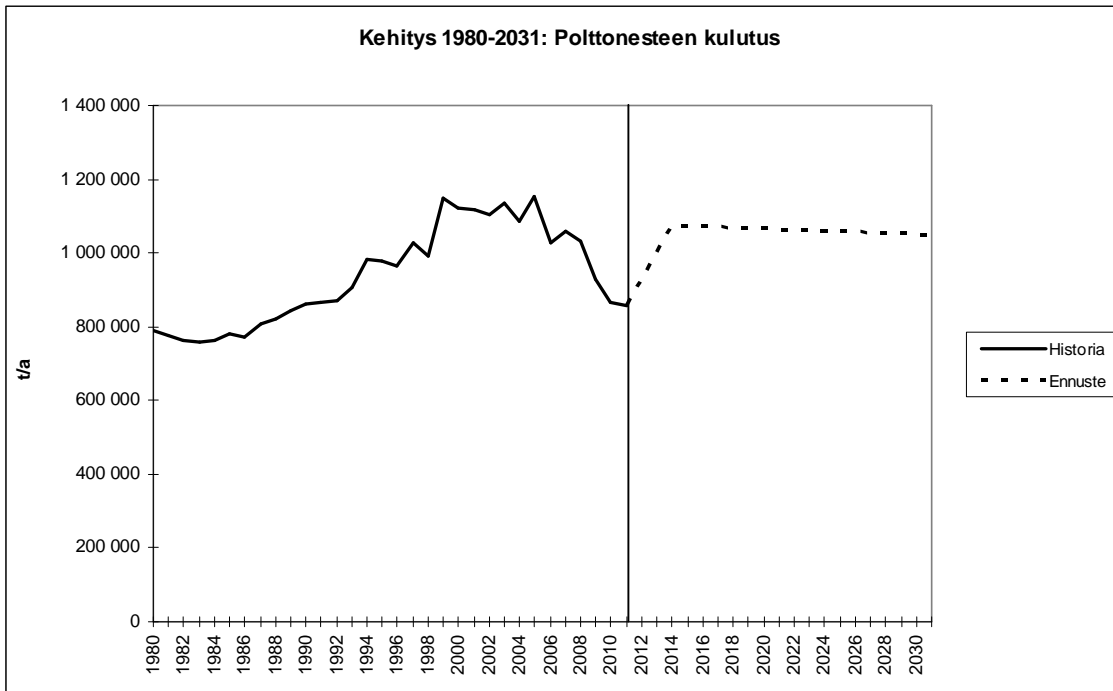
Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2011 laskentajärjestelmän mukaan



Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2011 laskentajärjestelmän mukaan

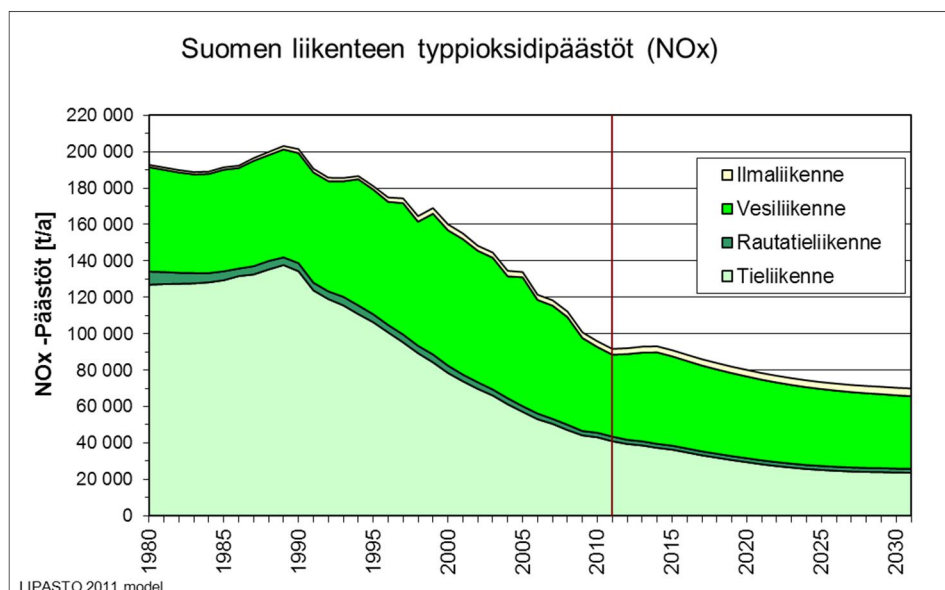
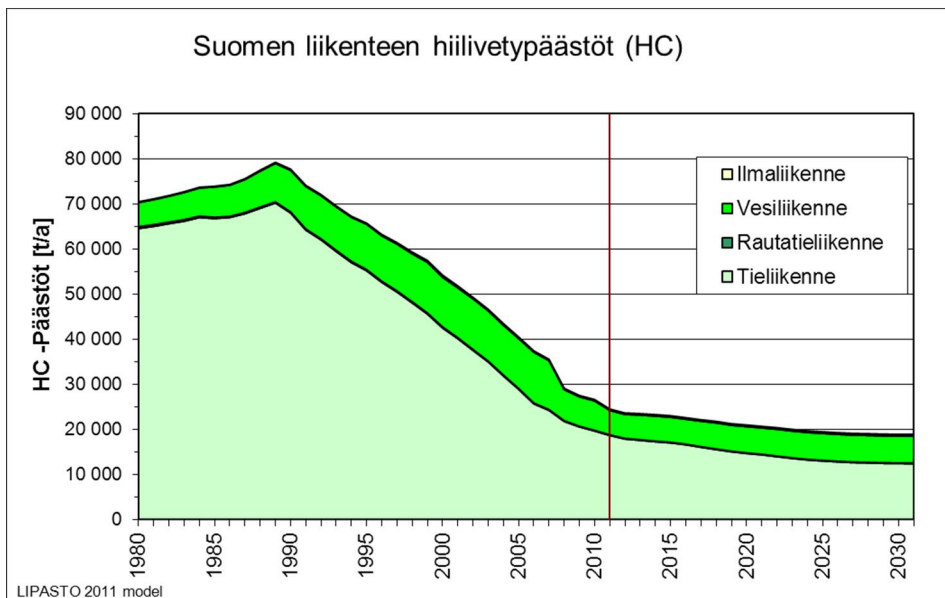
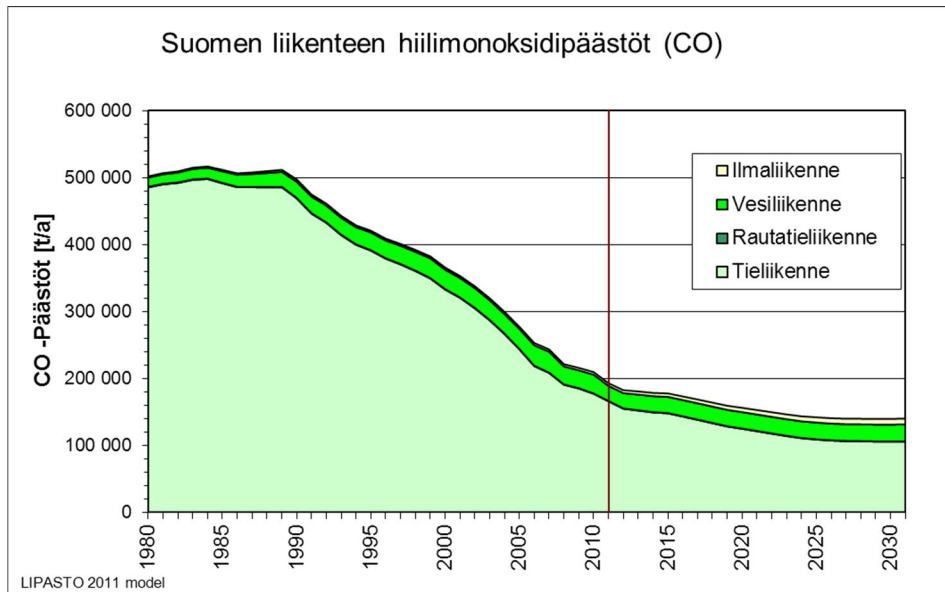


Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2011 laskentajärjestelmän mukaan

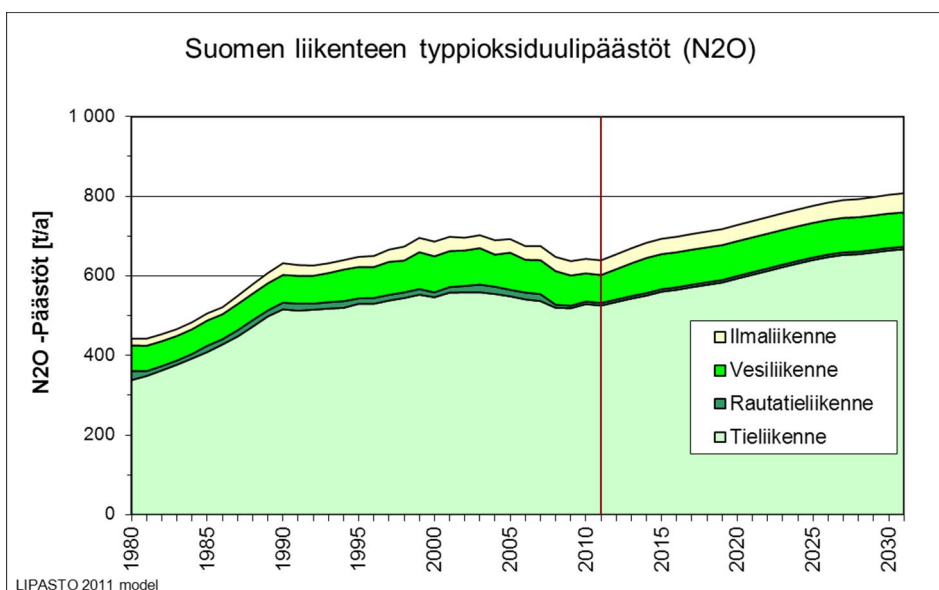
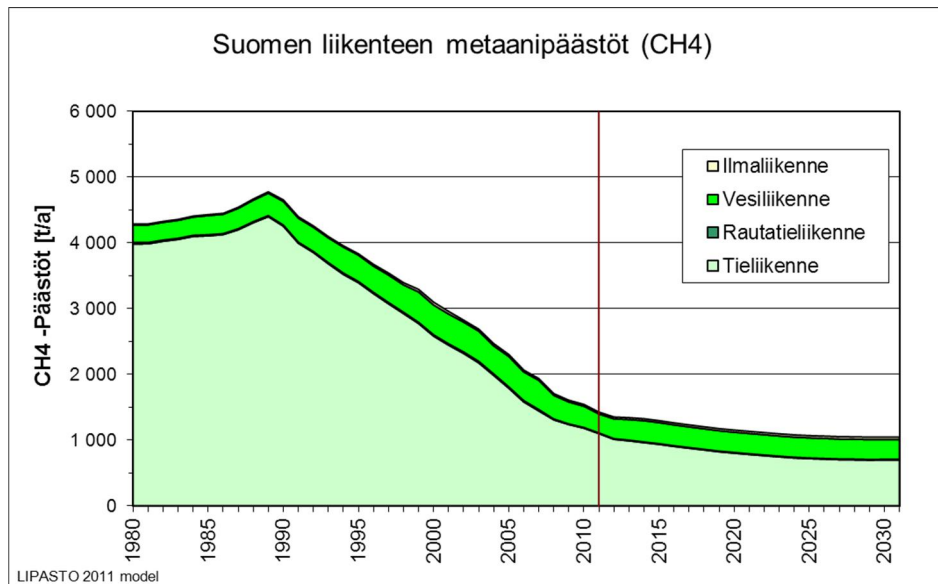
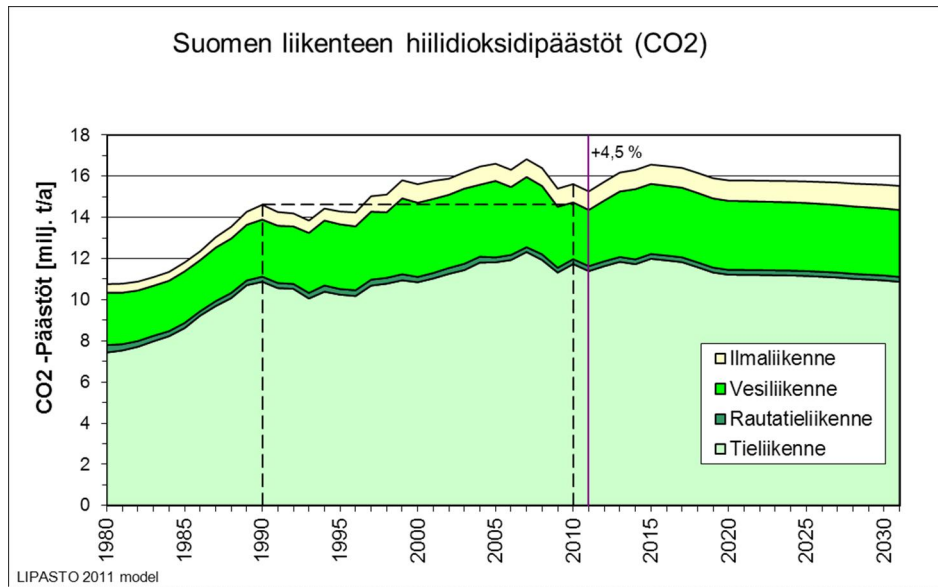


Liite D:

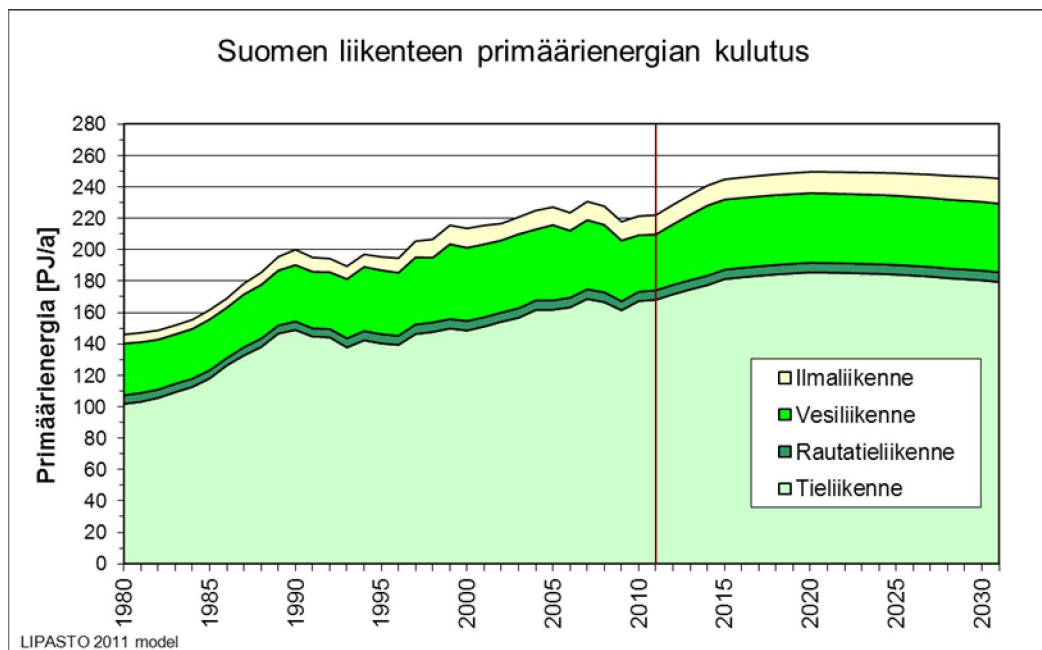
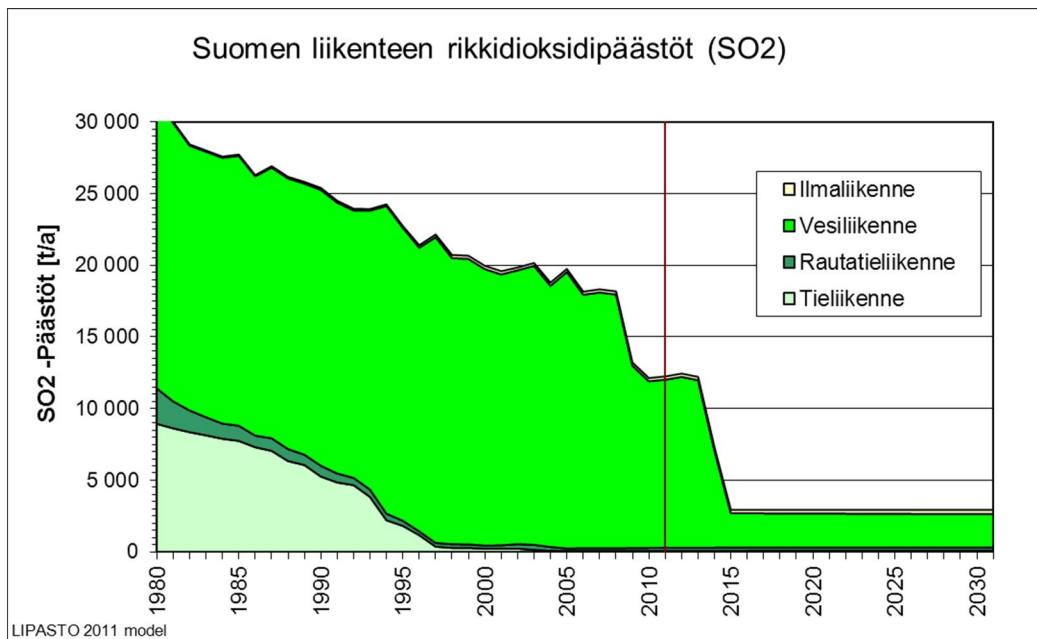
Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen arvioitu kehitys (LIPASTO 2011)⁽¹⁾



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



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



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