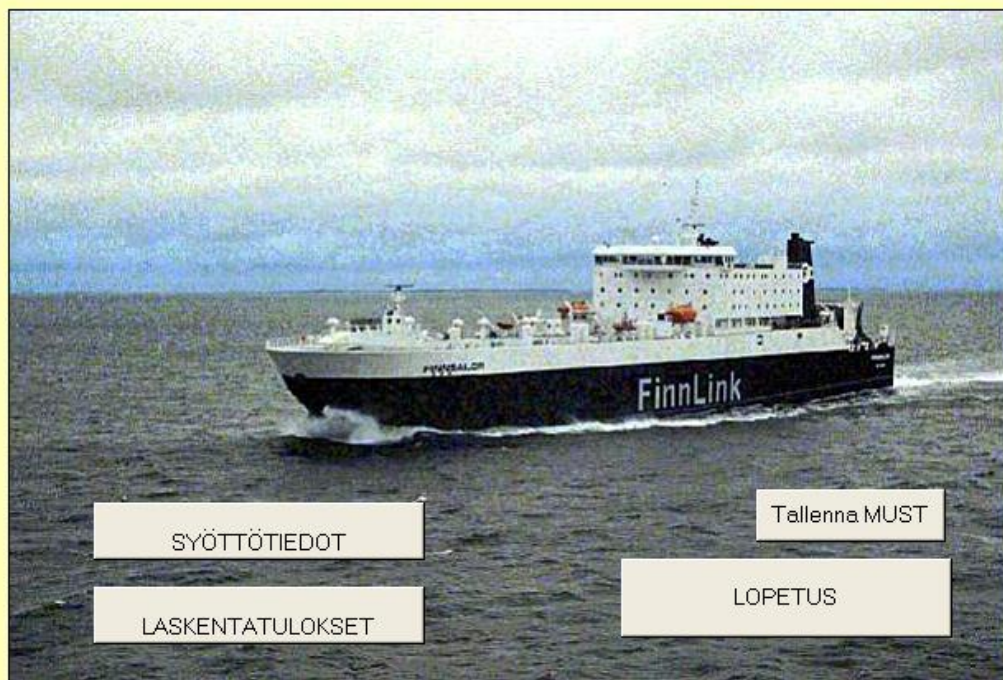


**MEERI 2012**

Suomen vesiliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä MEERI 2012

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

Luottamuksellisuus: Julkinen



Raportin nimi Suomen vesiliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä MEERI 2012	
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Tilastokeskus, Kari Grönfors Liikenne- ja viestintäministeriö, Saara Jääskeläinen	Asiakkaan viite
Projektin nimi LIPASTO 2012	Projektin numero /lyhytnimi 83210 LIPASTO 2012
Raportin laatija(t) Kari Mäkelä	Sivujen/ liitesivujen lukumäärä 34 / 11
Avainsanat	Raportin numero VTT-R-06357-13
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 2012 tiedoilla päivitettyä versiota MEERI 2012. Projekti kuuluu osana LIPASTO 2012 -laskentajärjestelmään, jossa selvitetään kaikkien liikennemuotojen päästöt Suomessa. MEERI 2012 -projektissa valmistui tämän raportin lisäksi tietokoneohjelma MEERI 2012. Malli laskee vesiliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna 2012. 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 2032.</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 2012 -laskentajärjestelmä on tarkoitettu lähinnä Liikenne- ja viestintäministeriön, Liikenneviraston ja VTT:n käyttöön. Tietoa LIPASTO 2012 ja MEERI 2012 -laskentajärjestelmistä on nähtävissä VTT:n internetsivulla: http://lipasto.vtt.fi</p> <p>Suomen vesiliikenteen aiheuttamat päästöt Suomen talousalueella vuonna 2012 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 19 700, hiilivetyjä (HC) 4 600 t, typen oksideja (NO_x) 42 500 t, hiukkasia 1 340 t, metaania (CH₄) 265 t, typpioksiduulia (N₂O) 68 t, rikkidioksidia (SO₂) 7 800 t ja hiilidioksidia (CO₂) 2 620 000 t. Polttonesteitä kulutettiin yhteensä 823 000 t ja kokonaisenergiankulutus oli 34,3 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 16.9.2013	
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/meeri2012raportti.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 2012	
Customer, contact person, address Statistics Finland, Kari Grönfors Ministry of Transport and Communications, Saara Jääskeläinen	Order reference
Project name LIPASTO 2012	Project number/Short name 83210 LIPASTO 2012
Author(s) Kari Mäkelä	Pages 34 / 11
Keywords	Report identification code VTT-R-06357-13
<p>Summary</p> <p>MEERI 2012 is a sub model of the calculation system LIPASTO 2012 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 2012. 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 2012. 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, September 16 th 2013	
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/meeri2012raportti.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 2012 on kaikkien liikennemuotojen LIPASTO 2012 laskentajärjestelmän alamalli. Koko LIPASTO 2012 -laskentajärjestelmän (ml. alamallit) päivityksen on rahoittanut Tilastokeskus laskentavuoden 2012 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 kuormittava 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 2012 tiedoilla päivitetystä laskentajärjestelmästä MEERI 2012. 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.

Vuonna 2013 MEERI laskentajärjestelmä uudistetaan perusteellisesti ja muutoksia on paljon.

2 Laskentamallin rakenne

2.1 Yleistä

MEERI 2012 -laskentajärjestelmän perustan muodostavat satamien liikennöintitiedot. Järjestelmä laskee vesiliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna (2012) 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 1996–2012 sekä ennusteet vuodesta 2013 vuoteen 2032.

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

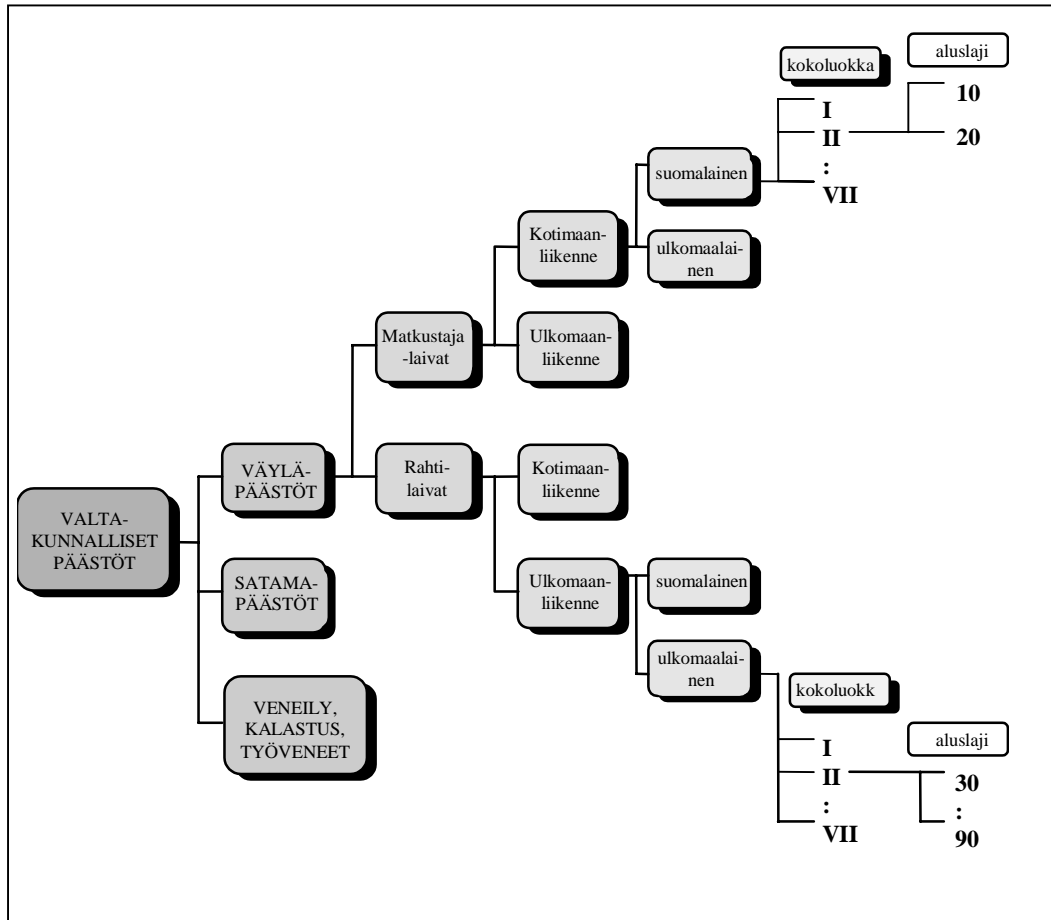
2.2 Valtakunnallinen laskenta

2.2.1 Rakenne

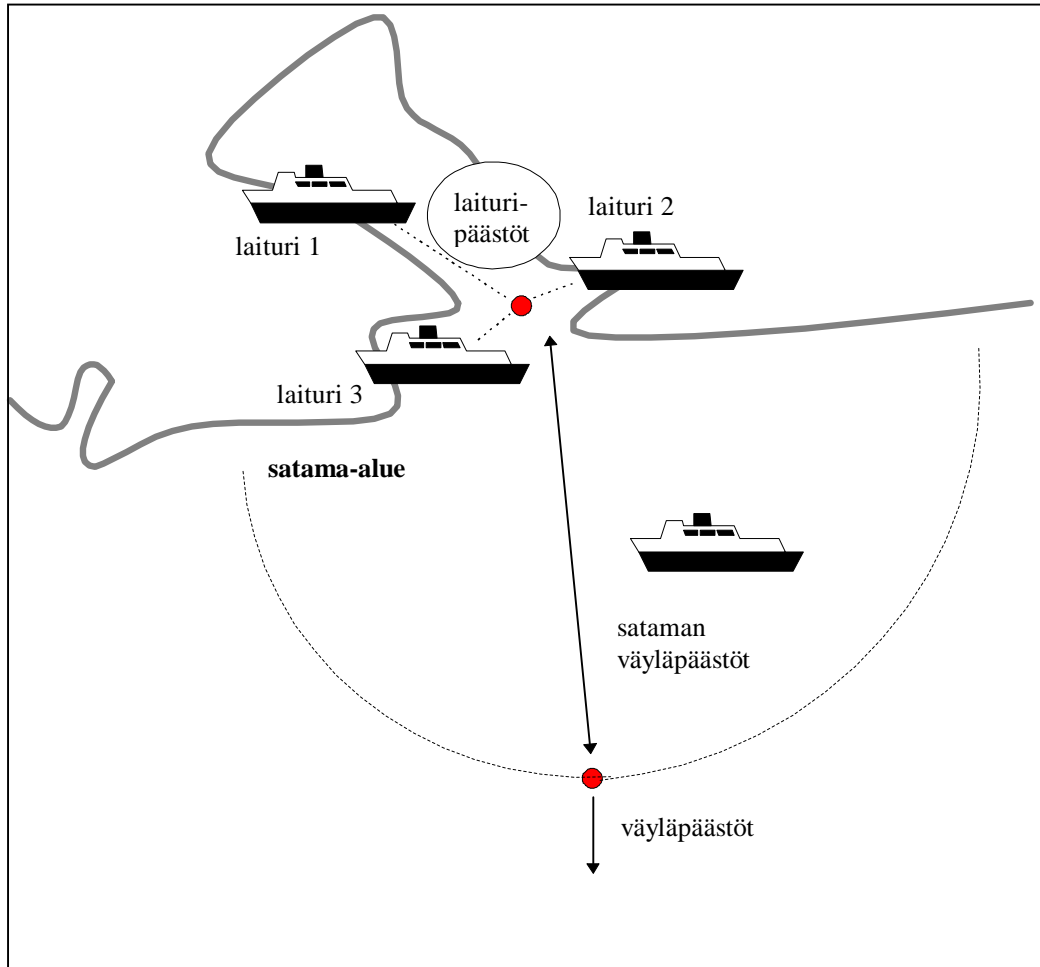
Valtakunnallinen laskenta koostuu kahdesta osasta: **satamapäästöistä** ja **väyläpäästöistä**. Satamapäästöihin lasketaan kuuluviksi kaikki laivojen satama-alueella aiheuttamat päästöt (sekä liikkeessa että seisona-aikana laiturissa), väyläpäästöihin kaikki väylällä ajon aikana aiheutetut päästöt. Veneliikenteen, kalastusalusten ja -veneiden, työalusten ja -veneiden, risteilyalusten, lauttojen ja lossien sekä jäämurtaajien päästöt on laskettu omana kokonaisuutenaan. Työaluksiin ja -veneisiin on laskettu kuuluvaksi mm. Liikenneviraston väylä-, mittaus- ja yhteysalukset, rajavar-tiolaitoksen ja tullilaitoksen alukset sekä Suomen Meripelastusseuran alukset. Risteilyaluksilla tarkoitetaan tässä kesäisin sightseeing-tyyppisessä ajossa olevia aluk-sia. 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 seisona-aikana laiturissa. Satamaväylällä liikennöintiin (sisääntuloväylien nopeusrajoitusjaksot + satamamanööverit) kuluva ajaksi on kaikkien laivojen osalta käytetty sekä lähtö- että saapumistilanteessa 20 minuuttia. Näiden aikojen osalta pääkoneis-toa on kaikilla laivatyypeillä oletettu käytettävän 20 % kuormituksella. Apukoneis-toa on oletettu käytettävän 80 % kuormituksella. Seisona-aikana laiturissa on apu-koneistoa oletettu käytettävän 60 % teholla, paitsi kokoluokassa VII, jossa käytettä-väksi tehoksi on arvioitu 80 %. Rahtilaivojen seisona-ajat laiturissa on määritelty ruotsalaisen tutkimuksen perusteella (Alexandersson et al. 1993). Ajat vaihtelevat kokoluokasta ja laivatyyppistä riippuen 43 tunnista 13 tuntiin. Matkustajalaivojen keskimääräiseksi seisona-ajaksi on oletettu 7 tuntia. Satamapäästöt on saatu kerto-malla energiankulutukset laiturissa ja satamaväylällä koneistojen kuormituksia vas-taavilla 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).

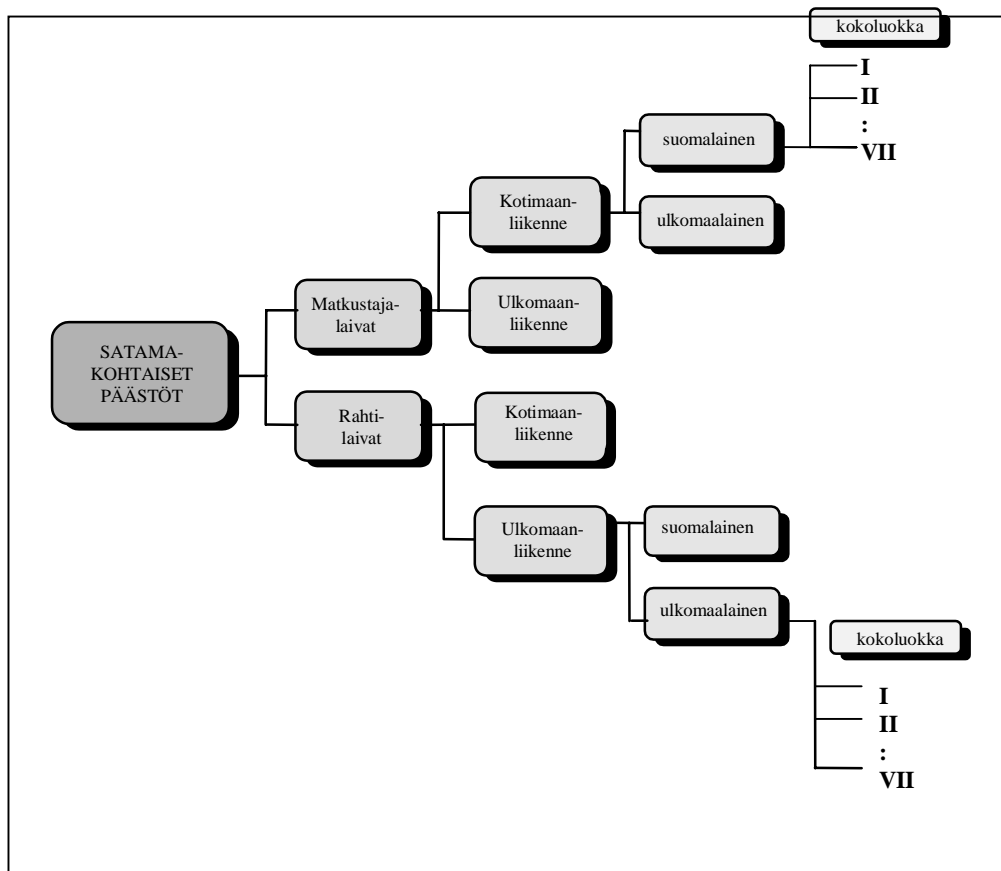
Lukumäärät on saatu moottoriveneiden osalta venerekisteristä. Kalastusalusten lukumäärä perustuu maa- ja metsätalousministeriön kalastusalusrekisteriin, jonka on aluskohtaisia tietoja on nähtävissä EU:n sivuilla. Työveneiden ja -alusten lukumää-

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, Liikenneviraston 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. Jäänmurtajien 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 jäänmurtajien päästöt eivät sisälly satamakohtaiseen laskentaan. Kuvassa 3 on esitetty laivaliikenteen jaottelu satamakohtaisessa laskennassa.



Kuva 3. Laivaliikenteen jaottelu satamakohtaisessa laskennassa.

2.4 Aikasarjat ja ennusteet

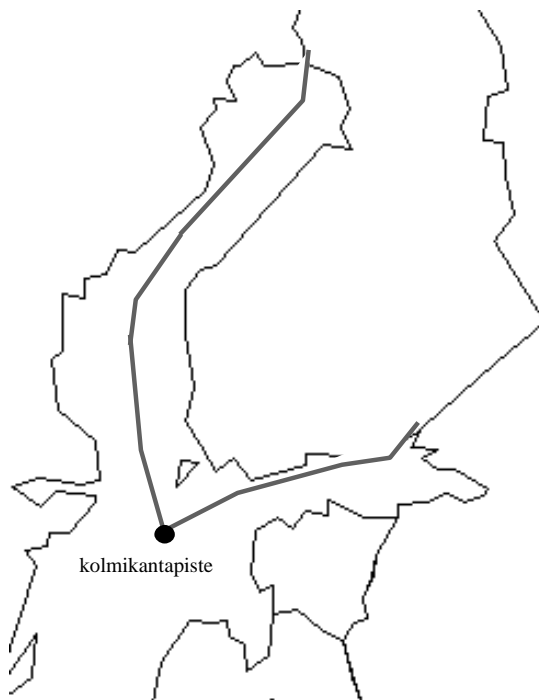
Laskentajärjestelmä laskee perusvuoden 2012 lisäksi pakokaasupäästöt vuosilta 1980-2012 sekä ennustevuosilta 2013-2032. Sekä kuluneiden vuosien että ennustevuosien laskenta perustuu kehityskertoimiin, joilla perusvuoden pakokaasujen määrää korjataan. Suoritteiden kehityskerroin kuvaa laivojen satamassakäyntien määrää perusvuoteen 2012 verrattuna. Aikasarjojen päästökertoimien kehityskertoimet (kullekin yhdisteelle omansa) kuvaavat päästökertoimien arvoja perusvuoden 2012 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 2012 -järjestelmässä menetelty seuraavasti.

MEERI 2012 -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 2012 yhteensä n. 76 000 liikennöintitapahtumaa. Tilastoissa on mukana kaikkiaan n. 80 satamaa. MEERI 2012-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 2012 syöttötietojen laskennassa.

Kaikkien Suomen satamien yhteenlaskettu satamassakäyntien lukumäärä vuonna 2012 oli 28 700 kpl. Tästä 12 % oli kotimaanliikennettä ja 88 % ulkomaanliikennettä. Rahtilaivojen osuus kaikista satamassakäynneistä oli 57 % ja matkustajalaivojen 43 %. Rahtiliikenteestä kotimaanliikennettä oli 16 %.

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 2012 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 2012 arvioitu määrä on 497 500 kpl (liite A, kuva 3). Venerekisterissä olevien veneiden 181 000 kpl lisäksi arvioidaan olevan noin 316 000 rekisteröimätöntä moottorivenettä (alle 20 hv). Kalastusalusten ja -veneiden lukumäärä vuonna 2012 oli 3 223 kpl. Tulliveneiden, rajavartiolaitoksen alusten, Liikenneviraston alusten sekä Suomen Meripelastusseuran alusten yhteenlaskettu lukumäärä oli 135 kpl. Näiden lisäksi muita työvenettä ja työaluksia on arvioitu olevan 1 800 kpl.

Jäänmurtajien päästöjen laskenta perustuu niiden polttonesteen kulutukseen. Suomessa oli vuonna 2012 käytössä yhdeksän jäänmurtajaa, joiden polttonesteenkulutus oli yhteensä 18 900 tonnia (Arctia Shipping).

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 2012 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.

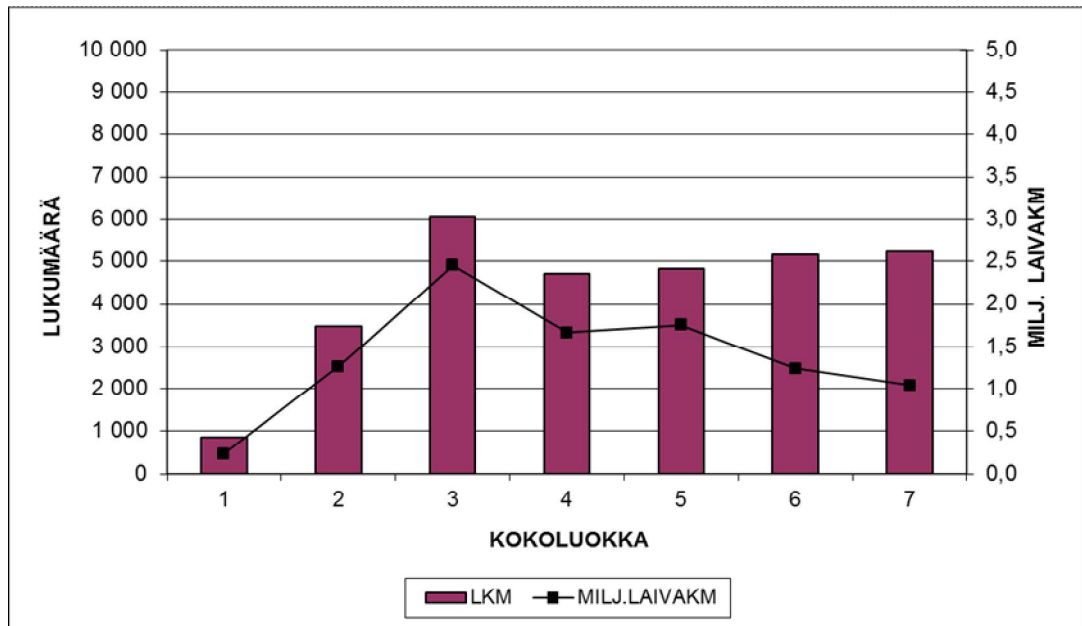
Taulukko 1. Rahtilaivojen jako luokkiin bruttorekisteritonniin perusteella 2012.

Luokka	BRT	Teho (kW)	Apuk. teho (kW)	Nop. (80% teholla) km/h
1	300-999	1 338	230	20,9
2	1 000-2 499	1 203	346	20,4
3	2 500-4 499	2 587	520	24,5
4	4 500-7 999	5 093	786	28,5
5	8 000-11 999	9 117	1 122	32,0
6	12 000-20 999	11 736	1 447	34,0
7	>21 000	18 345	1 770	37,0

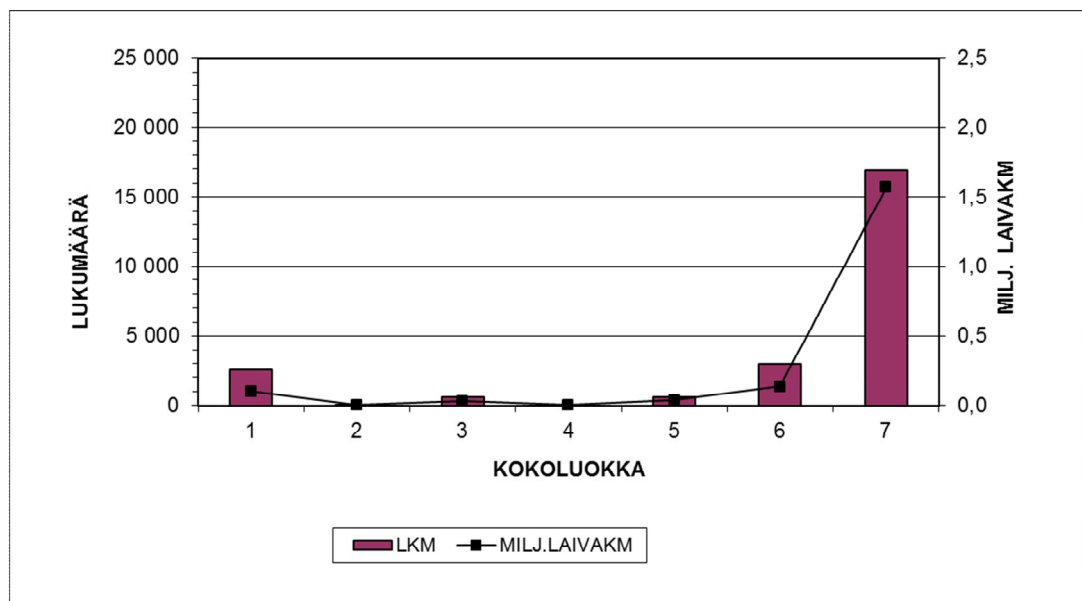
Taulukko 2. Matkustajalaivojen jako luokkiin bruttorekisteritonniin perusteella 2012.

Luokka	BRT	Teho (kW)	Apuk. teho (kW)	Nop. (80% teholla) km/h
1	300-999	7 996	230	66,2
2	1 000-2 499	1 324	346	25,9
3	2 500-4 499	2 802	520	28,7
4	4 500-7 999	7 376	786	34,1
5	8 000-11 999	10 404	1 122	28,6
6	12 000-20 999	14 806	1 447	38,3
7	>21 000	32 596	1 770	41,1

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 2012 kokoluokittain.



Kuva 6. Matkustajalaivojen satamassakäyntien lukumäärä ja laivakilometrit vuonna 2012 kokoluokittain.

3.2.3 Tietokantojen luonti

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

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

Taulukko 3. Esimerkki 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. Esimerkki perämoottoriveneiden tietokannasta (huvivenemalli).

Teho (kW)	keskim. teho	tehon-käyttö (%)	lkm bens. 2-tahti	lkm bens. 4-tahti	lkm diesel
<15	10	50	2 249	4 178	36
15-30	22.5	50	7 347	13 644	73
31-40	35	50	8 516	15 815	37
41-50	45	50	8 875	16 481	24
51-60	55	50	4 219	7 834	9
61-70	65	50	1 767	3 281	8
71-80	75	50	1 581	2 936	4
81-90	85	50	2 545	4 727	8
91-100	95	50	1 075	1 996	4
>100	120	50	4 625	8 590	107

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

Teho (hv)	lkm
<50	1893
50-100	680
100-200	393
>200	257
YHT:	3223

3.2.4 Liikennöintimäärien kehitys

Rahti- ja matkustajalaivojen satamassakäyntien määrän kehitys on arvioitu vuoteen 2032 asti. Lähiajan laman vaikutuksesta ei ole mikään taho tehnyt virallista arvioita ja se perustuu VTT:n karkeaan arvioon. Vuosien 1980–2012 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 2032 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 2032.

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 392 g/kWh 2-tahtimoottoreilla, 260 g/kWh 4-tahtimoottoreilla ja 220 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 (sää, 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	15
Perämoottoriveneet, yli 20 hv	21
Sisäperämoottoriveneet	18,5
Sisämoottoriveneet	50
Vesisuihkumoottoriv.	26
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. 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 2012 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 0,85 % vuonna 2012 ja matkustajalaivoilla 0,24 % (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 dieselkoneita. 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 2012) 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 2012 mallissa (polttoaineiden käytön määrällä painotettuna).

Yhdiste	Rahtilaivat keskimäärin	Matkustajalaivat keskimäärin
Rikkipitoisuus [paino-%]	0,85	0,24
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 matkustajalaivoissa 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 2012 käyttäneen dieselpolttoöljyä (mm. erittäin alhainen rikkipitoisuus). Hiilidioksidipäästöt on suhteutettu kulutukseen. Jäänmurtaajille on käytetty rahtilaivoille määritettyjä päästökertoimia.

Taulukko 11. Rahtilaivojen typen oksidien päästökertoimet kokoluokittain vuonna 2012 (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 2012.

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.)
nopeakiepp. 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 2032 asti. Päästökertoimien arvot vuodelta 1996 ovat perusarvoja. Vuosittaisen päivityksen yhteydessä kaikkien yhdisteiden perusvuoden (tässä tapauksessa 2012) 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 2012: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	0,798	0,798	0,900	1,000	
2012	1,000	0,894	0,786	0,786	0,786	0,894	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	
2012	0,550	0,550	0,405	0,762	0,550	1,000	

4 Järjestelmäkuvaus

4.1 MUST malli

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

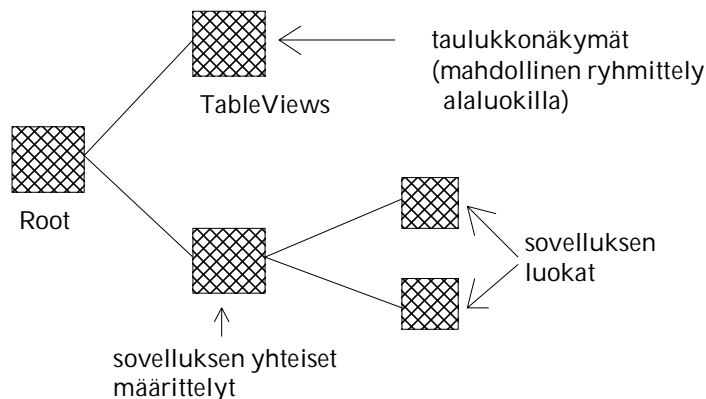
4.1.1 MUST-ohjelmistokehittimen rakenne

MUST-sovellusrakenne

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

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

Mallin perusrakenne



Mallintamisen perustyökalut

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

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

Periytyminen, perus- ja johdetut määrittelyt

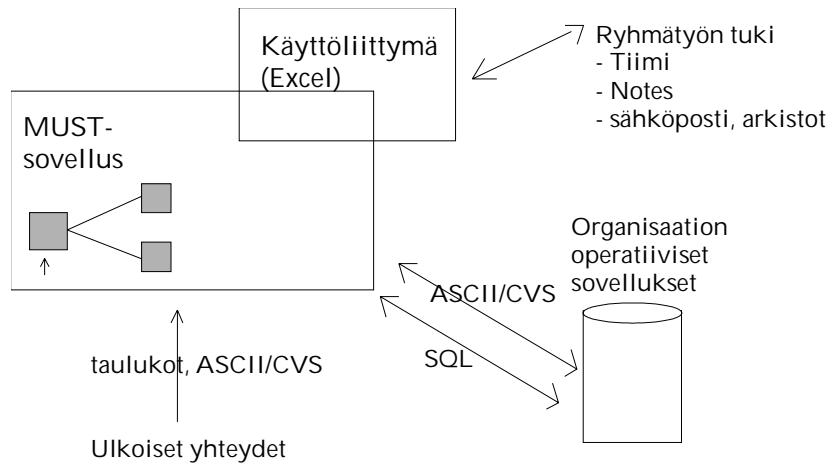
- MUSTissa luokkahierarkiassa toimii dynaaminen moniperintä
 - muutokset heijastuvat välittömästi kaikkiin alaluokkiin ja datataulukoihin
 - luokalla voi olla useampia yläluokkia
- linkin tai muuttujan määrittely on perusmäärittely (base relation, base item) silloin, kun määrittely ei ole peritty
- peritty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

Mallin komponenttien “eristäminen”, ylläpidettävyys

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

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

Koko sovellusarkkitehtuuri



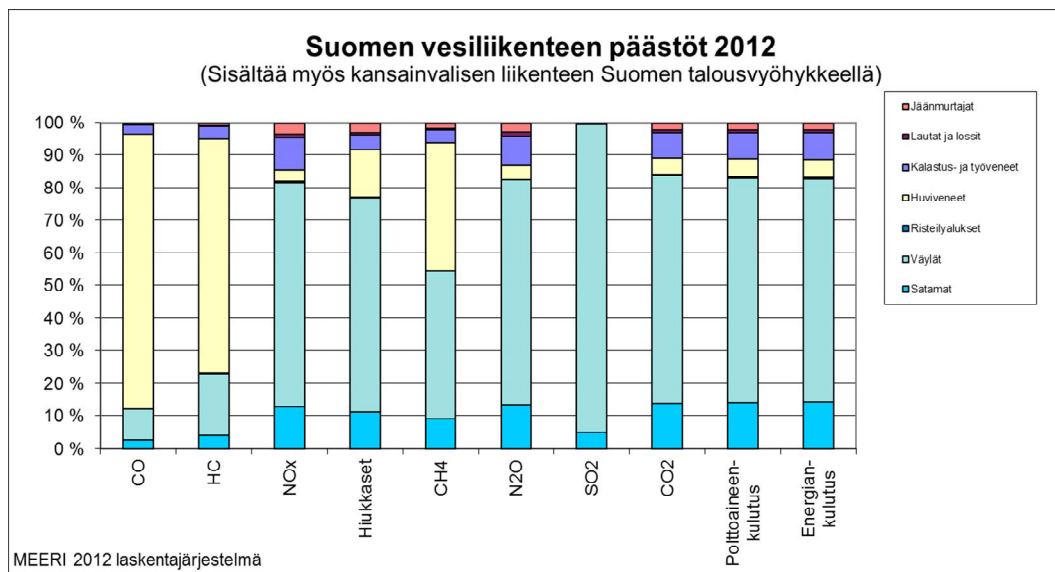
5 Laskentatulokset

5.1 Päästömäärät

Suomen vesiliikenteen aiheuttamat päästöt Suomen talousalueella vuonna 2012 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 19 700, hiilivetyjä (HC) 4 600 t, typen oksideja (NO_x) 42 500 t, hiukkasia 1 340 t, metaania (CH₄) 265 t, typpioksidia (N₂O) 68 t, rikkidioksidia (SO₂) 7 800 t ja hiilidioksidia (CO₂) 2 620 000 t. Polttonesteitä kulutettiin yhteensä 823 000 t ja kokonaisenergiankulutus oli 34,3 PJ. (taulukko 14, kuva 7).

Taulukko 14. Suomen vesiliikenteen päästömäärät 2012.

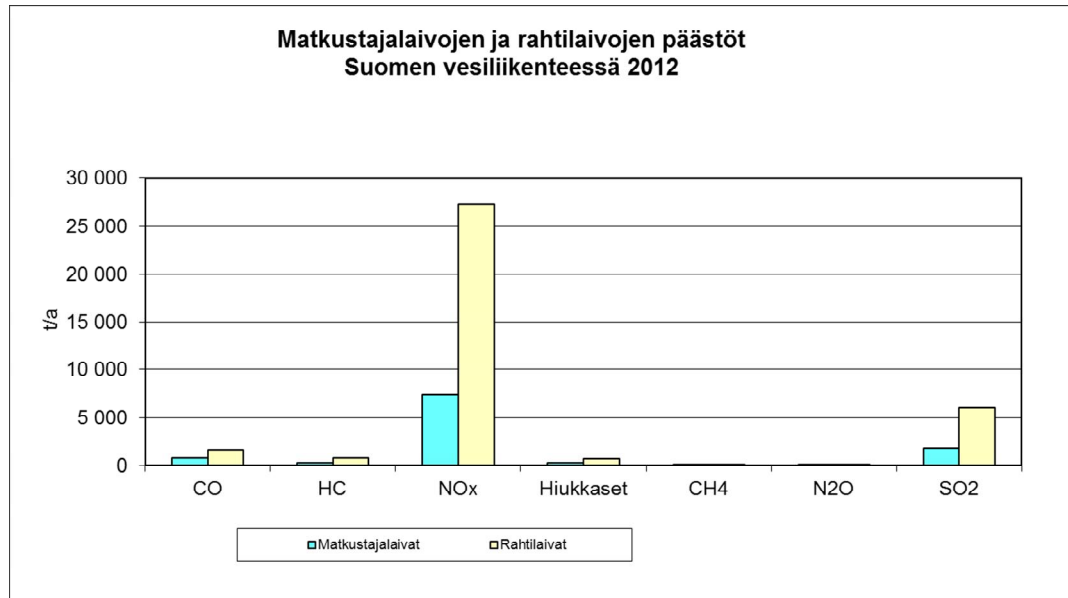
	CO	HC	NO _x	Hiuk- kaset	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂	Polttoaineen kulutus	Energianku- lutus
	t/a									GJ/a
Satamat	525	184	5 351	148	24	9	383	363 167	114 317	4 847 652
Väylät	1 821	867	29 349	878	120	47	7 393	1 833 372	568 435	23 471 766
Risteilyalukset	26	8,0	185	3,0	0,00	0,00	0,000	8 916	2 890	121 954
Huviveneet	16 612	3 285	1 407	194	103	3,0	1,0	130 049	45 133	1 930 574
Kalastus- ja työven.	588	188	4 182	63	11	6,0	1,0	201 584	65 342	2 757 421
Lautat ja lossit	72	23	511	8,0	1,0	1,00	0,00	24 646	7 989	337 120
Jäänmurtajat	57	36	1 529	43	5,0	2,0	25	61 182	18 895	784 176
Yhteensä	19 701	4 592	42 514	1 337	265	68	7 803	2 622 916	823 001	34 250 663



Kuva 7. Suomen vesiliikenteen päästösuhteet 2012.

Taulukossa 14 on mukana ulkomaanliikenne, jota ei kansainvälisissä vertailuissa yleensä lasketa kansallisiin päästömääriin. 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 kokonaispäästömäärää 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.

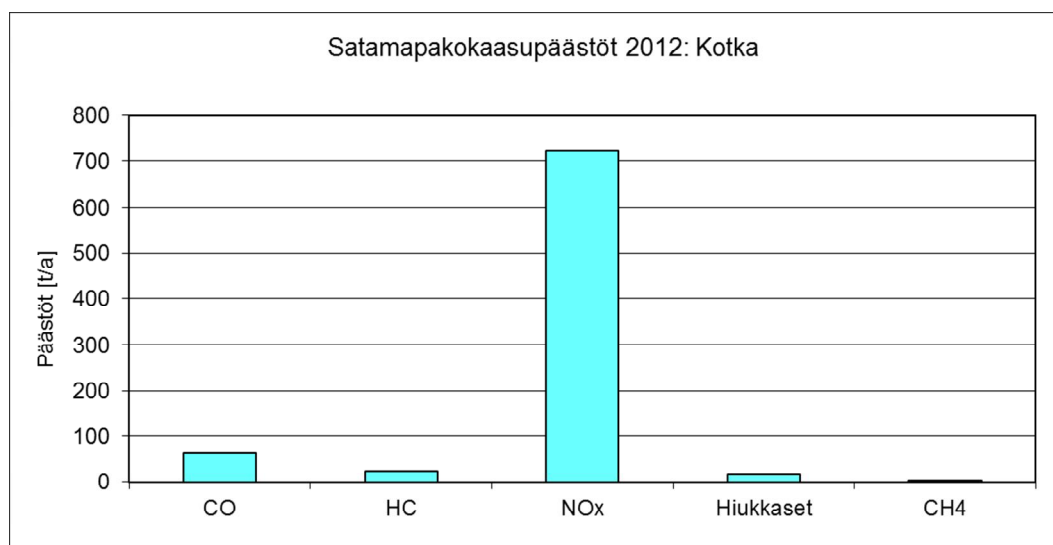


Kuva 8. Rahti- ja matkustajalaivojen päästöt Suomen talousvyöhykkeellä 2012.

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 2012.

	CO	HC	NO _x	Hiuk- kaset	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂	Polttoaineen- kulutus	Satamassa- käynnit
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	kpl/a
2012	64	24	723	17	3	1	38	40 887	12 897	2 59



Kuva 9. Laivaliikenteen pakokaasupäästöt Kotkan satamassa 2012.

Aikasarjatarkastelussa aikajänteeksi on valittu vuodet 1980–2032, yhteensä 53 vuotta, joka on sama kuin LIPASTO 2012 järjestelmässä. Vuodet 1980–2012 kuvaavat satamassakäyntien osalta todellista, tapahtunutta kehitystä ja vuodet 2013–2032 arvioitua tulevaisuuden kehitystä. Taulukossa 16 on esitetty eri yhdisteiden päästömäärien kehitys (kaikki laivatyyppit yhteensä mukaan lukien huviveneet) sekä polttoaineenkulutus yhteensä vuodesta 1980 vuoteen 2032.

Liitteessä C on esitetty kuvina vesiliikenteen päästömäärien kehitys vuodesta 1980 vuoteen 2012 sekä ennuste vuosille 2013–2032. Hiilimonoksidipäästöissä (CO) on huviveneiden aiheuttamilla päästöillä suurin osuus. Huviveneiden määrä kasvoi voimakkaasti koko 80-luvun (liite A, kuva 3) samoin kuin laivojen satamassakäyntimäärät. Kasvu huviveneiden osalta taittui 90 luvun alussa mikä aiheutti kasvun loivenemisen myös CO päästöissä (liite C). 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 tarkistetuista 4-tahtimoottorien osuudesta. 4-tahtimoottorit tuottavat huomattavasti vähemmän HC-päästöjä kuin 2-tahtiset. Typen oksideissa (NO_x) laivojen ominaispäästöt ovat jatkuvasti alentuneet, mikä on pitänyt kokonaispäästöjen kasvun lievinä. Viime vuosina liikennöinnin määrässä on tapahtunut heilahteluja molempiin suuntiin, mikä näkyy myös NO_x-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 C). Romahdus tapahtuu myös vuonna 2015, kun laivat siirtyvät rikkipitoisuudeltaan 0,1 % polttoaineisiin. Hiilidioksidipäästöt ja energiankulutus tullevat vain lievästi laskemaan tulevina vuosina lisääntyvän liikennöinnin seurauksena.

Taulukko 16. Suomen vesiliikenteen päästöt 1980–2032

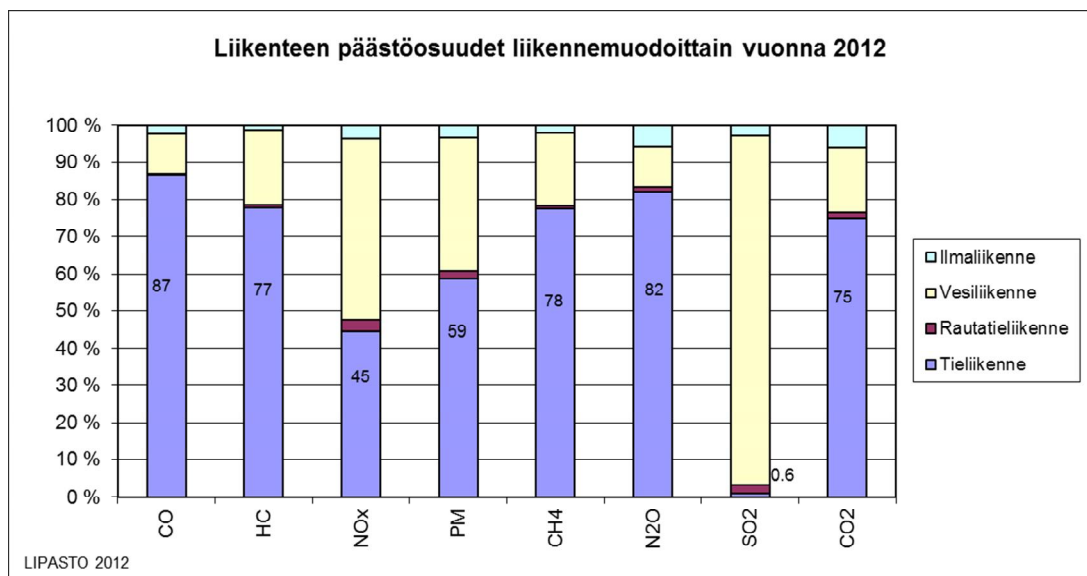
	CO	HC	NO _x	Hiuk- kaset	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂	Polttoain. kulutus	Energian- kulutus
	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	GJ/a
1980	13 645	5 353	57 373	1 537	268	64	20 222	2 544 937	790 913	32 903 088
1981	14 227	5 552	56 121	1 510	269	63	19 516	2 502 647	778 456	32 388 320
1982	14 797	5 752	55 102	1 494	270	62	18 556	2 457 424	764 483	31 811 031
1983	15 680	6 068	54 177	1 483	275	61	18 601	2 433 204	756 605	31 486 738
1984	16 316	6 302	54 500	1 501	281	62	18 622	2 451 678	762 341	31 726 609
1985	17 280	6 672	55 820	1 552	291	63	18 899	2 502 765	778 587	32 403 563
1986	17 884	6 884	55 252	1 545	294	62	18 160	2 479 607	771 647	32 118 142
1987	18 953	7 292	57 856	1 623	310	65	18 943	2 600 144	808 826	33 663 238
1988	20 891	7 990	58 134	1 644	327	66	18 959	2 642 578	822 095	34 219 741
1989	22 532	8 590	59 286	1 689	344	68	18 981	2 707 446	842 280	35 062 137
1990	24 155	9 190	60 476	1 739	360	69	19 317	2 772 966	862 619	35 910 781
1991	24 802	9 422	60 606	1 746	366	69	18 957	2 785 137	866 435	36 071 274
1992	25 141	9 537	60 510	1 744	369	70	18 723	2 790 943	868 243	36 147 399
1993	25 278	9 608	63 479	1 821	378	73	19 532	2 914 679	906 536	37 735 851
1994	25 537	9 748	69 319	1 975	396	79	21 538	3 158 392	981 942	40 863 457
1995	26 511	10 079	68 500	1 953	403	78	20 503	3 144 593	977 771	40 693 920
1996	26 453	10 053	67 693	1 934	399	77	19 862	3 104 810	965 005	40 164 499
1997	27 373	10 411	72 106	2 056	419	82	21 386	3 302 313	1 027 049	42 740 164
1998	28 020	10 654	68 162	1 982	417	79	20 017	3 186 720	991 031	41 248 071
1999	29 595	11 262	77 306	2 190	464	92	19 959	3 688 528	1 146 669	47 706 763
2000	28 904	10 983	74 352	2 133	454	90	19 345	3 604 652	1 120 835	46 632 168
2001	28 972	11 023	74 425	2 147	453	90	18 955	3 598 231	1 116 972	46 469 481
2002	29 718	11 263	72 249	2 137	455	89	19 153	3 558 120	1 104 672	45 961 769
2003	29 500	11 201	72 413	2 154	461	91	19 510	3 653 263	1 134 024	47 178 474
2004	29 266	11 094	66 997	2 032	428	80	18 259	3 498 710	1 087 186	45 233 946
2005	30 163	11 134	70 849	2 152	464	93	19 289	3 718 324	1 154 673	48 033 021
2006	30 772	11 292	62 382	1 955	437	82	17 689	3 298 674	1 026 145	42 705 572
2007	31 174	10 880	62 227	1 986	446	85	17 839	3 411 828	1 060 736	44 140 763
2008	26 801	6 879	59 130	1 766	361	84	17 706	3 320 410	1 032 549	42 956 704
2009	26 653	6 509	51 099	1 577	333	76	12 717	2 967 944	929 493	38 685 294
2010	28 138	6 566	47 123	1 481	326	70	11 622	2 755 917	864 106	35 979 000
2011	22 457	5 416	45 004	1 415	290	70	8 101	2 729 535	855 920	35 622 430
2012	19 701	4 592	42 514	1 337	265	68	7 803	2 622 916	823 001	34 250 663
2013	18 936	5 277	43 501	1 408	289	71	8 610	2 737 365	860 153	35 801 422
2014	19 272	5 323	43 049	1 419	292	72	4 734	2 798 209	881 891	36 704 593
2015	19 706	5 415	44 341	1 474	300	76	1 529	2 951 578	930 312	38 713 769
2016	19 811	5 457	45 611	1 525	306	80	1 614	3 098 962	978 133	40 697 173
2017	20 235	5 708	49 025	1 644	322	88	1 803	3 407 112	1 075 751	44 747 434
2018	20 361	5 861	48 186	1 627	320	88	1 800	3 398 689	1 075 148	44 722 969
2019	20 160	5 809	47 436	1 609	318	88	1 800	3 385 051	1 072 827	44 626 120
2020	20 297	5 904	46 756	1 594	317	88	1 792	3 377 305	1 071 513	44 572 323
2021	20 278	5 890	46 129	1 578	316	88	1 790	3 364 993	1 070 583	44 533 745
2022	20 421	6 022	45 543	1 565	315	88	1 789	3 357 248	1 069 269	44 479 948
2023	20 405	6 011	44 972	1 549	314	88	1 787	3 347 928	1 067 409	44 402 791
2024	20 555	6 046	44 467	1 538	314	88	1 779	3 337 190	1 066 095	44 348 994
2025	20 544	6 036	43 994	1 525	313	88	1 776	3 330 602	1 066 113	44 350 957
2026	20 534	6 028	43 543	1 512	311	87	1 776	3 318 552	1 063 305	44 233 258
2027	20 524	6 019	43 104	1 500	310	87	1 774	3 306 220	1 061 438	44 155 826
2028	20 516	6 011	42 656	1 487	309	87	1 774	3 296 901	1 060 508	44 117 247
2029	20 507	6 003	42 256	1 476	308	87	1 763	3 287 581	1 058 648	44 040 090
2030	20 497	5 997	41 883	1 465	307	87	1 763	3 275 270	1 056 788	43 962 933
2031	20 842	5 990	41 542	1 455	307	87	1 763	3 274 784	1 057 484	43 993 137
2032	20 837	5 986	41 217	1 446	306	87	1 761	3 271 225	1 056 746	43 962 532

5.2 Päästöjen vertailu

Taulukossa 17 ja kuvassa 10 on esitetty eri liikennemuotojen aiheuttamien päästömäärien vertailu vuodelta 2012. Tulokset ovat Suomen liikenteen päästöjen laskentajärjestelmä LIPASTO 2012:stä, johon vesiliikenteen osuus tuotetaan MEERI 2012 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 2032.

Taulukko 17. Suomen liikenteen päästöt ja energiankulutus 2012.

	CO	HC	NO _x	PM	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	CO ₂	Primäärienergian kulutus [PJ]
Tieliikenne	157 036	17 695	38 759	2 181	1 049	521	72	11 243 032	166
Rautatieliikenne	406	137	2 521	74	11	7	198	245 729	6,1
Vesiliikenne	19 701	4 592	42 514	1 337	265	68	7 803	2 622 916	34
Ilmaliikenne	4 368	296	3 213	124	28	37	229	909 221	12
YHTEENSÄ	181 511	22 720	87 006	3 716	1 353	633	8 301	15 020 897	219



Kuva 10. Suomen liikenteen päästöt 2012. 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 2012 tiedoilla päivitettyä versiota MEERI 2012. Projekti kuului osana LIPASTO 2012 -projektiin, jossa selvitettiin kaikkien liikennemuotojen päästöt Suomessa. MEERI 2012 -malli laskee vesiliikenteen aiheuttamien pakokaasujen määrän ja energiankulutuksen perusvuonna 2012. Laskentatulokset saadaan sekä valtakunnallisesti että satamakohtaisesti. Karkealla tasolla päästömäärät on ennustettu vuodesta 1980 vuoteen 2032. Laskentajärjestelmä koskee meri- ja sisävesiliikennettä sekä huviveneilyä ja kalastusta Suomessa. Suomen armeijan veneet ja alukset eivät sisälly laskentaan.

MEERI 2012-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 2012 laskentajärjestelmä on tarkoitettu lähinnä Liikenne- ja viestintäministeriön, Liikenneviraston, Liikenteen turvallisuusviraston ja VTT:n käyttöön. Tietoa LIPASTO 2012 ja MEERI 2012 laskentajärjestelmistä on nähtävissä VTT:n internetsivulla: <http://lipasto.vtt.fi/>

Suomen vesiliikenteen aiheuttamat päästöt Suomen talousalueella vuonna 2012 olivat seuraavat: hiilimonoksidia (CO) 19 700, hiilivetyjä (HC) 4 600 t, typen oksideja (NO_x) 42 500 t, hiukkasia 1 340 t, metaania (CH₄) 265 t, typpioksiduulia (N₂O) 68 t, rikkidioksidia (SO₂) 7 800 t ja hiilidioksidia (CO₂) 2 620 000 t. Polttonesteitä kulutettiin yhteensä 823 000 t ja kokonaisenergiankulutus oli 34,3 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.

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://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf5/mkl_2005-5_veneilyn_maara.pdf

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

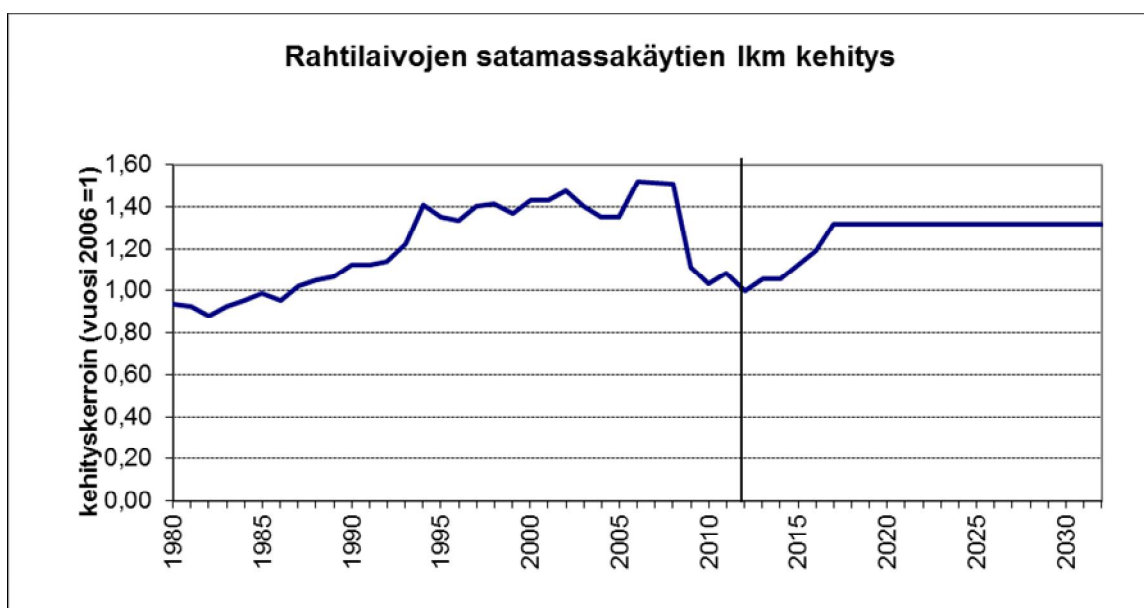
Tamminen Jaana. Suomen laivaliikenteen rikin ja typen oksidien päästöt sekä päästöjen vähentämismahdollisuudet. Helsinki 1992. Ympäristöministeriö Ympäristönsuojeluosasto selvitys 99 1992.

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.

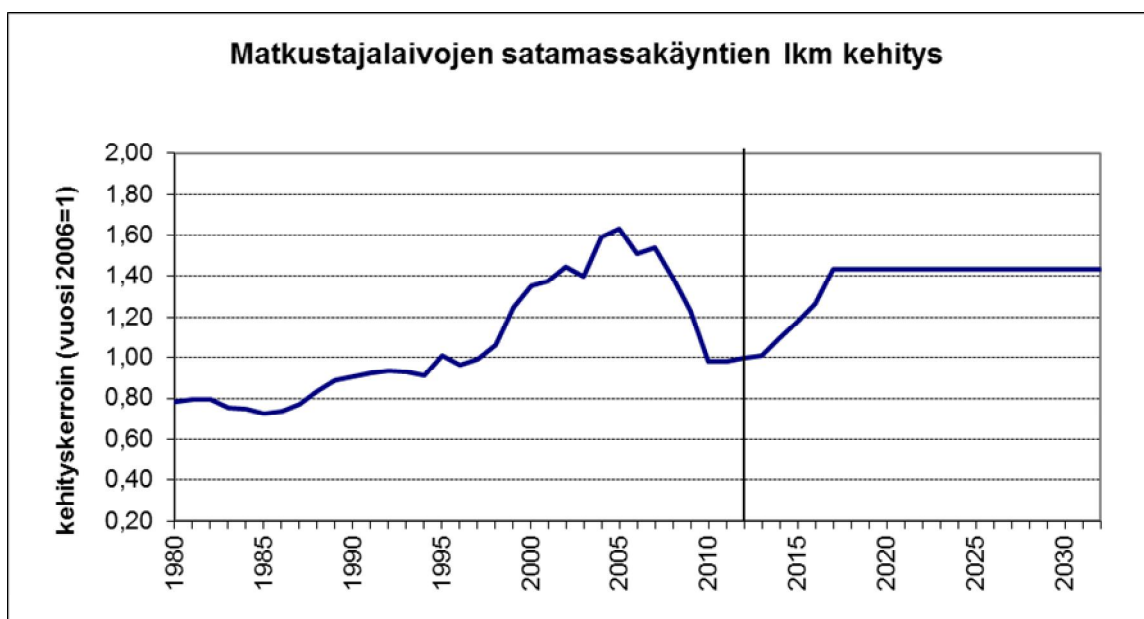
Liite A

Laiva- ja veneliikenteen suoritteiden kehityskertoimet

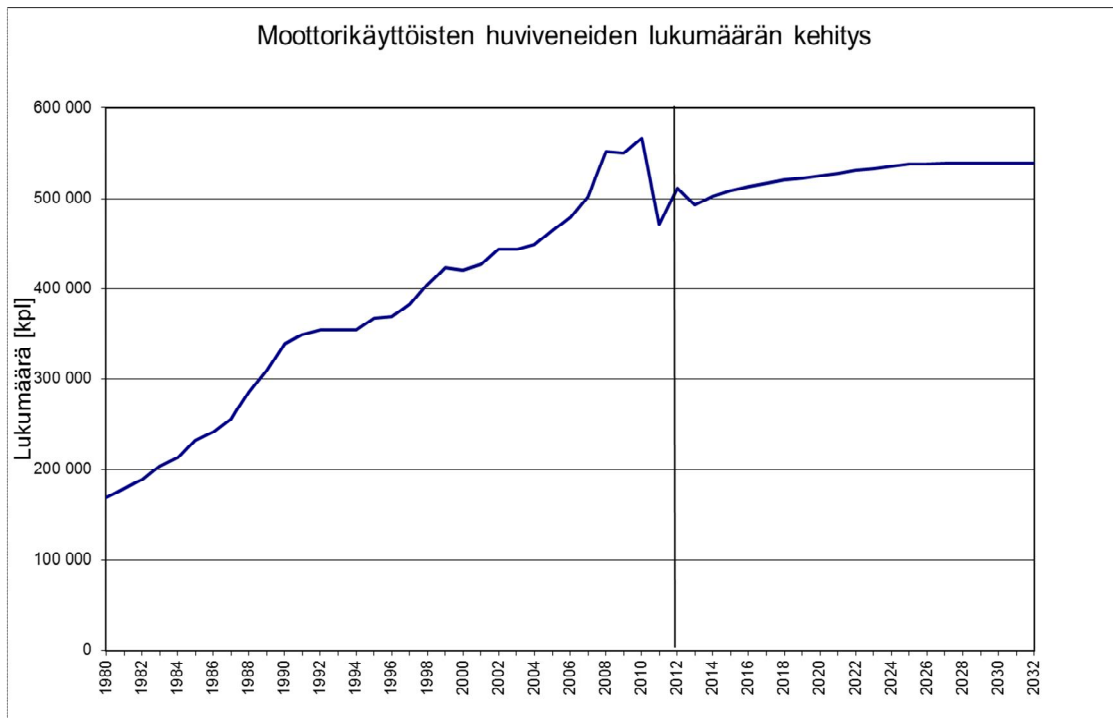
Laivaliikenteen satamassakäyntien kehityskertoimet on esitetty erikseen rahtilaivoille (kuva 1) ja matkustajalaivoille (kuva 2). Perusvuoden 2012 arvo on 1.0. Huviveneiden päästöjen laskenta perustuu niiden lukumäärään, joten myös kehityskerroin koskee lukumäärää (kuva 3). Jäänmurtajien päästölaskennan perusta on polttonesteen kulutus. Kehityskerroin kuvaa siis polttonesteen kulutusta vuoteen 2012 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 2012 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

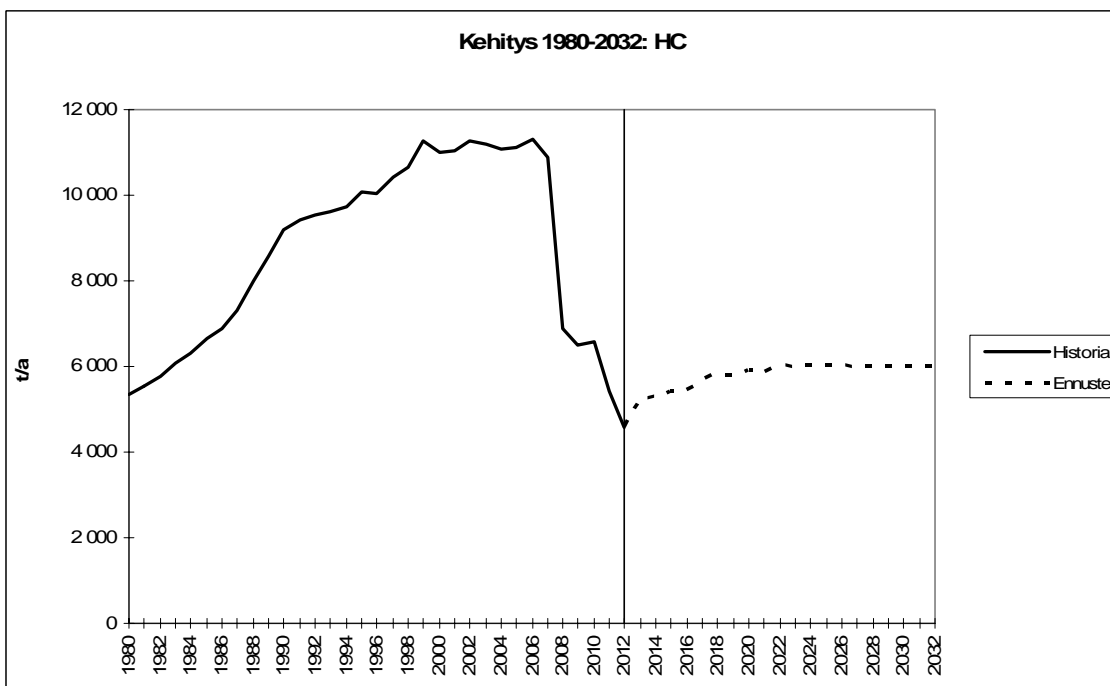
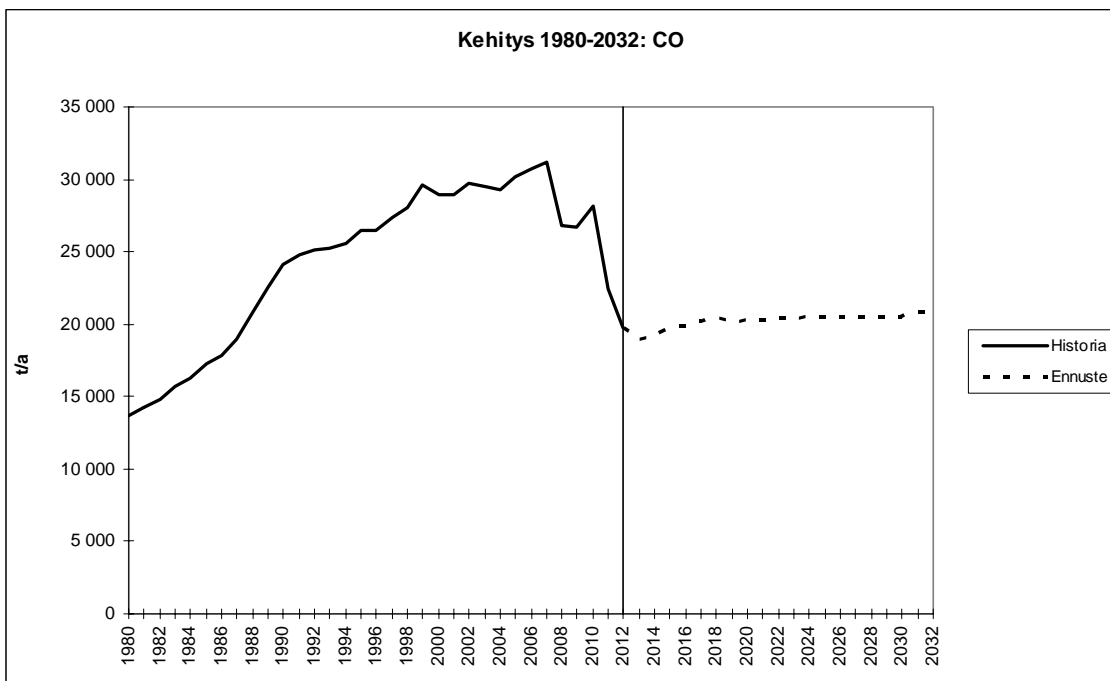
Moottorityyppi	kuormitus	MARITERM	LLOYD'S	MARITEK	WÄRTSILÄ	
		g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	
2-tahti	80 %	0.8	0.4		0.3	0.4
	20 %	1.3	0.5		0.5	0.5
4-tahti	80 %	0.2	0.6	0.48	0.35	0.4
	20 %	0.4	0.9	0.44	0.55	0.5

PM

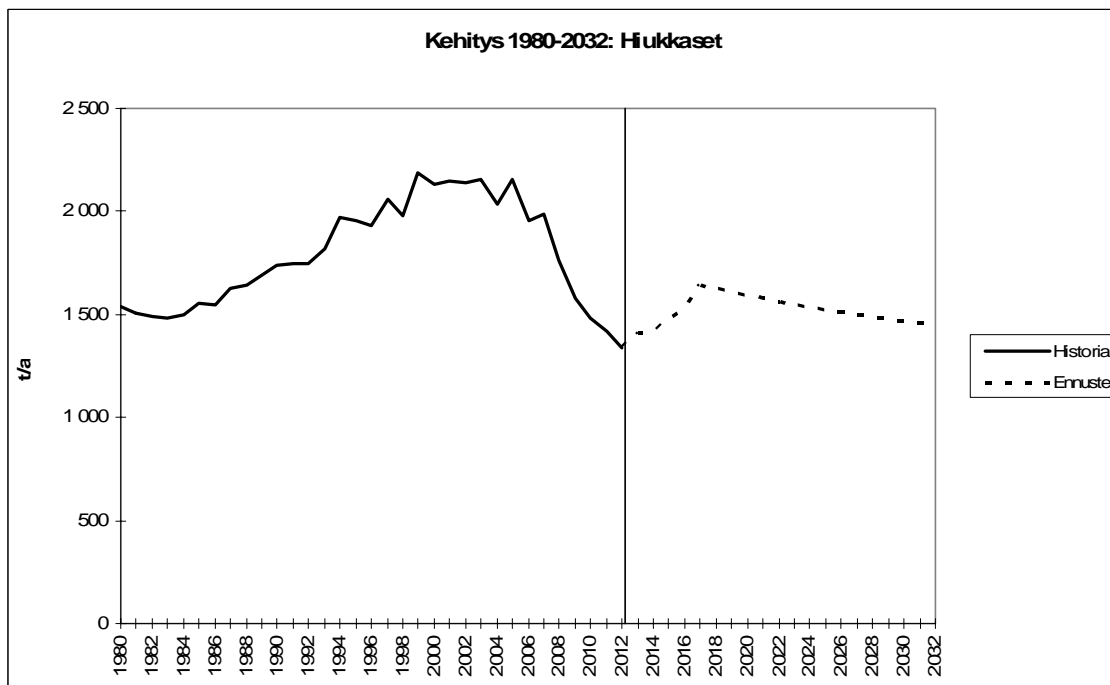
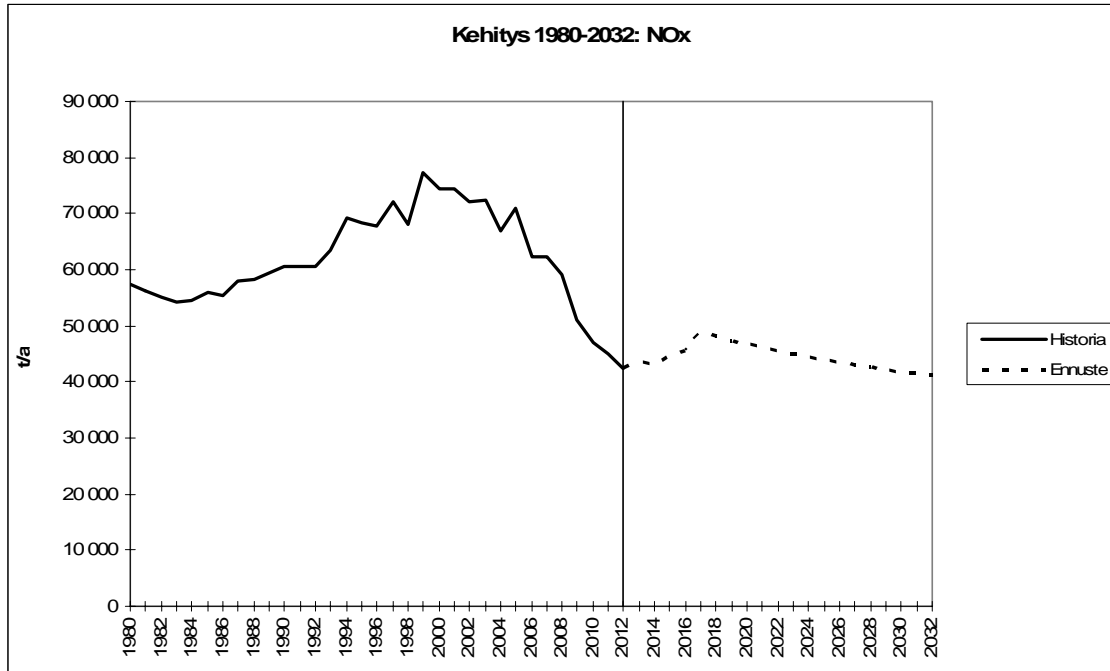
Moottorityyppi	kuormitus	MARITERM	LLOYD'S	MARITEK	WÄRTSILÄ	
		g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	
2-tahti	80 %	0.9			0.25	0.5
	20 %	0.9			0.3	0.6
4-tahti	80 %	0.4		0.22	0.25	0.3
	20 %	0.6		0.12	0.35	0.4

Liite C:

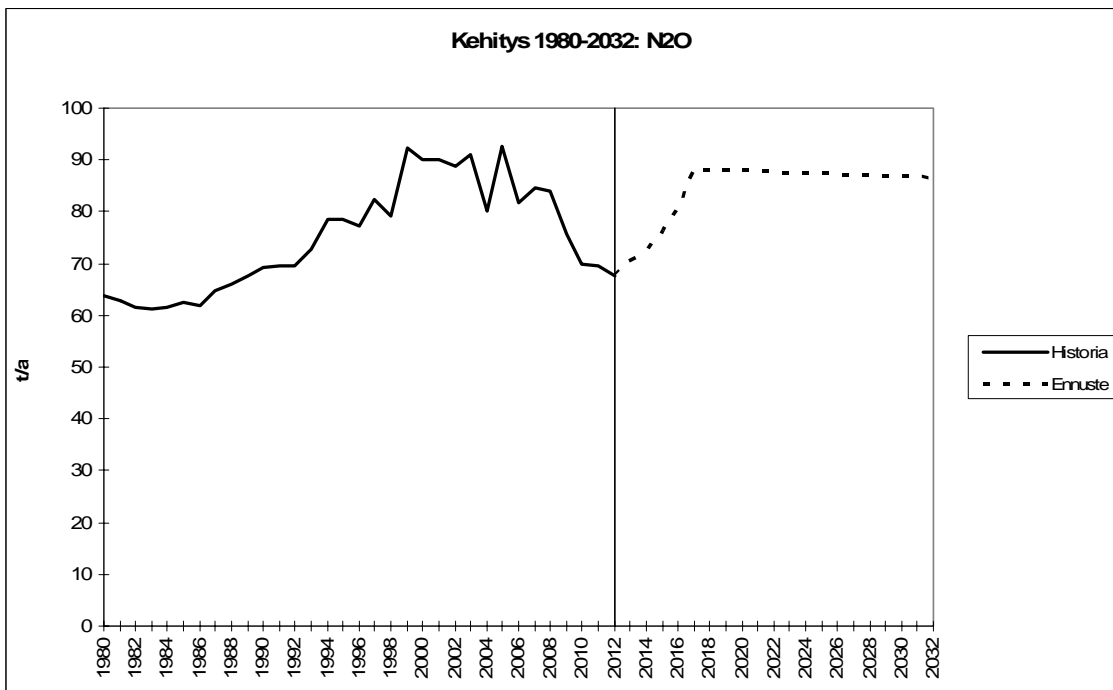
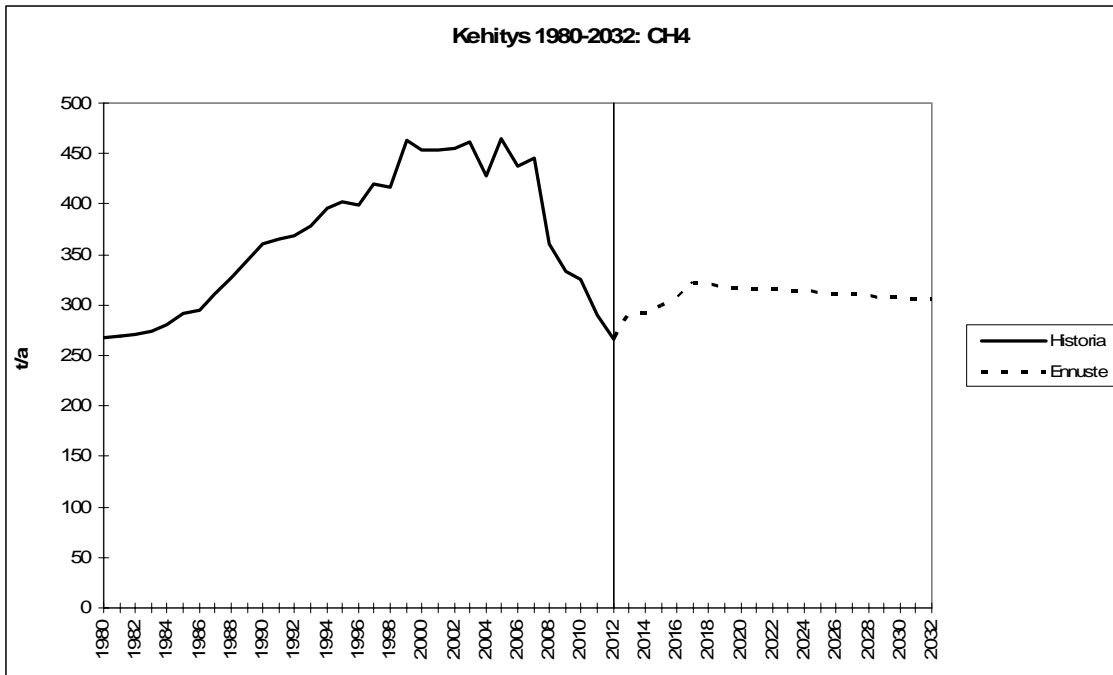
Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2012 laskentajärjestelmän mukaan



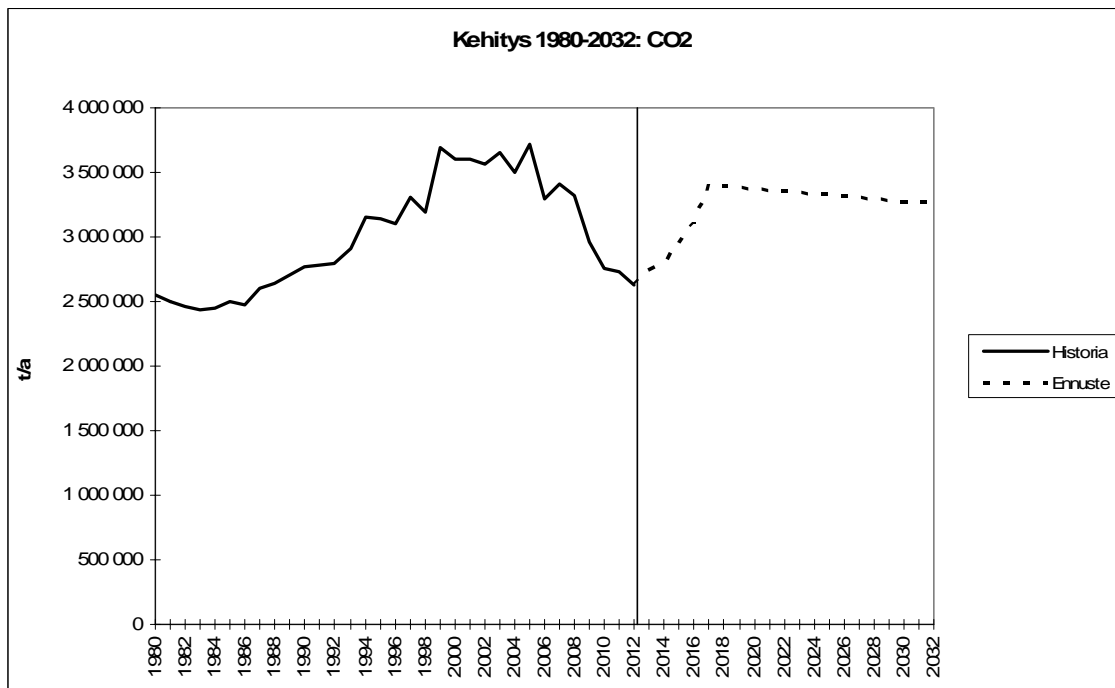
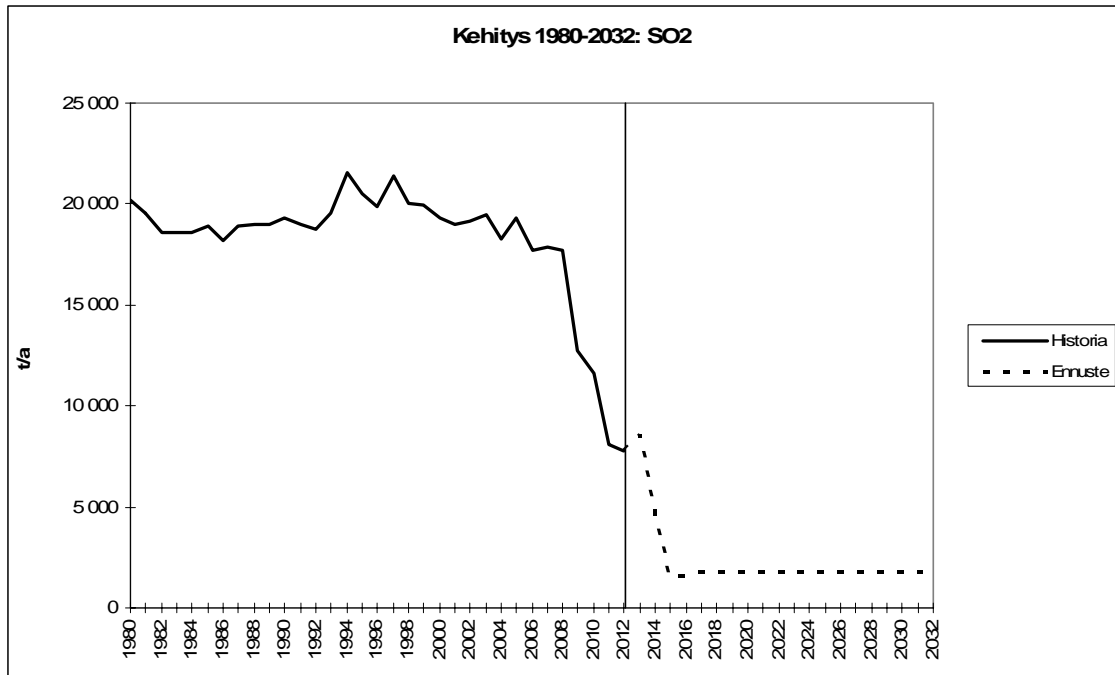
Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2012 laskentajärjestelmän mukaan



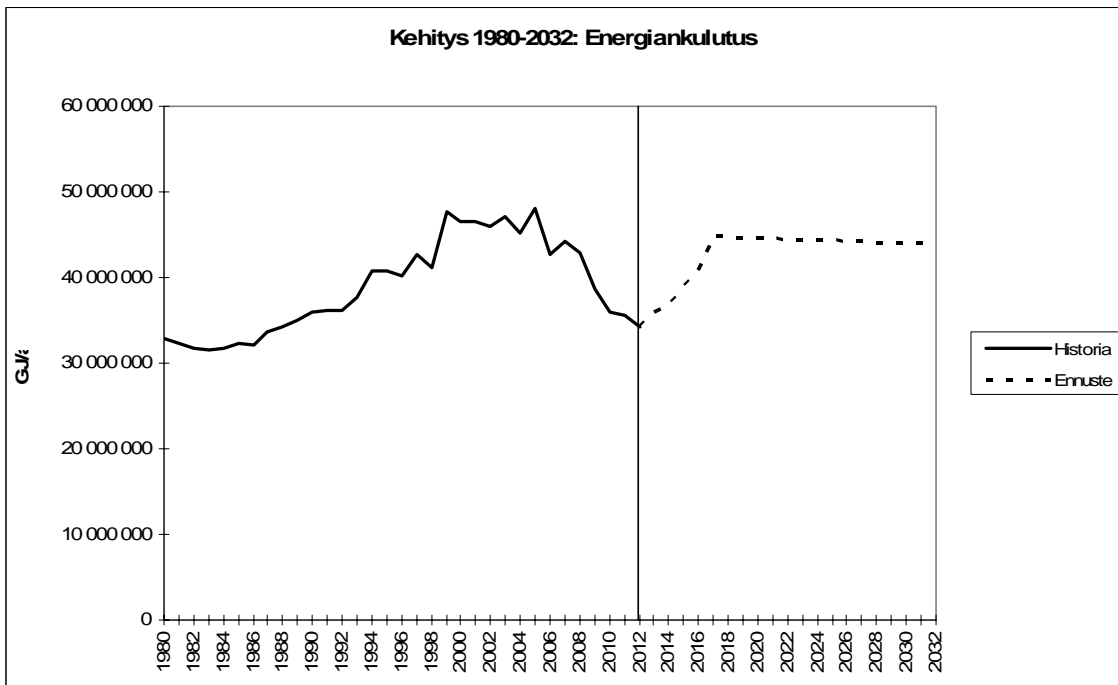
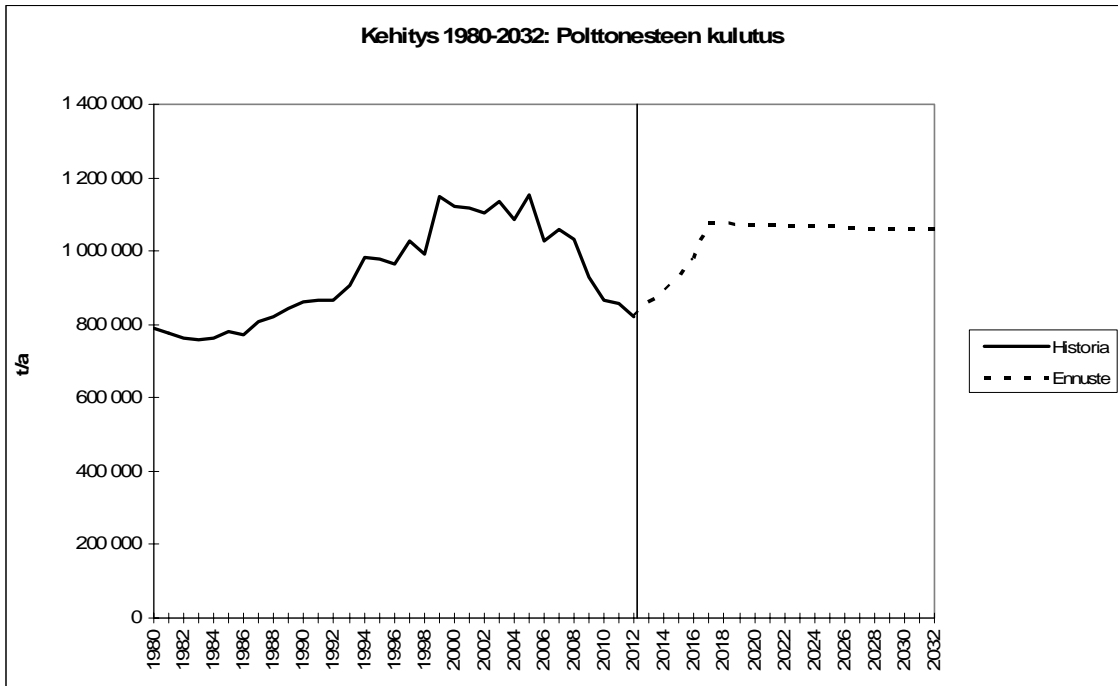
Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2012 laskentajärjestelmän mukaan



Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2012 laskentajärjestelmän mukaan

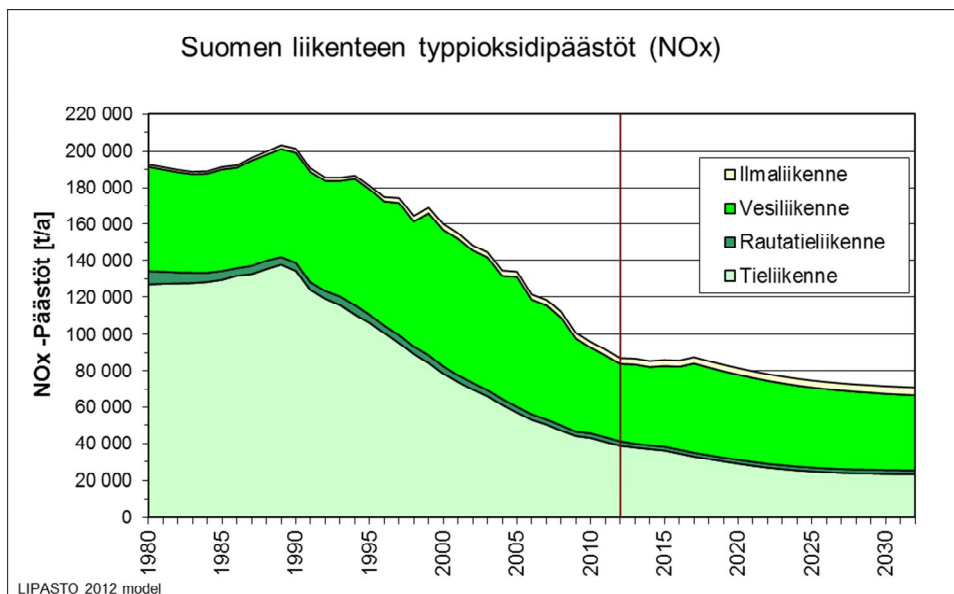
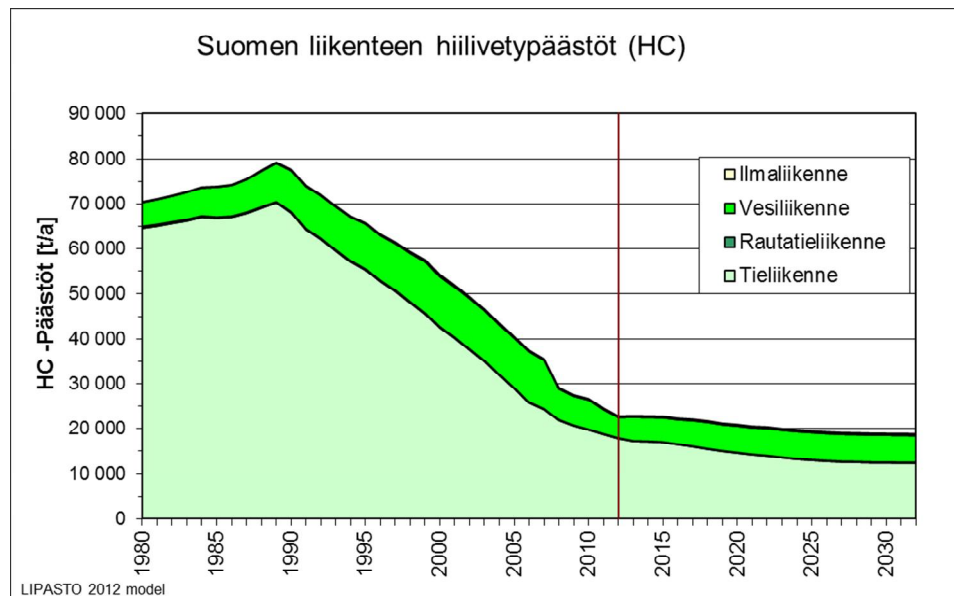
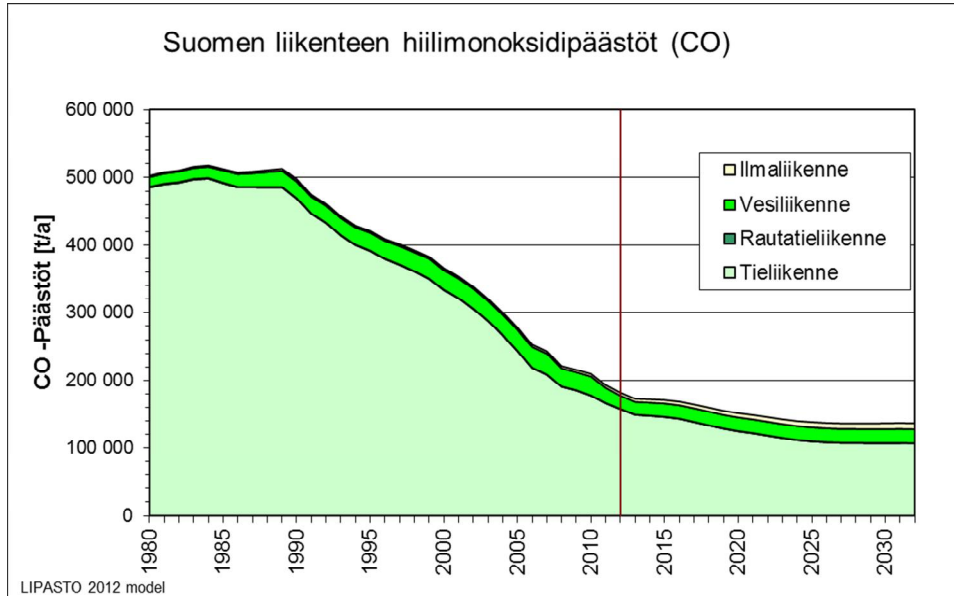


Vesiliikenteen päästöjen kehitys MEERI 2012 laskentajärjestelmän mukaan

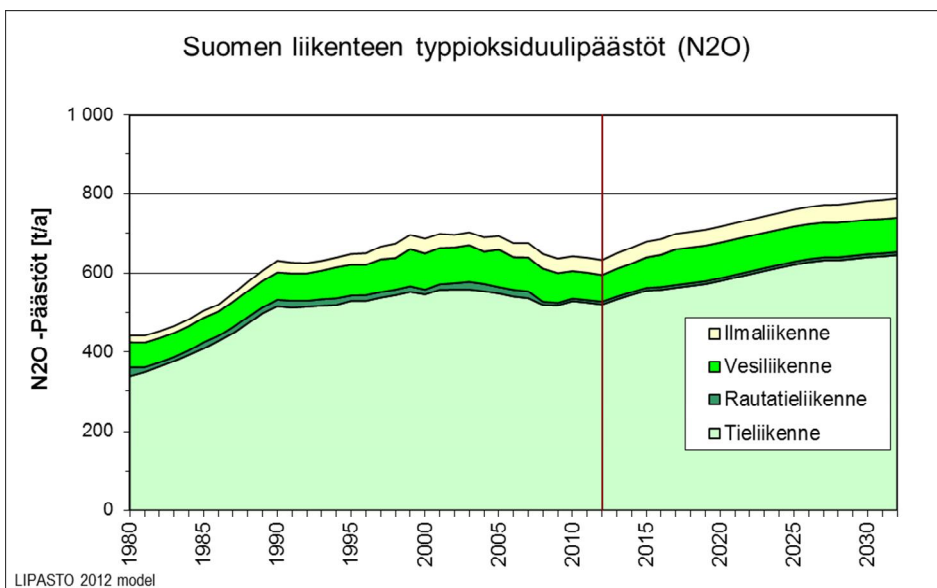
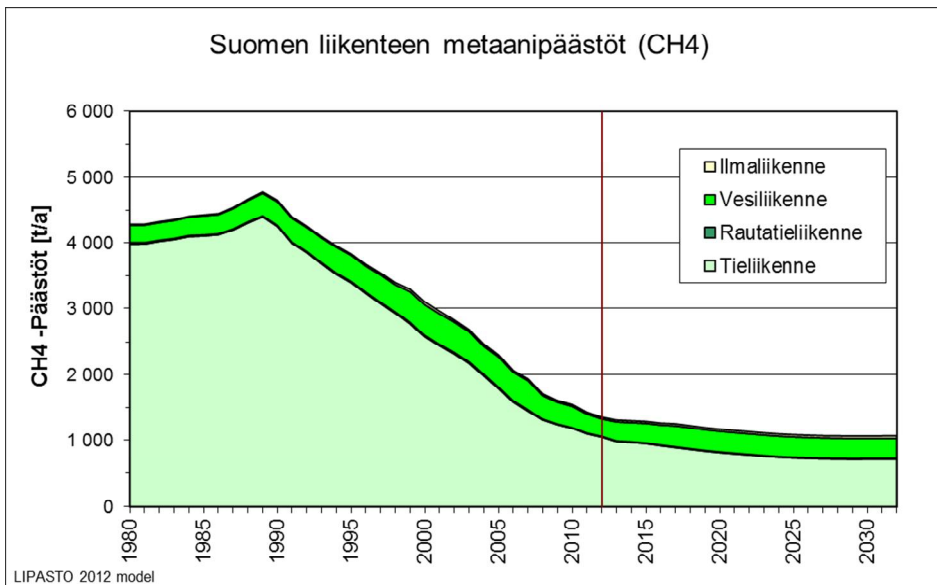
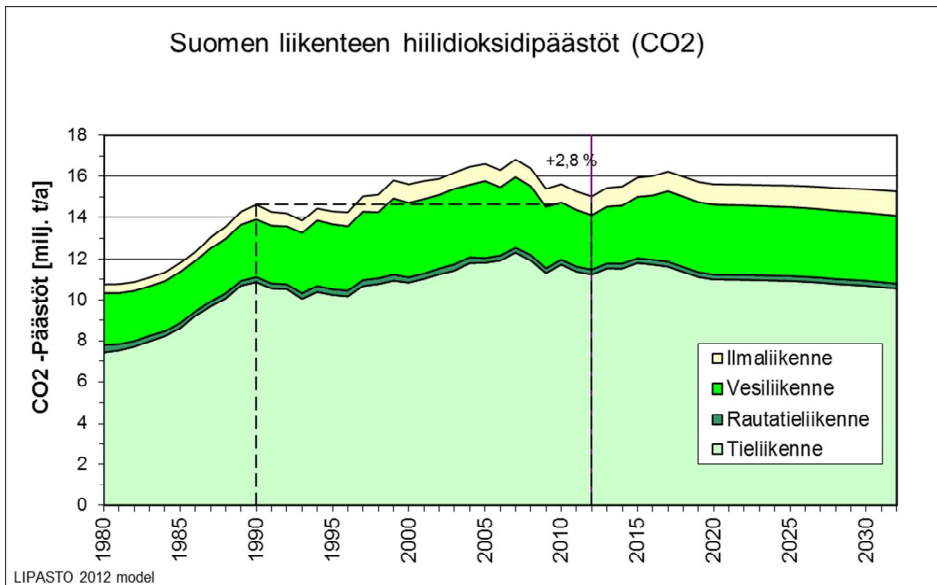


Liite D:

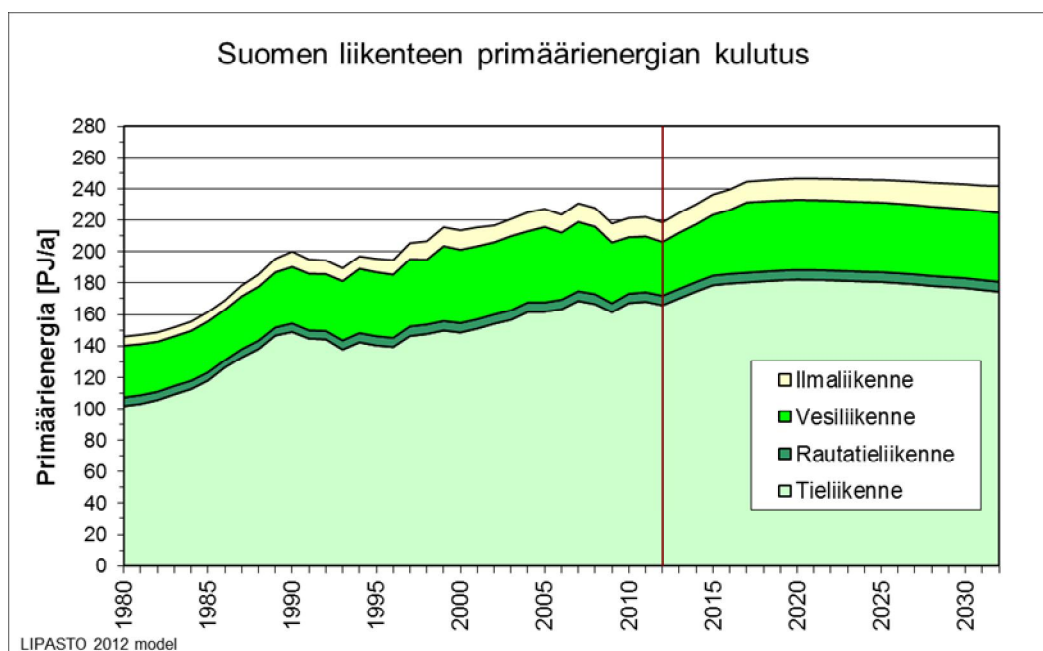
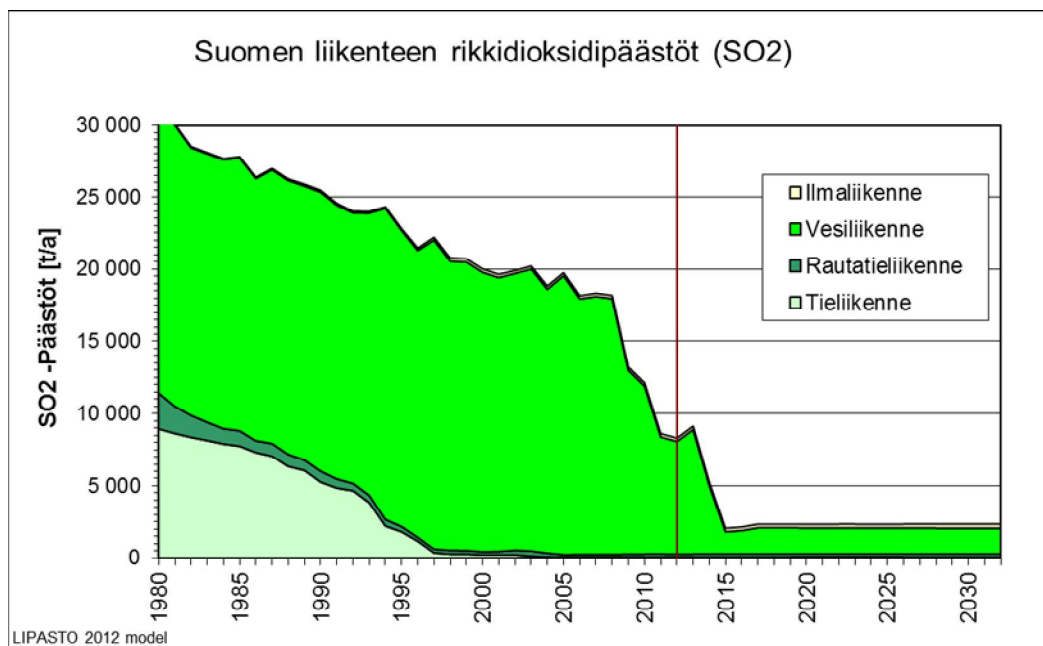
Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen arvioitu kehitys (LIPASTO 2012)⁽¹⁾



⁽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 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 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.