

**Suomen ympäristökeskus**

**Arvio GAINS-laskennan soveltuvuudesta  
ja rajoitteista Suomen LCP-sektorille**

**Mikko Savolahti & Niko Karvosenoja**



**5/2012**

## Sisältö

1.	Johdanto.....	3
2.	Yhdennetyn arviointimallinnuksen käyttö lainsäädännön valmistelun tukena.....	4
2.1	GAINS-mallin kuvaus.....	4
2.2	Tavoiteskenaario vuodelle 2020.....	6
3.	GAINS-mallin käytettävyys Suomen LCP-sektorin kuvaamiseen.....	7
3.1	Suomen LCP-sektori GAINS-mallissa vuonna 2005.....	7
3.1.1	Sektorijaot energiantuotannossa.....	7
3.1.2	Polttoaineenkäytöt ja päästökertoimet sektoreittain.....	8
3.1.3	Päästöt sektoreittain.....	10
3.1.4	Arvio soveltuvuudesta.....	12
3.2	LCP-sektori 2020: PRIMES vs kansallinen strategia.....	12
3.3	IE-direktiivin vaikutukset 2020.....	13
3.3.1	IE-direktiivin vaikutus GAINS-mallissa ja kansallisen tarkastelun perusteella.....	14
3.4	Arvioidut päästöt vuonna 2020 sektoreittain.....	15
3.4.1	GAINS-mallilla lasketut päästöt.....	16
3.5	Mallin rajoitukset ja riskitekijät päästöarvioinnissa.....	17
4	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	18
	Lähdeluettelo.....	20
	Liite 1/1.....	21
	Liite 2/2.....	22
	Liite 3/3.....	23

# 1. Johdanto

Euroopan Komission päästökattodirektiivin ja Kaukokulkeutumissopimuksen alaisen Göteborgin pöytäkirjan tavoitteena on vähentää happamoitumista, rehevöitymistä, alailmakehän otsonin muodostumista ja pienhiukkasten aiheuttamia terveyshaittoja ihmisille. Göteborgin pöytäkirjaa uudistettiin, ja jäsenmaille asetettiin uudet vähennystavoitteet 4.5.2012. Päästökattodirektiivin uudistaminen on myös valmisteilla. Molemmat perustuvat kullekin jäsenmaalle erikseen asetettaviin, eri ilmansaasteita (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NH<sub>3</sub>, VOC) koskeviin vähennystavoitteisiin, joita verrataan perusvuoden inventaaritietoihin. Vuodelle 2020 asetettavien päästökattojen osalta käytetään vertailukohtana vuotta 2005.

Ilman epäpuhtauksien päästöjen, kulkeutumisen ja vaikutusten tarkasteluun käytettävä yhdenmukainen arviointimallinnus toimii ydintyökaluna maakohtaisia tavoitteita suunniteltaessa. International Institute for Applied System Analysis (IIASA) –tutkimuskeskuksessa kehitettyä GAINS-mallia (Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies) käytetään arvioitaessa maakohtaisia päästövähennyspotentiaaleja sekä niiden vaikutuksia ilmanlaatuun ja ekosysteemeihin. GAINS-mallin edeltäjää RAINS:ia käytettiin määrittettäessä päästövähennystavoitteita vuodelle 2010.

GAINS-mallilla koetetaan kuvata mahdollisimman tarkasti kunkin maan päästöihin vaikuttavat aktiviteettisektorit, kuten energiankäyttö, maatalous ja prosessiteollisuus. Päästölaskenta koostuu sadoista eri parametreista, ja kullekin sektorille ja polttoaineelle on erikseen määritelty aktiviteettimäärät, päästökertoimet ja päästövähennystekniikoiden käyttö. Päästövähennysten kustannukset lasketaan laitteiden investointi- ja käyttökustannusten perusteella, ja malli käyttää näitä tietoja optimoidessaan maakohtaisia vähennysstrategioita. Kansalliset asiantuntijat voivat vaikuttaa osaan oman maansa laskentaparametreista, kuten päästökertoimiin. Sen sijaan energiankäyttöskenaariot kullekin jäsenmaalle otetaan kansallisten strategioiden sijaan energiamalli PRIMES:ista, joka laskee kunkin maan energiankäytön kohdevuoden ennakoitun kysynnän ja tarjonnan mukaan. Energiamallin käyttö kansallisten ennusteiden sijaan auttaa välttämään maiden välisiä ristiriitaisia tulevaisuudennäkymiä esim. energian tuonnissa ja viennissä, mutta se voi jättää huomioitta kansalliset energiapoliittiset suunnitelmat ja olla siten selvästi eri linjoilla maiden omien strategioiden kanssa.

Globaaleja päästöjä laskettaessa on ymmärrettävää, että GAINS-mallilla ei ole lukuisista muuttujista huolimatta mahdollista mallintaa kunkin maan sektoreita yksityiskohtaisesti laitostasolla. Tämän takia on tärkeää, että kansalliset asiantuntijat arvioivat oman maansa päästölaskennan sekä energiankäyttöskenaarioiden realistisuutta. Nämä arviot toimivat pohjana neuvotteluille, joissa asetetaan lopulliset päästövähennystavoitteet kullekin maalle. Tämän selvityksen tarkoituksena on arvioida GAINS-mallin soveltuvuutta Suomen suurten polttolaitosten (LCP) päästöjen arvioimiseen perusvuonna 2005 ja kohdevuonna 2020.

## 2. Yhdennetyt arviointimallinnuksen käyttö lainsäädännön valmistelun tukena

Päästömallien käytöllä kansainvälisessä lainsäädännössä on tärkeä rooli ja pitkät perinteet. Euroopan Komissio käyttää Päästökattodirektiivin (NEC-direktiivi) suunnittelussa kansainvälisen IASA-tutkimusinstituutin kehittämää GAINS-mallia [2]. Samaa mallia käytetään myös UNECE:n Kaukokulkeutumissopimuksen alaisen Göteborgin pöytäkirjan uudistamiseen, ja sen edeltäjä RAINS-malli toimi alkuperäisen Göteborgin pöytäkirjan suunnittelutyökaluna 1990-luvulla.

### 2.1 GAINS-mallin kuvaus

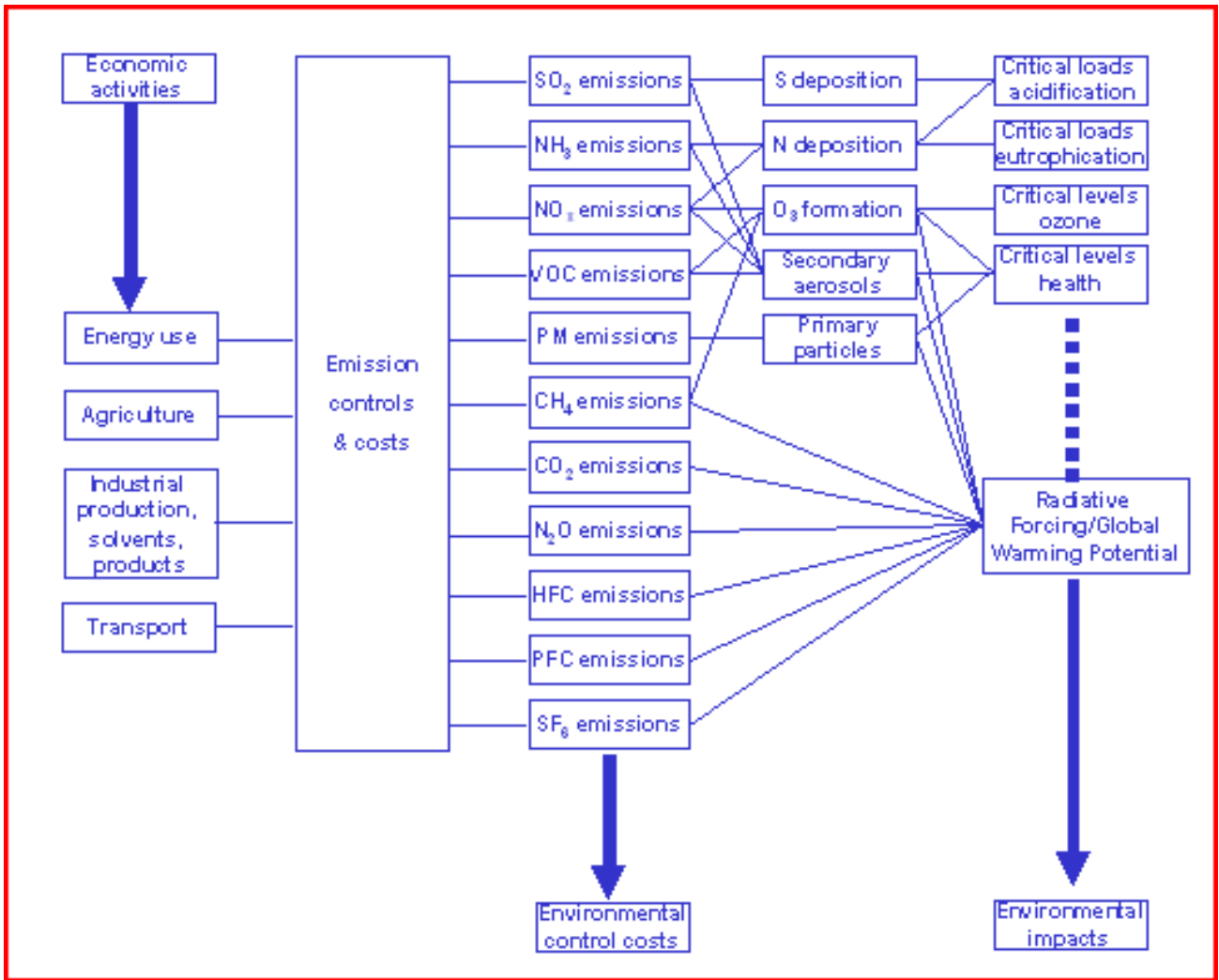
GAINS-mallissa laskennan lähtösyötteinä toimivat erilaiset aktiviteetit. Näitä aktiviteetteja ovat tyypillisesti käytetyn energian määrä, teollisen tuotannon volyymit, maatalouseläinten lukumäärä ja esim. Suomen kohdalla turpeentuotanto. Kaikki aktiviteetit, joista aiheutuu päästöjä merkittävässä määrin, pyritään ottamaan huomioon. Lähtösyötteet tulevan GAINS:iin muista malleista, joista tärkein on energiamalli PRIMES. Sen toiminta perustuu halutun vuoden maakohtaisen energiankäytön laskemiseen energian kysynnän ja tarjonnan ennusteisiin perustuen.

Energiamallista saadut aktiviteetit jaetaan GAINS:issa eri sektoreille, joita voivat olla esimerkiksi leijupetikattilat, takat, sintraamot ja raskaan liikenteen dieselajoneuvot. Sektoreilla on omat päästökertoimensa, ja niihin voidaan usein soveltaa myös päästövähennystekniikoita. Aktiviteetit, sektorikohtaiset päästökertoimet ja sovellettavien päästövähennystekniikoiden laatu ja määrä muodostavat päästövektorin, jolla voidaan laskea alkuperäisestä aktiviteetista lopulta ilmaan tuotetut päästöt. Malliin sisältyy myös kustannuslaskenta teknologiavaihtoehtojen ja päästövähennysmekanismien osalta.

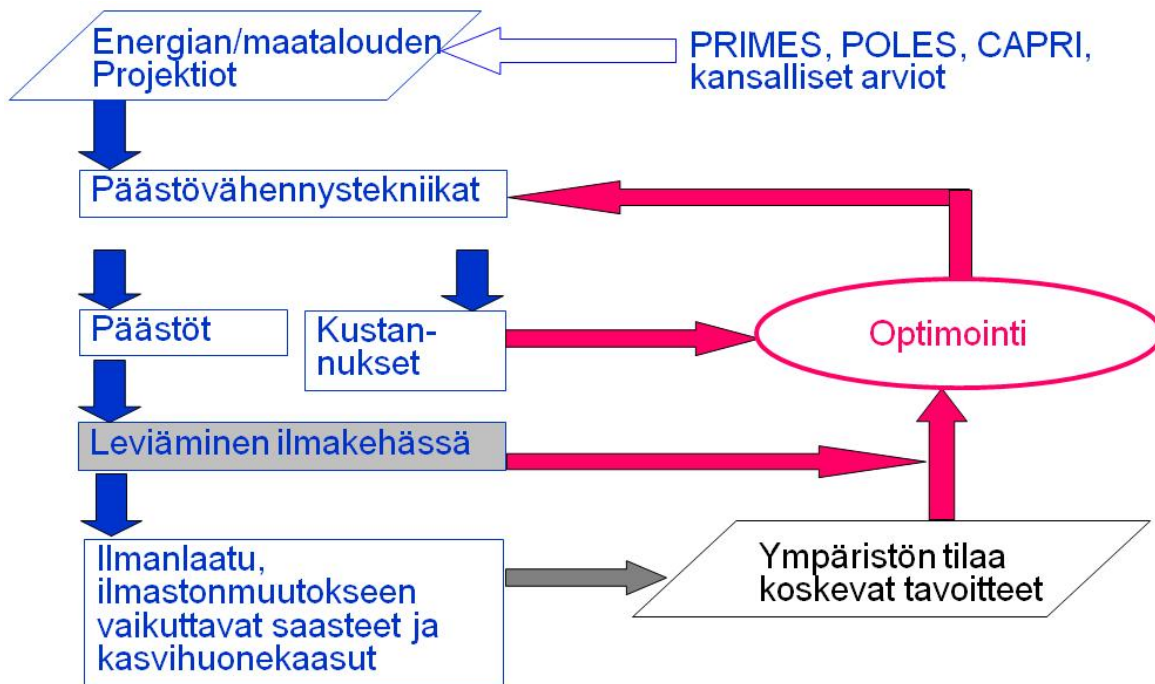
Kun syntyvät päästöt on laskettu, niiden kulkeutuminen ja laskeumat mallinnetaan käyttämällä leviämismatriiseja. Laskennassa käytetään keskiarvoa useamman vuoden ajalta kerätystä historiallisesta meteorologiatiedosta, jolla pyritään mallintamaan tyypillisen vuoden leviäminen ja ilmakehän prosessit. Arvioitaessa ympäristövaikutuksia otetaan huomioon laskeuma-alueen ekosysteemin herkkyys ja terveysvaikutusten kohdalla alueen väestötiheys ja ikäjakauma. Mallinusketju on esitetty kuvassa 1.

Koska malli kattaa koko ketjun aktiviteeteista ympäristövaikutuksiin ja sisältää myös kustannuslaskennan, se soveltuu hyvin tarkasteluun, jossa vertaillaan eri päästövähennystoimenpiteiden käyttökelpoisuutta ympäristön tilan parantamisessa. GAINS:in optimointityökalu (kuva 2) on keskeisessä osassa sen määrittämisessä, millaisiin päästövähennyksiin kunkin jäsenmaan voidaan olettaa pystyvän ilman kohtuuttomia kustannuksia tai suuria rakenteellisia muutoksia energijärjestelmässä.

Optimoinnissa asetetaan halutut tavoitteet ympäristön tilaa kuvaaville mittareille esimerkiksi Euroopan laajuisesti, jolloin malli määrittelee asianomaisille maille kustannustehokkaimmat päästövähennystoimenpiteet näihin tavoitteisiin pääsemiseksi. Toisaalta vähennystavoitteita voidaan myös arvioida niin, että kaikkien maiden kaikille sektoreille sovelletaan kalibrointia varten mahdollisimman ympäristöystävällistä teknologiaa, jolloin saadaan niin sanottu MFR-skenaario (Maximum Feasible Reduction). Tämä tarkastelu näyttää parhaan mahdollisen ympäristön tilan, johon teknisillä toimenpiteillä voidaan päästä, ja se auttaa määrittämään rajat arvioitaessa kansainvälisten sopimusten lopullisille ympäristövaikutuksille.



Kuva 1. GAINS-mallin syötteet ja tulosteet



Kuva 2. GAINS-mallin optimointilaskenta

## 2.2 Tavoiteskenaario vuodelle 2020

Centre of Integrated Assessment Modeling (CIAM) on valmistellut GAINS-malliin Göteborgin pöytäkirjan uudistamista varten erilaisia tavoiteskenaarioita [1]. Skenaarioilla on eri tavoitetasoja ekosysteemien tilan ja hengitysilman terveysvaikutusten suhteen. Skaalan ääripäissä ovat minimivaatimuksena nykyisen voimassa olevan ja käyttöönotettavaksi sovitun lainsäädännön mukaisesti mallinnetut päästöt (Current legislation, CLE), ja kunnianhimoisimpana tavoitetasona kaikkien sovellettavissa olevien teknisten päästövähennyskeinojen käyttöönotolla saavutettava maksimivähennyskenaario (Maximum Feasible Reduction, MFR). Huomionarvoista on, että tätäkin skenaariota suurempiin vähennyksiin olisi mahdollista päästä rakenteellisilla muutoksilla energiainfrastruktuurissa. Mallin optimointilaskenta käyttää siis joka vaihtoehdossa samaa energiajärjestelmää, mutta lisää vaatimusten mukaisesti ns. piipunpäämenetelmiä ilmaan vapautuvien epäpuhtauksien vähentämiseksi.

Minimi- ja maksimivaihtoehtojen haarukassa on useita välimuotoskenaarioita, joissa toteutetaan CLE:n mukaisten toimenpiteiden lisäksi tietty osuus – esimerkiksi 50 % - maksimivähennystoimenpiteistä. Jäsenmaiden neuvottelijoiden tehtävänä on arvioida, minkä suuruisia lisätoimenpiteitä heidän maassaan on mahdollista tehdä minimivaatimusten lisäksi, eli mihin kohtaan vaihteluväliä kyseisen maan päästöraja asettuisi. Monet jäsenmaat - Suomi mukaan lukien - ovat arvioineet, että minimivaatimusten ylittäminen tulisi useimpien päästökomponenttien osalta olemaan epätodennäköistä. Minimivaatimusten alittamiseksi tarvitaan erittäin hyvät perustelut, kuten esimerkiksi vakuuttava osoitus siitä, että malli tai skenaario ei kuvaa jäsenmaan todellista tilannetta tietyn sektorin osalta.

Göteborgin pöytäkirjan uudistamisessa Suomelle asetetut, LCP-sektorin kannalta olennaisten päästökomponenttien vähennystavoitteet on esitetty taulukossa 1. Rikkidioksidin osalta Suomelle ehdotettu tavoite on selvästi alhaisempi kuin skenaarion minimivaatimus. Tämä johtui useasta seikasta, kuten pienistä epäkohdista perusvuoden mallinnuksessa, liian optimistisesta savukaasunpuhdistimien käyttöennusteesta raskaalle polttoöljylle ja ristiriidoista PRIMES:in ja kansallisen Energiastrategian välillä.

Euroopan komissio käyttää samaa GAINS-laskentaa päästökattodirektiivin (NEC) uudistamisessa, joka toteutetaan osana EU:N Ilmansuojelustrategian uudistamista. Komission arvion mukaan direktiiviehdotus voitaisiin antaa vuoden 2013 aikana. IIASA:n on tarkoitus järjestää kahdenvälisiä kokouksia jäsenmaiden asiantuntijoiden kanssa GAINS-mallin laskentaparametrien tarkentamisesta Ilmansuojelustrategian uudistamiseen käytettäviä skenaarioita ajatellen.

*Taulukko1. GAINSin minimiskenaarion mukaiset päästökehitykset ja Suomelle esitetyt päästövähennystavoitteet vuodesta 2005 vuoteen 2020.*

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2.5</sub>
GAINS CLE P09	40 %	35%	29%
Suomelle esitetyt vähennystavoitteet	30%	35%	30%

### 3. GAINS-mallin käytettävyys Suomen LCP-sektorin kuvaamiseen

Tässä luvussa tarkastellaan, kuinka hyvin Suomen LCP-sektorin päästöt on mallinnettu tilastoituihin energiankäyttötietoihin perustuvassa historiallisten vuosien laskennassa. Tarkasteluvuotena on Göteborgin pöytäkirjauudistuksen ja NEC-direktiivin valmisteluissa käytetty perusvuosi 2005.

#### 3.1 Suomen LCP-sektori GAINS-mallissa vuonna 2005

Vuotta 2005 on käytetty perusvuotena Euroopan alueen päästövähennyssopimuksissa, jossa määrätään jäsenmaille kiinteiden päästörajojen sijaan perusvuoteen verrattavat suhteelliset päästötavoitteet. Tämä tarkoittaa, että perusvuoden päästöjen ei tarvitse välttämättä olla täysin yhtäpitävät kansallisen päästöinventaarin kanssa, kunhan polttoainemäärät ja poltossa ja savukaasunpuhdistuksessa käytettävät tekniikat ovat pääsääntöisesti linjassa, jolloin malliin on mahdollista syöttää realistisia ja toteutettavissa olevia vähennysmenetelmiä. Vastaavasti vaikka mallin antamat päästöt olisivatkin perusvuoden osalta samat kuin Suomen ilmoittamat, ei se automaattisesti vahvista laskennan toimivuutta. Ongelmia voi syntyä esimerkiksi polttoainekäyttöjen jakamisesta väärille sektoreille, epärealistisista arvioista savukaasunpuhdistuksen erotusasteen suhteen tai tietyn puhdistustekniikan yleisyyden ali- tai yliarvioinnista nykyisessä laitostasossa. Jos mallinnus ei vastaa energiantuotantosektorin todellista rakennetta, soveltuu se myös huonosti päästövähennyspotentiaalin arvioimiseen.

##### 3.1.1 Sektorijaot energiantuotannossa

Koska malli on globaali ja sisältää moninaisen kirjon päästökomponentteja, on ollut välttämätöntä tehdä yksinkertaistuksia, jotta laskenta pysyisi hallittavana. Maakohtaisia energiantuotantojärjestelmiä ei ole kuvattu laitostasolla, vaan erilaisina sektoreina. Sektorikoodi ilmoittaa, käytetäänkö laitosta teollisuuden vai yhdyskuntien energiantuotantoon, ja jälkimmäisten kohdalla onko laitos valmistunut ennen vai jälkeen vuoden 1995. Sektorikoodi voi myös kertoa, onko polttotekniikkana arina-, leijukerros- vai pölypoltto. Lisäksi sektoreille on maakohtaisesti määritetty keskimääräiset laituskoot ja vuosittaiset käyttöajat savukaasunpuhdistimien investointi- ja yksikkökustannusten laskemista varten.

Kuhunkin sektoriin voidaan yhdistää erilaisia savukaasunpuhdistusmenetelmiä ja niiden suhteellinen käyttöosuus koko maan tasolla. Sektoreilla on omat maakohtaiset peruspäästökertoimensa eri polttoaineille, ja lopulliset piipunpääkertoimet määräytyvät käytetyn savukaasunpuhdistimen mukaan. Näin samalle sektorille ja päästökomponentille on tyypillisesti eri alasektoreita omine päästökertoimineen, jotka riippuvat käytettävästä polttoaineesta ja savukaasunpuhdistustekniikasta. Taulukossa 2 näkyy tyyppiesimerkkejä tärkeimmistä sektoreista selityksineen ja päästökertoimineen.

*Taulukko2. Suomalaisia energiantuotantolaitoksia kuvaavia esimerkkisektoreita. Päästövähennystekniikan erotustehokkuudet suluisissa kuvausten jälkeen.*

Sektori	Selitys	Poltto- aine- teho	Huipun- käyttöaika	SO <sub>2</sub> päästö- kerroin	Päästö- vähennys- tekniikka	NO <sub>x</sub> päästö- kerroin	Päästö- vähennys- tekniikka	PM <sub>2.5</sub> päästö- kerroin	Päästö- vähennys- tekniikka
		MW	h/a	mg/MJ		mg/MJ		mg/MJ	
IN_BO-HF	Raskasta polttoöljyä käyttävä teollisuuden lämpölaitos	40	3500	284	Vähärikkinen polttoöljy (75%)	180	-	33.6	"Hyvä palamisen säätely" (30%)
PP_EX_OT H3-BC1	Turvetta käyttävä pöly-polttolaitos	160	4800	320	-	89	Poltto teknisiä muutoksia (65%)	20.324	1-kenttäinen sähkösuodatin (93%)
PP_EX_OT H-GAS	Maakaasua käyttävä voimalaitos	250	4400	0	-	62	Poltto teknisiä muutoksia (65%)	0.1	-
PP_EX_OT H3-HC1	Kivihiililtä käyttävä pöly-polttolaitos	600	3800	54	Jälkikäteen asennettu märkä rikinpoisto (90%)	74	Poltto teknisiä muutoksia ja SCR (80%)	7.079	2-kenttäinen sähkösuodatin (96%)
PP_EX_OT H-OS1	Puupolttoainetta käyttävä lämpölaitos	30	4000	1	-	125	-	10.672	1-kenttäinen sähkösuodatin (93%)

Taulukon esimerkkilaitokset on valittu yleisimmän käytössä olevan savukaasunpuhdistusmenetelmän mukaan, joten ne eivät kata kaikkia samaa polttoainetta käyttäviä, vastaavan polttotekniikan laitoksia. Esimerkiksi kivihiiltä käyttävistä voimalaitoksista 85 % on arvioitu olevan varustettu määrällä rikinpoistomenetelmällä, 6 % kuivamenetelmällä ja loput 9 % on ilman teknistä rikinpuhdistusjärjestelmää, mutta käyttävät vähärikkistä kivihiiltä. Märän rikinpoistomenetelmän erotustehokkuus mallissa on 90 % vanhoille laitoksille ja 95 % uusille. Vaihtoehtoista puuttuu puolikuiva menetelmä.

Laskemalla aktiviteeteilla painotettu keskiarvo kaikista kivihiiltä käyttävistä alasektoreista saadaan SO<sub>2</sub>-päästökertoimeksi 96 mg/MJ, joka on toteutuneisiin päästöihin verrattuna melko alhainen. Kivihiililaitosten keskimääräiset päästöt ovat laskeneet melko tasaisesti 2000-luvulla, ja vuodesta 2009 eteenpäin aktiviteettipainotettu keskiarvo päästökertoimille on ollut alle 100 mg/MJ. Vuonna 2005 luku oli kuitenkin vajaa 140 mg/MJ. LCP-asetuksessa rajat olivat olemassa oleville laitoksille 145-720 mg/MJ. Typenoksidien kohdalla keskimääräinen päästökerroin, 73 mg/MJ on myös kovin alhainen, kun laitosten ilmoittamien päästöjen mukaan keskiarvo oli noin 170 mg/MJ. LCP:n raja olemassa oleville laitoksille oli 180 mg/MJ. Päästökattoja määrittäessä perusvuoden päästökertoimien arvioiminen alakanttiin on kuitenkin jäsenmaan kannalta turvallisempaa kuin liian korkeiden päästökertoimien käyttö. Jälkimmäisessä vähennyspotentiaali näyttäytyisi liian suurena, jolloin vähennysvaatimuksista tulisi helposti epärealistisia. Mahdollisimman tarkka mallinnus on tietysti toivottavaa, jotta toimenpiteiden ympäristö-/ terveyshyötyjä ja kustannuksia voidaan laskea mielekkäällä tarkkuudella.

### 3.1.2 Polttoaineenkäytöt ja päästökertoimet sektoreittain

GAINS-mallin historiavuosien polttoaineenkäytöt ja niiden jako sektoreihin tulevat PRIMES:ista, jossa taas luvut pohjautuvat Eurostat-tilastoihin. Lukujen pitäisi siis vastata hyvin Energiatilastoissa raportoituja aktiviteetteja, mutta joitain eroja silti löytyy. Taulukossa 3 näkyy perusvuoden 2005 polttoaineenkäytöt teollisuuden ja julkisen energiantuotannon voimaloissa.



Suurin osa luvuista on hyvin linjassa, mutta erilaisesta luokittelusta johtuen esimerkiksi biomassapohjaisten tuotteiden sekä prosessikaasujen ja masuunien raaka-ainekäytön kohdalla on epäyhteneväisyyksiä. Selvästi suurin ero taulukoissa on se, että GAINSin aktiviteeteissa mustalipeä on laitettu samaan sarakkeeseen biomassan kanssa (OS1). Tässä jaottelussa mustalipeän käyttö ei siis aiheuta esimerkiksi rikkipäästöjä, mutta tilannetta on kompensoitu nostamalla selluteollisuuden prosessiperäisten päästöjen SO<sub>2</sub>-päästökerrointa.

Taulukon ylä- ja alaosan sarakkeiden otsikot vastaavat toisiaan, ja malleissa käytettyjen lyhenteiden selitykset löytyvät liitteestä 1. GAINS:iin merkatuissa primäärienergioissa on noin 25 PJ enemmän polttoaineenkäyttöä. Erot tulevat pääosin biomassasta, jossa GAINS'in luku on selvästi korkeampi kuin Energiatilaston yhteenlaskettu mustalipeä ja biomassassa.

*Taulukko 3. Sektorikohtaiset primäärienergiat eri polttoaineille (PJ). Taulukon ensimmäisessä osassa GAINS-mallin syötetiedot jaettuna teollisuuden ja vanhojen/uusien, julkisten energiantuotantolaitosten polttoaineenkäyttöihin. Toisessa osassa GAINS'in polttoainekoodeja vastaavat energiankäytöt Energiatilastosta [3]*

Activity-Sector	BC2	HC1	-	OS1	OS2	HF	MD	LPG	GAS	Summa:
IN_BO	1.4	0.0	-	9.9	0.7	13.5	7.3	19.9	9.9	62.5
PP_EX_OTH	66.3	73.8	-	173.2	6.6	18.8	1.0	-	124.8	464.5
PP_NEW	0.0	2.2	-	48.0	0.0	2.3	0.1	-	5.0	57.5
Summa	67.7	76.0	-	231.1	7.3	34.6	8.4	19.9	139.7	584.6
Lähde-polttoaine	Turve	Kivihiili	Mustalipeä	Biomassa	Kierrätyspolttoaineet	RPÖ	KPÖ	Neste-kaasu	Maa-kaasu	Summa:
Teollisuuden energiantuotanto	12.4	7.2	132.1	61.4	-	17.8	7.1	12.5	68.2	288.6
Erillinen sähköntuotanto + CHP	55.3	73.2	-	25.2	11.3	12.6	0.9	-	78.8	257.2
Summa	67.7	80.4	132.1	86.6	11.3	30.4	8.0	12.5	147.0	558.3

GAINS -mallin sektori- ja polttoainekohtaiset päästökertoimet tarkastelluille päästökomponenteille näkyvät taulukoissa 4-6. Kunkin polttoaineen kohdalla merkittävimmän käyttösektorin luku on lihavoitu. Vastaavia sektorikohtaisia arvoja ei ole Energiatilastosta ja kansallisesta päästöinventaarista suoraan saatavilla, joten päästöjä on verrattu seuraavassa luvussa kansallisiin mallinnustuloksiin.

*Taulukko 4. Vuoden 2005 polttoainekohtaiset SO<sub>2</sub>-päästökertoimet voimalaitossektoreille [mg/MJ]*

Sector/Activity	BC2	HC1	OS1	OS2	HF	MD	LPG	GAS
IN_BO	293	-	1	28	284	95	0	12
PP_EX_OTH	224	98	1	26	479	95	-	0
PP_NEW		28	1	-	286	167	-	0

*Taulukko 5. Vuoden 2005 polttoainekohtaiset NO<sub>x</sub>-päästökertoimet voimalaitossektoreille [mg/MJ]*

Sector/Activity	BC2	HC1	OS1	OS2	HF	MD	LPG	GAS
IN_BO	200	-	190	56	180	80	70	71
PP_EX_OTH	96	74	81	51	100	76	-	62
PP_NEW	-	32	47	-	100	0	-	40

Taulukko 6. Vuoden 2005 polttoainekohtaiset PM2.5-päästökertoimet voimalaitossektoreille [mg/MJ]

Sector/Activity	BC2	HC1	OS1	OS2	HF	MD	LPG	GAS
IN_BO	11	-	107	16	34	-	0	0
PP_EX	24	4	11	16	6	1	-	0
PP_NEW	-	2	6	-	6	0	-	0

### 3.1.3 Päästöt sektoreittain

Koska Energiatilastossa tai kansallisessa päästöinventaarissa ei ole jaoteltu päästöjä vastaavalla tarkkuudella, on GAINS:in sektori- ja polttoainekohtaisia päästöjä verrattu SYKE:ssä kehitettyyn FRES-malliin [4], jolla lasketaan myös kansallisten energiastrategioiden tulevaisuusskenaarioiden ilmapäästöt [5]. Mallin perusvuosi 2005 on viritetty Energiatilaston mukaisille aktiviteeteille ja siinä on käytetty päästökertoimina keskiarvoja laitosten ilmoittamista luvuista. FRES-malli on tarkoituksella luotu vastaamaan GAINS:in sektoreita mahdollisimman yhteensopivasti, mutta kansallisena mallina siinä on mahdollista käyttää tarkempaa laskentaa. Esimerkiksi merkittävimmät energia- ja teollisuuslaitokset ovat mallissa pistelähteinä, jolloin niiden tiedot ovat laitoskohtaisia sektorikohtaisten sijaan.

Rikkidioksidipäästöjen vertailu GAINS- ja FRES-mallien välillä on esitetty taulukossa 7, josta näkyy, että vastaavuudet ovat melko hyviä. Selkein ero tulee jälleen siitä, että GAINS:ista puuttuu mustalipeän käyttö, joka tuottaa rikkipäästöjä. Kivihiilen kohdalla (HC1) päästökerroin on GAINS-mallissa selkeästi FRES:in arvoa matalampi, kuten luvussa 3.1.1 todettiin. Toisaalta taas raskaan polttoöljyn (HF) käyttömäärä ja päästökerroin ovat jonkun verran kansallista arviota korkeampia.

Taulukko 7. Sektorikohtaiset SO<sub>2</sub>-päästöt eri polttoaineille GAINS-mallin (yläosa) ja FRES-mallin (alaosa) laskennassa.

Sector/Activity	BC2	HC1	OS1	-	OS2	HF	MD	LPG	GAS	Summa
IN_BO	0.4	-	0.0	-	0.0	3.8	0.7	-	0.1	5.1
PP_EX_OTH	14.8	7.2	0.2	-	0.2	9.0	0.1	-	-	31.5
PP_NEW	0.0	0.1	0.1	-	0.0	0.7	0.0	-	-	0.8
Summa	15.2	7.3	0.2	-	0.2	13.5	0.8	-	0.1	37.3
Sektor/Polttoaine	PEA	COA	WOO	BLI	WAS	OIL	DIE	-	GAS	Summa
IN_BO	4.8	2.8	-	2.1	-	6.0	0.3	-	-	16.0
PP_EX	6.8	8.3	-	-	1.1	3.0	0.0	-	-	19.2
PP_NEW	2.7	0.9	-	-	-	0.3	-	-	-	3.9
Summa	14.3	12.0	-	2.1	1.1	9.3	0.3	-	-	39.1

Taulukossa 8 vertaillaan typenoksidipäästöjä, joiden kohdalla erot ovat muita päästökomponentteja suuremmat. Erot tulevat lähinnä turpeen, kivihiilen ja kaasun poltosta, joille NO<sub>x</sub> -päästökertoimet ovat jossain määrin kansallisesti laskettuja keskiarvoja alhaisemmat.

*Taulukko 8. Sektorikohtaiset NOx-päästöt eri polttoaineille GAINS-mallin (yläosa) ja FRES-mallin (alaosa) laskennassa.*

Sector/Activity	BC2	HC1	OS1	-	OS2	HF	MD	LPG	GAS	Summa
IN_BO	0.3	-	1.9	-	0.0	2.4	0.6	1.4	0.7	7.3
PP_EX_OTH	6.4	5.5	14.1	-	0.3	1.9	0.1	-	7.7	36.0
PP_NEW	-	0.1	2.3	-	-	0.2	-	-	0.2	2.8
Summa	6.6	5.6	18.2	-	0.4	4.5	0.7	1.4	8.6	46.0
Sektor/Polttoaine	PEA	COA	WOO	BLI	WAS	OIL	DIE	-	GAS	Summa
IN_BO	3.1	2.0	7.2	8.2	-	2.5	0.7	-	6.4	30.1
PP_EX	4.4	10.2	2.5	-	0.9	1.1	0.1	-	3.8	22.9
PP_NEW	1.4	0.9	0.6	-	-	0.1	-	-	2.1	5.1
Summa	8.9	13.1	10.3	8.2	0.9	3.7	0.7	-	12.3	58.0

Pienhiukkasten kohdalla voimalaitosten kokonaispäästöjen vastaavuus mallien välillä on melko hyvä (taulukko 9). Polttoainekohtaisissa vertailuissa päästöt sen sijaan vaihtelevat hieman. Mustalipeän käytöstä tulee tuotettua energiaa kohti keskimääräisesti suuremmat hiukkaspäästöt kuin puun poltosta, joten GAINS:in OS1-sarakkeessa (biomassa) voisi korkeampi päästökerroin olla paikallaan. Tosin turpeenpolton päästökerroin on GAINS:issa vastaavasti hieman FRES:in arviota korkeampi.

*Taulukko 9. Sektorikohtaiset PM2.5-päästöt eri polttoaineille GAINS-mallin (yläosa) ja FRES-mallin (alaosa) laskennassa.*

Sector/Activity	BC2	HC1	OS1	-	OS2	HF	MD	LPG	GAS	Summa
IN_BO	0.0	-	1.1	-	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	1.5
PP_EX_OTH	1.6	0.3	1.8	-	0.1	0.1	0.0	-	0.0	3.9
PP_NEW	-	0.0	0.3	-	-	0.0	-	-	-	0.3
Summa	1.6	0.3	3.2	0.0	0.1	0.6	0.0	0.0	0.0	5.8
Sektor/Polttoaine	PEA	COA	WOO	BLI	WAS	OIL	DIE	-	GAS	Summa
IN_BO	0.3	0.1	0.8	2.5	0.0	0.5	0.0	-	0.0	4.2
PP_EX	0.2	0.2	0.3	-	0.0	0.3	0.0	-	-	1.0
PP_NEW	0.1	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	-	-	0.1
Summa	0.6	0.3	1.2	2.5	0.0	0.8	0.0	-	0.0	5.4

GAINS:in jaottelu energiantuotannon ja prosessipäästöjen suhteen eroaa hieman FRES:istä. Esimerkiksi masuunien kohdalla GAINS:ista ei ole suoraan nähtävissä, mikä osa polttoaineesta käytetään energiantuotantoon ja mikä pelkistysaineeksi. Karkeammalla jaottelulla, jossa näkyy kaikki julkiseen ja teollisuuden käyttöön tarkoitettua energiantuotannon polttoprosessien päästöt, saadaan mukaan koko energiantuotantosektori. Taulukossa 10 näkyy molempien mallien antamat energiantuotannon kokonaispäästöt perusvuodelle 2005. Luvuissa on mukana myös esim. öljynjalostamojen ja muiden entisen LCP-sektorin ulkopuolelle jäävien teollisuusprosessien energiapolttua. Ottamalla myös nämä lähteet mukaan, energiantuotannon NOx-päästöt mallien suhteen tasoittuvat taulukkoon 8 verrattuna.

Taulukko 10. GAINS:illa ja FRES:illa mallinnetut, kaikkien energiantuotannossa käytettyjen polttoaineiden päästöt vuonna 2005 [kt/a]

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>2.5</sub>
GAINS julkinen energiantuotanto	32.3	39.0	4.3
GAINS teollisuuden energiantuotanto	15.9	22.44	3.1
Summa	48.2	61.4	7.4
FRES julkinen energiantuotanto	22.5	27.8	1.0
FRES teollisuuden energiantuotanto	21.2	34.7	4.5
Summa	43.7	62.5	5.5

### 3.1.4 Arvio soveltuvuudesta

GAINS-mallin antamien päästöjen tarkka vertailu inventaarin päästöihin on vaikeaa sektorijakojen erilaisuuden vuoksi. Kokonaispäästöjen hyvä yhteneväisyys tietynä vuonna taas ei välttämättä kerro vielä mallin toimivuudesta. Koska tulevaisuuden päästöt on joka tapauksessa arvioitava mallintamalla, eikä keräämällä laitosten ilmoittamia päästötietoja, on päästökattoselvityksen yhteydessä järkevintä verrata GAINS-mallin laskentaa jäsenmaiden kansallisiin malleihin.

Vaikka GAINS- ja FRES-mallit ovat hyvin yhteensopivia sektoreiltaan, niiden jaottelu eroaa hieman teollisuuden energiantuotannon ja prosessiperäisten päästöjen osalta. Lisäksi mustalipeän puuttuminen polttoaineena, ja sen aktiviteetin lisääminen biomassaan GAINS:issa vaikeuttaa osaltaan suoraa sektori- ja polttoainekohtaista vertailua. Sen takia karkean tason tarkastelu yleensä riittää, ellei mallien välillä ilmene selviä ristiriitoja. GAINS:illa olisi kyllä teoriassa mahdollista mallintaa maiden päästöjä hyvinkin tarkasti, jos polttoaineenkäytöt on jaoteltu oikeille sektoreille ja sektorikohtaiset päästökertoimet ja savukaasunpuhdistusmenetelmät eri vuosille on tuotu jostain tarkemmasta mallista (kuten FRES:istä), jossa laitoskohtaisella tarkastelulla saadaan laskettua maakohtaiset keskiarvot mainituille muuttujille. Tällainen jatkuva päivitys- ja tarkistustyö vaatisi kuitenkin valtavasti resursseja.

Edellisten lukujen tarkastelut osoittavat, että GAINS:in polttoaineenkäytöt ja päästöt ovat energiantuotantosektorin osalta kohtuullisen hyvin linjassa Energiatilaston ja kansallisen FRES-mallin kanssa. Koska maakohtaisissa päästövähennystavoitteissa on kyse suhteellisista vähennyksistä perusvuoteen 2005 verrattuna, eikä absoluuttisista päästökatoista, ei GAINS:in mallintamien päästöjen tarvitse olla täysin kansallisten arvioiden mukaiset. Tärkeämpää on arvioida, miten realistisia mallin tarjoamat päästövähennystoimenpiteet ja niiden vaikutukset ovat.

## 3.2 LCP-sektori 2020: PRIMES vs kansallinen strategia

Koska Göteborgin pöytäkirjassa ja NEC-direktiivissä käsiteltävä alue kattaa lähes koko Euroopan, ja kaukokulkeuman vaikutukset tietyn alueen ilmanlaatuun ovat usein merkittäviä, päädyttiin vähennysskenaarioiden suunnittelussa käyttämään aktiviteettipolkuna PRIMES-mallilla laskettuja arvoja kansallisten skenaarioiden sijaan. Päätös herätti vastustusta useiden jäsenmaiden taholta (myös Suomen), sillä PRIMES:in antamat aktiviteettiarviot voivat erota kansallisesta strategiasta paljonkin. Suomen kohdalla näin oli erityisesti prosessiteollisuuden volyymien kasvuarvioiden kohdalla. Tosin kansallinen Energia- ja ilmastostrategia valmisteltiin ennen vuoden 2008 finanssikriisiä, ja sen ennusteet teollisuuden kehitykselle olivat hyvin optimisia nykytilanteen valossa. Vuonna 2012 valmistuvassa strategiassa nämä arviot ovat todennäköisesti hieman maltillisempia, ja siten lähempänä PRIMES:in linjaa. Pöytäkirjauudistuksen taustatyö on kuitenkin perustunut edelliseen, 2008 julkaistuun strategiaan.

Taulukko 11. PRIMES-aktiviteettipolun ja Suomen kansallisen Energia- ja ilmastostrategian mukaiset voimalaitosten polttoaineenkäytön kehittymiset 2005-2020 [PJ] jaettuna GAINS:in ja FRES:in polttoaineluokkiin, vastaavasti.

	GAINS/PRIMES			FRES/Kansallinen strategia		
	2005	2020	muutos	2005	2020	muutos
BC	68	62	-8 %	68	70	3 %
HC1	76	100	32 %	81	96	19 %
OS1	231	266	15 %	89	124	40 %
OS2	7	20	179 %	143	158	10 %
HF	35	20	-43 %	30	31	1 %
MD	8	4	-50 %	8	7	-19 %
LPG	20	15	-22 %	-	-	-
GAS	140	144	3 %	147	152	3 %
Summa	585	632	8 %	565	637	13 %

PRIMESin ja Suomen Energia- ja ilmastostrategian ennusteet polttoaineenkäytön kehittymiselle voimalaitossektorilla ovat suurimmalta osin melko hyvin linjassa. Merkittävin ero kehityspoluissa oli prosessiteollisuuden tuotantovolyyymien välillä, joka taulukossa 11 näkyy lähinnä raskaan ja kevyen polttoöljyn kohdalla. Myös turpeen energiankäytön kasvuennusteet ovat erisuuntaisia, vaikkakin erot absoluuttisissa määrissä ovat pienet. Raskaan polttoöljy, turpeen ja kivihiilen poltto aiheuttaa suurimman osan rikkidioksidipäästöistä ja ovat myös typenoksidipäästöjen merkittäviä lähteitä, joten niiden aktiviteettikehitys on tärkeässä roolissa arvioitaessa tulevaisuuden päästöjä.

### 3.3 IE-direktiivin vaikutukset 2020

IE-direktiivi, eli Euroopan neuvoston ja parlamentin direktiivi (2010/75/EU) teollisuuden päästöistä tuli voimaan 6.1.2011, kumoten seitsemän aikaisemmin voimassa ollutta, teollisuuden toimintaa säätelevää direktiiviä. Teollisuuspäästädirektiivi yhdenmukaistaa ja tehostaa aiempien direktiivien täytäntöönpanoa, tavoitteena vähentää teollisuuden aiheuttamia ympäristö- ja terveyshaittoja. Kansallisessa lainsäädännössä direktiivin määräykset tulee ottaa voimaan 6.1.2013 mennessä.

Teollisuuspäästädirektiivin alle siirtyvät myös suuret energiantuotantolaitokset, jotka aiemmin kuuluivat LCP-direktiivin piiriin. Lisäksi direktiivin soveltamisala laajenee kattiloiden yhteenlaskemissäännön perusteella, jossa samaan ulkopiippuun yhdistetyt, vähintään 15 MW laitokset lasketaan mukaan, jos niiden yhteisteho on 50 MW tai enemmän. Uusissa laitoksissa yhteenlaskemissääntöä sovelletaan, jos savukaasut voitaisiin johtaa yhteiseen ulkopiippuun.

Laitoskokonaisuuksien päästöraajat määräytyvät BAT-päätelmien mukaisten päästötasojen perusteella. Poikkeamat näistä tasoista ovat mahdollisia tietyin direktiivissä mainituin edellytyksin, mutta päästötasojen on aina alitettava IE-direktiivin liitteessä V ilmoitetut päästöraja-arvot. Direktiivin käyttöönotossa on tiettyjä joustomahdollisuuksia, ja laitoksille, joiden käyttötuntien määrä viiden vuoden liukuvana keskiarvona on enintään 1500 h/a, on mahdollista soveltaa lievempiä päästörajoja rikin- ja typenoksidien osalta. IE-direktiivin aikaisempaa tiukemmat raja-arvot ja yhteenlaskemissäännöstä seuraava pienempien kattiloiden mukaan ottaminen vaikuttavat merkittävästi energiantuotantolaitosten päästötasoihin. Liitteen V mukaiset vähimmäisvaatimukset polttolaitosten päästörajoille tulevat noudatettaviksi uusissa laitoksissa 7.1.2013 lähtien ja olemassa olevissa laitoksissa 1.1.2016.

### 3.3.1 IE-direktiivin vaikutus GAINS-mallissa ja kansallisen tarkastelun perusteella

GAINS-laskennassa IE-direktiivin vaikutukset mallinnetaan ns. kontrollistrategialla, jossa säädetään kullekin vuodelle eri savukaasunpuhdistimien käytön yleisyys sektoreittain. Esimerkiksi rikinpoiston märkämenetelmä oli vuonna 2005 käytössä 85 %:ssa kivihiililaitoksista, ja vuonna 2020 osuus oli peruslinjan mukaisessa strategiassa 94 %. Päästövähennysmenetelmien käyttöönottoa säätelemällä saadaan muokattua sektorikohtaiset päästökertoimet halutulle tasolle. Peruslinjassa, joka on ollut Suomelle kaavailtujen päästökattojen taustana, päästökertoimet on koetettu asettaa vastaamaan IE-direktiivistä seuraavia vaatimuksia. Direktiivin soveltaminen piippusääntöineen, monipolttoainekattiloita koskevine laskusääntöineen ja BAT-tasoihin pohjautuvine rajoineen ei kuitenkaan ole tämän tarkkuusluokan mallissa kovin suoraviivaista.

Taulukoissa 12-14 näkyvät vuoden 2020 sektori- ja polttoainekohtaiset päästökertoimet tarkastelluille päästökomponenteille. Kunkin polttoaineen kohdalla merkittävimmän käyttösektorin luku on lihavoitu.

*Taulukko 12. Peruslinjan mukaiset vuoden 2020 polttoainekohtaiset SO<sub>2</sub>-päästökertoimet voimalaitossektoreille [mg/MJ]*

Sector/Activity	BC2	HC1	OS1	OS2	HF	MD	LPG	GAS
IN_BO	223	-	1	25	204	-	0	12
PP_EX_OTH	166	70	1	26	165	48	-	0
PP_NEW	-	29	1	-	125	48	-	0

*Taulukko 13. Peruslinjan mukaiset vuoden 2020 polttoainekohtaiset NO<sub>x</sub>-päästökertoimet voimalaitossektoreille [mg/MJ]*

Sector/Activity	BC2	HC1	OS1	OS2	HF	MD	LPG	GAS
IN_BO	149	-	160	62	134	-	70	44
PP_EX_OTH	96	74	81	52	99	79	-	61
PP_NEW	-	29	47	-	100	48	-	40

*Taulukko 14. Peruslinjan mukaiset vuoden 2020 polttoainekohtaiset PM<sub>2.5</sub>-päästökertoimet voimalaitossektoreille [mg/MJ]*

Sector/Activity	BC2	HC1	OS1	OS2	HF	MD	LPG	GAS
IN_BO	7	-	16	16	10	-	0	0
PP_EX_OTH	8	3	6	16	2	1	-	0
PP_NEW	-	2	6	-	2	0	-	0

Teollisuuspäästödirektiivissä laitospäästökertoimet määrätään yksilöllisesti, kun taas kivihiililaitosten osalta ne määräytyvät laitospäästökertoimien ja kivihiililaitosten kokonaistehon ja käytettyjen polttoaineiden mukaan. Jos laitoksen kattiloissa käytetään useita polttoaineita, rajat lasketaan niiden suhteellisten osuuksien mukaan. Laitoksille myönnetään yksilölliset, BAT-tekniikoihin perustuvat päästöraajat, mutta asetuksissa on säädetty myös kaikille laitoksille yhteiset maksimipäästökertoimet, joita ei saa ylittää. IED:n ja alle 50 MW:n laitosten PINO-asetuksen mukaiset enimmäispäästöraajat näkyvät liitteessä 2.

Suomen ympäristökeskuksessa on valmisteilla selvitys, jossa tarkastellaan teollisuuspäästödirektiivin vaikutuksia Suomessa [6]. Raportissa on selvitetty myös, mitkä kattilat yhdistetään piippusääntöön mukaisesti yhteiseksi laitospäästökertoimeksi, jolloin se ottaa huomioon

myös osan 15-50 MW:n laitoksista. Näiden laitosten päästökertoimien painotetut keskiarvot on esitetty polttoainekohtaisesti taulukossa 15. Lukuja voi käyttää GAINS:in päästökerrointen analysointiin tietyin varauksin. On muistettava, että GAINS mallin päästökerrointen on kuvattava kaikkien laitosten keskiarvoja, myös 1-50 MW:n kokoluokan laitoksissa, jotka eivät ole IED-tarkastelun piirissä. Lisäksi taulukossa 15 laitokset on jaoteltu pääpolttoaineen mukaan, jolloin varsinkin puun ja turpeen yhteispolttolaitoksissa rikkidioksidipäästökerroin ei ole kovin vertailukelpoinen GAINS:in kanssa. Lisäksi verrattaessa päästökertoimia liitteen 2 rajoihin, on muistettava, että taulukoiden 12-15 luvuissa on mukana myös huippuvoimaloita, joilla voi olla lievemmat vaatimukset päästörajojen suhteen.

*Taulukko 15. IE-direktiivin piiriin kuuluvien laitosten arvioitu keskimääräinen päästökerroin vuodelle 2020.*

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TSP
Kivihilli	63	75	4
Raskas polttoöljy	114	79	6
Maakaasu	1	49	0.1
Turve	80	81	5
Biomassa	42	81	4

Vertaamalla GAINS:in peruslinjan päästökertoimia kansallisen laitospäätökohtaisen tarkastelun antamiin keskimääräisiin lukuihin voidaan todeta, että suurimmalta osin ne ovat hyvin linjassa, varsinkin tärkeimpien sektori-polttoaineyhdistelmien kohdalla. GAINS:in luvut ovat usein hieman korkeampia kuin taulukossa 15, mikä on perusteltua, sillä niissä on huomioitu myös IE-direktiivin ulkopuolelle jäävät pienet laitokset, joissa päästöraajat ovat lievempiä.

Syntyvien päästöjen valossa ehkä huomattavin epäkohta GAINS:in luvuissa on SO<sub>2</sub>-päästökerroin raskaan polttoöljyn käytölle. Aktiiviteeteilla painotettu keskiarvo GAINS:issa on 149 mg/MJ. Se on kyllä korkeampi kuin IED-laitoksille laskettu keskiarvo 114 mg/MJ, mutta on muistettava, että noin 95 % raskaasta polttoöljystä käytetään alle 50 MW:n laitoksissa, joiden PINO-asetuksen mukainen päästökerroin rikkidioksidille on 247 mg/MJ. Piippusäännön johdosta noin kolmasosa näistä laitoksista tulee silti IE-direktiivin alaisuuteen. Jos oletetaan, että loppujen laitosten päästöraajat ovat lähellä PINO-asetuksen maksimia, jää laskennalliseksi keskiarvoksi hieman reilu 200 mg/MJ. Tämä ei sinänsä vielä tuota suurta muutosta lopullisiin päästöihin, mutta kun se yhdistetään taulukon 11 arvioihin polttoaineenkäyttöjen kehittymisestä, tulee GAINS:in ja kansallisen arvion välille jo merkittävä ero.

Hiukkaspäästökerrointen vertailussa on huomioitava, että GAINS:in luvut ovat PM<sub>2.5</sub>-hiukkasia (pienhiukkasia, joiden halkaisija on alle 2.5µm) ja taulukon 15 luvut sisältävät myös karkeat hiukkaset. Tämä siksi, että teollisuuspäästödirektiivissä ja PINO-asetuksessa päästöraajat koskevat hiukkasia ylipäänsä, ja kansainvälisissä kaukokulkeumasopimuksissa tarkastelun kohteena ovat nimenomaan pienhiukkaset.

### 3.4 Arvioidut päästöt vuonna 2020 sektoreittain

Päästökattoneuvotteluissa maakohtaisten tavoitteiden asettamisen lähtökohtana on aina GAINS-mallilla laskettu peruslinja, jossa on koetettu mallintaa nykyisen tai ennen kohdevuotta voimaantulevan lainsäädännön vaikutus. Peruslinjan tavoitteita on mahdollista kiristää, jos jäsenmaa kokee sen mahdolliseksi, mutta peruslinjaa pienempien päästövähennysten asettaminen

tavoitteeksi vaatii aina yksityiskohtaiset perustelut siitä, miksi GAINS-mallin vähennysarvio ei ole kyseisen maan kohdalla realistinen.

### 3.4.1 GAINS-mallilla lasketut päästöt

Taulukossa 16 on kuvattu GAINS:in peruslinjan päästöt vuonna 2005 ja 2020, perustuen PRIMES-mallilla vuonna 2009 arvioituun aktiviteettipolkuun. Päästöt on jaettu EMEP:in SNAP-sektorien pääluokkiin. Suurten polttolaitosten kannalta olennaiset sektorit ovat 01:Energiantuotanto ja 03:Teollisuuden energiapoltto. Sektori 01 kattaa julkiset sähkö- ja kaukolämpölaitokset, ja sektori 03 teollisuuden prosesseihin laitosten itse tuottaman energian. Jaottelu sektorien 01, 03 ja 04 (prosessiteollisuuden päästöt) ei ole yksiselitteinen ja laitostietoja ei ole suoraan saatavilla, joten ne aiheuttavat helposti epäyhteneväisyyksiä inventaarin ja eri mallien välillä. Taulukon mukaisessa perusskenaariossa SO<sub>2</sub>-päästöt laskevat 40 %, NO<sub>x</sub>-päästöt 35% ja PM<sub>2.5</sub>-päästöt 29%. Suomelle asetetut vähennystavoitteet ovat SO<sub>2</sub>: 30 %, NO<sub>x</sub>: 35% ja PM<sub>2.5</sub>: 30%, jotka siis rikkidioksidin osalta ovat perusskenaariota lievemmat.

Suurilla polttolaitoksilla prosentuaaliset vähennykset ovat rikkidioksidin ja pienhiukkasten osalta samaa luokkaa kuin koko maan päästöillä. Sen sijaan typenoksideilla polttolaitosten päästöt pysyvät vuoden 2005 tasolla, ja vähennykset tulevat käytännössä kokonaan liikennesektorilta. Voimalaitossektorin polttoaineenkäytön arvioidaan kasvavan tarkasteluaikana, ja typenoksidien kohdalla (jossa GAINS-mallin päästökertoimet voimalaitoksille olivat varsin alhaiset jo 2005) maltillinen kehitys päästövähennystekniikoissa ei riitä alentamaan päästöjä. NO<sub>x</sub>-päästöissä mallin arvioimat vähennykset keskittyvät pääosin liikennesektorille.

Rikkidioksidin osalta GAINS-malli arvioi selvästi suuremmat päästövähennykset voimalaitossektorille kuin kansallinen tarkastelu, ja tärkeimpänä syynä ovat erot raskaan polttoöljyn käytön mallinnuksessa. GAINS:issa perusvuoden päästöt ovat melko korkeat, ja kohdevuodelle on oletettu 70 % laitoksista olevan varustettu rikkipesurilla, jolloin SO<sub>2</sub>-päästökerroin on todennäköisesti arvioitu selvästi alakanttiin. Lisäksi PRIMES:in mukaisessa aktiviteettipolussa raskaan polttoöljyn käyttö laskee selvästi vuoteen 2020, kun se kansallisessa Energiastrategiassa pysyy melko lailla vuoden 2005 tasolla. Osittain näistä huomioista johtuen Suomen SO<sub>2</sub>-vähennystavoitetta suostuttiin poikkeuksellisesti lieventämään GAINS:in peruslinjan mukaisesta skenaariosta.

*Taulukko 16. GAINS -mallin PRIMES-aktiviteettipolkuun pohjautuvan peruslinjan päästöt vuonna 2020.*

	SO <sub>2</sub>		NO <sub>x</sub>		PM <sub>2.5</sub>	
	2005	2020	2005	2020	2005	2020
SNAP1 - sektorit						
01:Energiantuotanto	32.3	20.2	39.0	37.2	4.3	2.3
02:Pienpoltto	2.8	1.6	8.9	8.3	9.1	8.2
03:Teollisuuden energiapoltto	15.9	6.6	22.4	24.7	3.1	2.8
04:Teollisuusprosessit	17.1	12.4	6.6	5.8	2.7	2.4
05:Polttoaineiden louhinta	0	0	0	0	2.5	1.7
06:Liuottimet	0	0	0	0	0	0
07:Tieliikenne	0.1	0.1	62.3	18.5	3.8	1.4
08:Työkoneet ja muut liikkuvat lähteet	1.2	1.0	47.6	27.9	3.8	1.5
09:Jätteenkäsittely	0	0	0.1	0.1	1.1	1.1
10:Maatalous	0	0	0	0	0.7	0.7
11:Muut	0	0	0	0	0	0
<b>Summa</b>	<b>69.4</b>	<b>41.8</b>	<b>186.9</b>	<b>122.3</b>	<b>31.2</b>	<b>22.2</b>



Hiukkaspäästöjen kohdalla voimalaitokset eivät ole koko maan päästöjen suhteen yhtä merkittävässä roolissa kuin typenoksidien ja erityisesti rikkidioksidin osalta. Eniten päästöjä voimalaitoksista tulee biomassaa polttavista lämpövoimaloista, jotka ovat yleensä polttoaineteholtaan melko pieniä, ja siten myös omaavat korkeammat päästörajat. Tästä syystä GAINS-mallin päästökerroin  $6 \text{ mg}_{\text{PM}_{2.5}}/\text{MJ}$  (joka vastaa noin  $12 \text{ mg}_{\text{TSP}}/\text{MJ}$ ), on luultavasti hieman alakanttiin arvioitu. Kokonaisuudessaan hiukkaspäästöjen vähennykset on kuitenkin arvioitu GAINS:issa hyvin samansuuntaisiksi kuin kansallisessa tarkastelussa.

Taulukossa 17 näkyy GAINS:illa lasketut päästöt MFR-skenaariolle (Maximum Feasible Reduction), jossa kaikille päästösektoreille on oletettu tehokkaimmat toteutettavissa olevat päästövähennystoimet. Tämä ei automaattisesti tarkoita tehokkaimman menetelmän 100 % käyttöönottoa jokaiselle sektorille, vaan GAINS:issa on oletuksina myös joitain sektorikohtaisia rajoituksia sen suhteen, miten suurelle osalle aktiviteeteista on ylipäänsä mahdollista käyttää päästövähennystoimenpiteitä. Kuitenkin esimerkiksi raskaan polttoöljyn käytölle on tässä skenaariossa oletettu vähintään rikkipesuri jokaiseen laitokseen. Koska Suomen kohdalla jo peruslinjan päästövähennystavoitteet näyttivät useimpien päästökomponenttien kohdalla vaativilta, ei tiukemmista tavoitteista ole lähdetty sen enempää neuvottelemaan.

*Taulukko 17. GAINS-mallin PRIMES-aktiviteettipolkuun pohjautuvan MFR-skenaariion päästöt vuonna 2020.*

	SO <sub>2</sub>		NO <sub>x</sub>		PM <sub>2.5</sub>	
	2005	2020	2005	2020	2005	2020
SNAP1 - sektorit						
01:Energiantuotanto	32.3	17.6	39.0	30.9	4.3	0.9
02:Pienpoltto	2.8	1.5	8.9	7.1	9.1	1.3
03:Teollisuuden energiapoltto	15.9	5.0	22.4	19.2	3.1	0.8
04:Teollisuusprosessit	17.1	12.0	6.6	3.8	2.7	1.4
05:Polttoaineiden louhinta	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	1.7
06:Liuottimet	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
07:Tieliikenne	0.1	0.1	62.3	18.5	3.8	1.4
08:Työkoneet ja muut liikkuvat lähteet	1.2	0.9	47.6	27.9	3.8	1.5
09:Jätteenkäsittely	0.0	0.0	0.1	0.0	1.1	0.7
10:Maatalous	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7
11:Muut	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Summa	69.4	37.0	186.9	107.3	31.2	10.3

### 3.5 Mallin rajoitukset ja riskitekijät päästöarvioinnissa

Kansallisella mallilla voidaan arvioida GAINS-laskennan toimivuutta kyseisen maan kohdalla. Jos mallinnetut päästövähennykset ovat hyvin linjassa, ei ole päästökattoneuvottelujen kannalta erityisen tärkeää, millä parametreilla GAINS vähennyspotentialinsa laskee. Jos taas mallit näyttävät hyvin erilaisia tuloksia, on päästövähennystavoitteita sovittaessa pystyttävä osoittamaan GAINS:in skenaarioista selviä virheitä, tai vaihtoehtoisesti tuomaan esiin, miksi kansallinen näkemys vaikkapa aktiviteettien kehittymisestä tai tietyn sektorin päästövähennysmenetelmien käyttöönottomahdollisuuksista on perustellumpi kuin mallin antama.

Suomen laitoskanta on hyvin heterogeeninen, ja vuosittainen energiantarve vaihtelee hyvinkin paljon esim. vesitilanteesta, lämmitystarpeesta ja teollisuuden toiminnasta riippuen. Jos yksittäisten vuosien päästöjä haluttaisiin mallintaa tarkasti, pitäisi tämä ottaa huomioon mallin

laskentaparametreissa. Se kuitenkin vaatisi valtavasti työtä, eikä ole tarkoituksenmukaista tämän tarkkuusluokan globaalissa mallissa, jolla pyritään arvioimaan pitkän aikavälin muutoksia. Nämä vaihtelut on kuitenkin hyvä pitää mielessä, kun tarkastellaan yksittäisiä vuosia, esimerkiksi asetettaessa kansallisia päästövähennystavoitteita kahden tietyn vuoden välille. Göteborgin pöytäkirjauudistukseen ja päästökattodirektiiviin ollaan suunnittelemassa joustomekanismia, jolla vähennysmäärää ei katsottaisi suoraan vuodesta 2020, vaan kolmen vuoden keskiarvona tarkastelujakson lopussa. Järjestelyllä koitettaisiin hieman tasoittaa vuosivaihtelujen merkitystä lopullisiin vähennyslukuihin. Lähtöarvona käytetään kuitenkin vuoden 2005 päästöjä.

Mallin parametreihin on mahdollista vaikuttaa kansallisesti, mutta niiden tarkka läpikäyminen ja päivittäminen on erittäin työlästä, eikä sitä tehdä usein. Siksi on tärkeää, että malli on kaikille avoin ja mahdollisimman läpinäkyvä, ja että sopimusneuvotteluja valmistellessa jäsenmaiden asiantuntijoilta kysytään näkemyksiä mallinnettujen skenaarioiden suhteen. Läpinäkyvyys mallissa on toteutettu melko hyvin, ja sitä voi kuka tahansa käyttää kotikoneellaan suoraan selaimella, mutta näin kokonaisvaltaisen mallin kompleksi rakenne ja pelkkä parametrien lukumäärä vaatii käyttäjältä aikamoista perehtymistä, ennen kuin asiayhteyksiin alkaa päästä käsiksi. Niillä jäsenmailla, joilla on sekä kansallista päästömallinnusosaamista että GAINS-mallin tuntemusta, on sopimusneuvottelujen suhteen etulyöntiasema verrattuna maihin, joilta ne puuttuvat. Tällainen tarkastelu myös auttaa varmistamaan, että GAINS:in melko karkealla lähdejaottelulla saadaan kuitenkin asetettua sektorien päästökertoimet tasolle, jolla ne kuvaavat maan laitospohjaisesti laskettuja keskimääräisiä arvoja mielekkäällä tarkkuudella.

## 4 Yhteenveto ja johtopäätökset

GAINS-päästömallilla lasketut skenaariot toimivat lähtökohtana EU:n ja Kaukokulkeutumissopimuksen alaisten kansainvälisten ilmansaastesopimusten suunnittelussa. Mallin käyttökelpoisuus kunkin jäsenmaan päästöjen realistiseen arviointiin on kriittinen tekijä skenaariotyön tarkoituksenmukaisuudessa. Raportissa arvioitiin GAINS:in mallinustarkkuutta Suomen suurille voimalaitoksille, jotka ennen teollisuuspäästödirektiivin käyttöönottoa kuuluivat LCP-asetuksen piiriin.

GAINS-laskenta mallintaa tarkastelun perusteella Suomen voimalaitossektoria varsin hyvin, suhteellisen karkeasta jaottelustaan huolimatta. Perusvuoden 2005 aktiviteetit on pääsääntöisesti kohdistettu oikeille sektoreille, polttoaineenkäytöt ovat enimmäkseen linjassa Energiatilaston lukujen kanssa ja sektori-polttoainekohtaiset päästöt vastaavat varsinkin rikkidioksidin ja hiukkasten osalta hyvin kansallisen FRES-mallin arvioita. Myös vuoden 2020 päästökertoimet vaikuttavat kansallisen IE-direktiivitarkastelun perusteella olevan suurimmalta osin perusteltuja.

Merkittävimpiä eroja GAINS-mallin ja kansallisten arvioiden välillä on se, että GAINS:ista puuttuu polttoaineena mustalipeä, ja sen käyttö on mallinnettu biomassana. Tämä vaikuttaa syntyviin päästöihin, mutta sille arvioitu aktiviteetti ja käytettävä polttotekniikka ei ratkaisevasti muutu tarkasteluajanjaksona, joten se ei ole päästövähennysten kannalta erityisen oleellista. Tärkeämmät eroavaisuudet koskivat arvioita rikkidioksidivähennyksistä turpeenpolton, kivihiilen ja erityisesti raskaan polttoöljyn osalta. Perusvuoden aktiviteeteista, polttoaineenkäytön kehitysennusteista ja arvioiduista päästökertoimista johtuen GAINS:in arvio SO<sub>2</sub>-päästövähennyspotentialista näytti selvästi suuremmalta, kuin mitä se nykyilmsäädännön mukaisilla toimilla tulisi kansallisen arvion perusteella olemaan.

Yksityiskohtiin mentäessä eroja GAINS:in ja kansallisten arvioiden välillä löytyy paljonkin, mutta ne eivät usein ole olennaisia kansainvälisiä sopimuksia koskevissa neuvotteluissa, joissa tarkastellaan päästöjä koko maan tasolla. Toisaalta taas, jos selviä ristiriitoja ilmenee, on maan neuvotteluaseman kannalta oleellista pystyä osoittamaan virheet tai epärealistiset ennusteet mallin skenaarioissa. Sitä tarkoitusta varten valmisteluprosessiin kuuluu yhteistyö mallintajien, päättävien osapuolten ja kansallisten päästöasiantuntijoiden välillä. Tällaisen tarkastelun tuloksena esimerkiksi Suomelle ehdotettavaa rikkidioksidin päästövähennysvaatimusta lievennettiin 10 prosenttiyksiköllä, joka on päästöissä mitattuna jo merkittävä luku. Uudistetussa Göteborgin pöytäkirjassa Suomelle ehdotetut vähennystavoitteet vuodesta 2005 vuoteen 2020 ovat: 30 % SO<sub>2</sub>-päästöille, 35 % NO<sub>x</sub>-päästöille ja 30 % hiukkasille.

Euroopan komissio valmistelee uudistusta myös kansalliseen päästökattodirektiiviin (NEC) osana EU:n Ilmansuojelustrategian päivittämistä. Tätä varten on tarkoitus mallintaa uusia skenaarioita päivitettyllä GAINS-laskennalla. Osana tätä päivitystä tullaan todennäköisesti järjestämään tapaamisia IIASA:n ja jäsenmaiden asiantuntijoiden välillä, jotta maakohtaisia laskentaparametreja saadaan tarkennettua. Komission arvion mukaan direktiiviehdotus voitaisiin antaa vuonna 2013.

Yhdennetyn ilmansaastemallinnuksen käyttö kansainvälistä ilmansaastepolitiikkaa luotaessa on perusteltua, sillä se on ainoa keino arvioida esimerkiksi kustannustehokkaimpia toimenpiteitä tarkasteltaessa ympäristöhaittojen vähentämistä kompleksissa systeemissä, jossa kaukokulkeuman rooli on suuri. Päästöjen ympäristövaikutukset ylittävät maiden ja mantereiden rajat, jolloin kansalliset toimenpiteet eivät useimmiten riitä halutun ympäristön tilan saavuttamiseksi. GAINS-malli on tällaiseen tarkasteluun sopivin työkalu, ja ainakin Suomen osalta se näyttää pystyvän mallintamaan päästöjä mielekkäällä tarkkuudella. Mallin käyttökelpoisuuden ja luotettavuuden kannalta on kuitenkin tärkeää, että se on mahdollisimman avoin ja kansallisten asiantuntijoiden kommentoitavissa. Mallin kriittinen arviointi kansainvälisestä päästölainsäädännöstä neuvoteltaessa on myös jäsenmaan omien etujen mukaista.

## Lähdeluettelo

- [1] EMEP. 2011. Cost-effective emission reductions to improve air quality in Europe in 2020. Scenarios for the negotiations on the revision of the Gothenburg Protocol under Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.  
<http://gains.iiasa.ac.at/images/stories/meetings/TFIAM39/CIAM2011-1-v12.pdf>
- [2] GAINS Online <http://gains.iiasa.ac.at/index.php/home-page/241-on-line-access-to-gains>
- [3] Tilastokeskus. Energiatilasto, vuosikirja 2010.
- [4] Karvosenoja N. 2008. Emission scenario model for regional air pollution. Väitöskirja. Monographs of the Boreal Environment Research no. 32. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.
- [5] Hilden M., Karvosenoja N., Koskela S., Kupiainen K., Laine A., Rinne J., Seppälä J., Savolahti M. & Sokka L. 2008. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian ympäristöarviointi. Suomen ympäristö 50/2008
- [6] Attila M., Grönroos J., Jantunen J., Jouttijärvi T., Karvosenoja N., Kautto P., Pelkonen R., Savolahti M & Silvo K. 2012. Selvitys teollisuuspäästädirektiivin vaikutuksista Suomessa. Luonnos. Valmistuu 2012.

## Liite 1/1

### **GAINS -mallin polttoainelyhenteet**

BC2	Ruskohiili, Suomen tapauksessa Turve
GAS	Maakaasu ja tuotekaasut
HC1	Kivihiihi
HF	Raskas polttoöljy
LPG	Nestekaasu
MD	Kevyt polttoöljy ja diesel
OS1	Biomassa
OS2	Jätepolttoaineet

### **FRES -mallin polttoainelyhenteet**

BLI	Mustalipeä
COA	Kivihiihi
GAS	Maakaasu ja tuotekaasut
DIE	Kevyt polttoöljy ja diesel
OIL	Raskas polttoöljy
PEA	Turve
WAS	Jätepolttoaineet

### **GAINS ja FRES-mallien sektorilyhenteet**

IN_BO	Teollisuuden käyttöön energiaa tuottavat voimalaitokset
PP_EX	Julkisen energiantuotannon voimalaitokset, rakennettu ennen vuotta 1995
PP_NEW	Julkisen energiantuotannon voimalaitokset, rakennettu vuoden 1995 jälkeen

## Liite 2/2

### IE-direktiivin ja PINO-asetuksen mukaiset maksimipäästökertoimet

RPÖ				Biomassa			
Teho	SO2	Nox	TSP	Teho	SO2	Nox	TSP
MW	mg/MJ	mg/MJ	mg/MJ	MW	mg/MJ	mg/MJ	mg/MJ
1-15	246.5	261	40.6	1-5	76	171	114
15-50	246.5	174	14.5	5-10	76	171	57
50-100	101.5	130.5	8.7	10-50	76	171	19
100-300	72.5	58	7.25	50-100	76	114	11.4
300+	58	43.5	5.8	100-300	76	95	7.6
				300+	76	76	7.6
KPÖ				Turve			
Teho	SO2	Nox	TSP	Teho	SO2	Nox	TSP
MW	mg/MJ	mg/MJ	mg/MJ	MW	mg/MJ	mg/MJ	mg/MJ
1-15	237.1	223.2	13.9	1-5	200	240	120
15-50	237.1	139.5	13.9	5-10	200	240	60
50-100	97.6	125.5	8.4	10-50	200	240	20
100-300	69.7	55.8	7.0	50-100	120	120	12
300+	55.8	41.8	5.6	100-300	120	100	8
				300+	80	80	8
Kaasu				Kivihiili			
capacity	SO2	Nox	TSP	Teho	SO2	Nox	TSP
	mg/MJ	mg/MJ	mg/MJ	MW	mg/MJ	mg/MJ	mg/MJ
1-15		112		1-50	396	151.2	18
15-50		84		50-100	144	108	10.8
kaasukattilat ja - moottorit		28		100-300	90	72	9
turbiinit		42.6		300+	72	72	7.2
CHP -turbiinilaitokset		63.8					

## Liite 3/3

### SO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>- ja PM<sub>2.5</sub> –päästöjen laskentaparametrit GAINS:in voimalaitoksille vuoden 2020 peruslinjassa. Sektorien kuvaukset löytyvät osoitteesta

<http://gains.iiasa.ac.at/gains/docu.EUR/index.menu?page=451>

SO <sub>2</sub> Emissions by Control Option								
Sector-Activity-Technology-Unit	Sectoral	Unabated	Removal	Abated	Coverision	Abated	Capacities	Emissions
	activity	emission factor	efficiency	emission factor	coefficient	emission factor	controlled	
	[Units]	kt_SO2/Unit	%	kt_SO2/Unit	mg/m3/(g/GJ)	mg/m3	%	kt_SO2
IN_BO-BC2-LINJ-[PJ]	1.212	0.319	60	0.128	2.38	304.024	50	0.077
IN_BO-BC2-NOC-[PJ]	1.212	0.319	0	0.319	2.38	760.06	50	0.194
IN_BO-GAS-NOC-[PJ]	10.013	0.012	0	0.012	3.17	38.58	100	0.122
IN_BO-HF-IWFGD-[PJ]	3.879	1.135	85	0.17	3.17	539.681	69.982	0.462
IN_BO-HF-LSHF-[PJ]	3.879	1.135	75	0.284	3.17	899.468	30.018	0.33
IN_BO-OS1-NOC-[PJ]	71.694	0.001	0	0.001	2.86	2.75	100	0.069
IN_BO-OS2-IWFGD-[PJ]	5.29	0.168	85	0.025	2.86	72.273	99.994	0.134
IN_BO-OS2-LINJ-[PJ]	5.29	0.168	60	0.067	2.86	192.728	0.006	0
IN_OC-BC2-NOC-[PJ]	0.001	0.319	0	0.319	2.38	760.06	100	0
IN_OC-DC-NOC-[PJ]	19.495	0.034	0	0.034	2.86	96.69	100	0.659
IN_OC-GAS-NOC-[PJ]	19.825	0.016	0	0.016	3.17	51.44	100	0.322
IN_OC-HC1-LSCO-[PJ]	1.231	0.508	18.919	0.412	2.86	1178.931	100	0.507
IN_OC-HF-LSHF-[PJ]	8.28	1.123	75	0.281	3.17	890.099	100	2.325
IN_OC-OS1-NOC-[PJ]	0.078	0.001	0	0.001	2.86	2.75	100	0
PP_EX_OTH-BC2-LINJ-[PJ]	61.15	0.319	60	0.128	2.38	304.024	80	6.249
PP_EX_OTH-BC2-NOC-[PJ]	61.15	0.319	0	0.319	2.38	760.06	20	3.906
PP_EX_OTH-GAS-NOC-[PJ]	84.088	0	0	0	3.17	0	100	0
PP_EX_OTH-HC1-LINJ-[PJ]	98.275	0.537	60	0.215	2.86	613.918	3	0.633
PP_EX_OTH-HC1-LSCO-[PJ]	98.275	0.537	18.919	0.435	2.86	1244.427	3	1.283
PP_EX_OTH-HC1-NOC-[PJ]	98.275	0.537	0	0.537	2.86	1534.794	0	0
PP_EX_OTH-HC1-PRWFGD-[PJ]	98.275	0.537	90	0.054	2.86	153.479	94	4.957
PP_EX_OTH-HF-LSHF-[PJ]	4.242	1.135	75	0.284	3.17	899.468	30	0.361
PP_EX_OTH-HF-PRWFGD-[PJ]	4.242	1.135	90	0.113	3.17	359.787	70	0.337
PP_EX_OTH-MD-LSMD1-[PJ]	3.538	0.2	52.719	0.095	3.17	299.764	35.506	0.119
PP_EX_OTH-MD-LSMD2-[PJ]	3.538	0.2	89.362	0.021	3.17	67.447	64.494	0.049
PP_EX_OTH-OS1-NOC-[PJ]	136.003	0.001	0	0.001	2.86	2.75	100	0.131
PP_EX_OTH-OS2-PRWFGD-[PJ]	15.18	0.261	90	0.026	2.86	74.682	100	0.396
PP_NEW-GAS-NOC-[PJ]	49.473	0	0	0	1.06	0	100	0
PP_NEW-HC1-PWFGD-[PJ]	1.743	0.537	95	0.027	2.86	76.74	100	0.047
PP_NEW-HF-LSHF-[PJ]	11.635	1.135	75	0.284	3.17	899.468	30.006	0.991
PP_NEW-HF-PWFGD-[PJ]	11.635	1.135	95	0.057	3.17	179.894	69.994	0.462
PP_NEW-MD-LSMD1-[PJ]	0.627	0.2	52.719	0.095	3.17	299.764	35.506	0.021
PP_NEW-MD-LSMD2-[PJ]	0.627	0.2	89.362	0.021	3.17	67.447	64.494	0.009
PP_NEW-OS1-NOC-[PJ]	58.786	0.001	0	0.001	2.86	2.75	100	0.057

NOx Emissions by Control Option

Sector-Activity-Technology	Sectoral	Unabated	Removal	Abated	Conversion	Abated	Capacities	Emissions
	activity	emission factor	efficiency	emission factor	coefficient	emission factor	controlled	
	[Units]	kt_NOx/Unit	%	kt_NOx/Unit	mg/m3/(g/GJ)	mg/m3	%	kt_NOx
IN_BO-BC2-ISFCM-[PJ]	1.212	0.2	50	0.1	2.38	238	50	0.061
IN_BO-BC2-NOC-[PJ]	1.212	0.2	0	0.2	2.38	476	50	0.121
IN_BO-GAS-IOGCM-[PJ]	10.013	0.115	50	0.058	3.17	182.275	40	0.23
IN_BO-GAS-IOGCSN-[PJ]	10.013	0.115	70	0.035	3.17	109.365	60	0.207
IN_BO-HF-IOGCM-[PJ]	3.879	0.18	50	0.09	3.17	285.3	50	0.175
IN_BO-HF-NOC-[PJ]	3.879	0.18	0	0.18	3.17	570.6	50	0.349
IN_BO-LPG-NOC-[PJ]	15.399	0.07	0	0.07	3.17	221.9	100	1.078
IN_BO-OS1-ISFCM-[PJ]	71.694	0.2	50	0.1	2.86	286	40	2.868
IN_BO-OS1-NOC-[PJ]	71.694	0.2	0	0.2	2.86	572	60	8.603
IN_BO-OS2-NOC-[PJ]	5.29	0.063	0	0.063	2.86	180.18	100	0.333
IN_OC-BC2-ISFCM-[PJ]	0.001	0.19	50	0.095	2.38	226.1	41.667	0
IN_OC-BC2-NOC-[PJ]	0.001	0.19	0	0.19	2.38	452.2	58.333	0
IN_OC-DC-NOC-[PJ]	19.495	0.17	0	0.17	2.86	486.2	100	3.314
IN_OC-GAS-IOGCM-[PJ]	19.825	0.08	50	0.04	3.17	126.8	100	0.793
IN_OC-HC1-NOC-[PJ]	1.231	0.22	0	0.22	2.86	629.2	100	0.271
IN_OC-HF-IOGCM-[PJ]	8.28	0.22	50	0.11	3.17	348.7	100	0.911
IN_OC-LPG-NOC-[PJ]	3.119	0.07	0	0.07	3.17	221.9	100	0.218
IN_OC-OS1-ISFCM-[PJ]	0.078	0.2	50	0.1	2.86	286	39.923	0.003
IN_OC-OS1-NOC-[PJ]	0.078	0.2	0	0.2	2.86	572	60.077	0.009
PP_EX_OTH-BC2-NOC-[PJ]	61.15	0.2	0	0.2	2.38	476	20	2.446
PP_EX_OTH-BC2-PBCCM-[PJ]	61.15	0.2	65	0.07	2.38	166.6	80	3.424
PP_EX_OTH-GAS-POGCM-[PJ]	84.088	0.177	65	0.062	3.17	196.382	95	4.949
PP_EX_OTH-GAS-POGCSC-[PJ]	84.088	0.177	80	0.035	3.17	112.218	5	0.149
PP_EX_OTH-HC1-NOC-[PJ]	98.275	0.372	0	0.372	2.86	1063.92	0	0
PP_EX_OTH-HC1-PHCCSC-[PJ]	98.275	0.372	80	0.074	2.86	212.784	100	7.312
PP_EX_OTH-HF-NOC-[PJ]	4.242	0.1	0	0.1	3.17	317	100	0.424
PP_EX_OTH-MD-NOC-[PJ]	3.538	0.08	0	0.08	3.17	253.6	100	0.283
PP_EX_OTH-OS1-NOC-[PJ]	136.003	0.125	0	0.125	2.86	357.5	30	5.1
PP_EX_OTH-OS1-PHCCM-[PJ]	136.003	0.125	50	0.063	2.86	178.75	70	5.95
PP_EX_OTH-OS2-NOC-[PJ]	15.18	0.052	0	0.052	2.86	148.72	100	0.789
PP_NEW-GAS-NOC-[PJ]	49.473	0.04	0	0.04	1.06	42.4	100	1.979
PP_NEW-HC1-PHCSO-[PJ]	1.743	0.15	80	0.03	2.86	85.8	100	0.052
PP_NEW-HF-NOC-[PJ]	11.635	0.1	0	0.1	3.17	317	100	1.164
PP_NEW-MD-NOC-[PJ]	0.627	0.05	0	0.05	3.17	158.5	100	0.031
PP_NEW-OS1-NOC-[PJ]	58.786	0.047	0	0.047	2.86	134.42	100	2.763



PM Emissions by Control Option

Sector-Activity-Technology	Sectoral activity [Units]	Unabated emission factor t/Unit	Removal efficiency %	Abated emission factor t/Unit	Coverision coefficient mg/m3/(g/GJ)	Abated emission factor mg/m3	Capacities controlled %	Emissions t_PM
IN_BO-GAS-NOC-[PJ]	10.013	0.1	0	0.1	3.17	0.317	100	1.001
IN_BO-HF-GHIND-[PJ]	3.879	48	30	33.6	3.17	106.512	28.002	36.497
IN_BO-HF-IN_HED-[PJ]	3.879	48	99	0.48	3.17	1.522	71.998	1.341
IN_BO-LPG-NOC-[PJ]	15.399	0.2	0	0.2	3.17	0.634	100	3.08
IN_BO-OS1-IN_CYC-[PJ]	71.694	152.46	30	106.722	2.86	305.225	5.716	437.347
IN_BO-OS1-IN_ESP1-[PJ]	71.694	152.46	93	10.672	2.86	30.522	94.284	721.394
IN_BO-OS1-NOC-[PJ]	71.694	152.46	0	152.46	2.86	436.036	0	0
IN_BO-OS2-IN_HED-[PJ]	5.29	1572	99	15.72	2.86	44.959	100	83.153
IN_BO1-BC2-IN_ESP1-[PJ]	0.107	83.451	93	5.842	2.38	13.903	100	0.627
IN_BO2-BC2-IN_ESP1-[PJ]	0.161	134.118	93	9.388	2.38	22.344	50	0.755
IN_BO2-BC2-IN_HED-[PJ]	0.161	134.118	99	1.341	2.38	3.192	50	0.108
IN_BO3-BC2-IN_ESP1-[PJ]	0.944	253.333	93	17.733	2.38	42.205	24.876	4.166
IN_BO3-BC2-IN_HED-[PJ]	0.944	253.333	99	2.533	2.38	6.029	75.124	1.797
IN_OC-DC-IN_CYC-[PJ]	19.495	16.014	30	11.21	2.86	32.06	0.001	0.002
IN_OC-DC-IN_ESP1-[PJ]	19.495	16.014	93	1.121	2.86	3.206	99.999	21.853
IN_OC-DC-NOC-[PJ]	19.495	16.014	0	16.014	2.86	45.801	0	0
IN_OC-GAS-NOC-[PJ]	19.825	0.1	0	0.1	3.17	0.317	100	1.982
IN_OC-HF-GHIND-[PJ]	8.28	10.38	30	7.266	3.17	23.033	100	60.165
IN_OC-LPG-NOC-[PJ]	3.119	0.2	0	0.2	3.17	0.634	100	0.624
IN_OC-OS1-IN_ESP1-[PJ]	0.078	9.9	93	0.693	2.86	1.982	57.781	0.031
IN_OC-OS1-IN_HED-[PJ]	0.078	9.9	99	0.099	2.86	0.283	42.219	0.003
IN_OC1-HC1-NOC-[PJ]	0	103.237	0	103.237	2.86	295.257	100	0
IN_OC2-HC1-NOC-[PJ]	0	165.916	0	165.916	2.86	474.52	100	0
IN_OC3-BC2-IN_ESP1-[PJ]	0.001	253.333	93	17.733	2.38	42.205	50	0.011
IN_OC3-BC2-IN_HED-[PJ]	0.001	253.333	99	2.533	2.38	6.029	50	0.002
IN_OC3-HC1-IN_ESP1-[PJ]	1.231	176.977	93	12.388	2.86	35.431	50.008	7.624
IN_OC3-HC1-IN_HED-[PJ]	1.231	176.977	99	1.77	2.86	5.062	49.992	1.089
PP_EX_OTH-GAS-NOC-[PJ]	84.088	0.1	0	0.1	3.17	0.317	100	8.409
PP_EX_OTH-HF-GHIND-[PJ]	4.242	9.3	30	6.51	3.17	20.637	28.003	7.734
PP_EX_OTH-HF-HED-[PJ]	4.242	9.3	99	0.093	3.17	0.295	71.997	0.284
PP_EX_OTH-MD-GHIND-[PJ]	3.538	0.72	30	0.504	3.17	1.598	100	1.783
PP_EX_OTH-OS1-ESP1-[PJ]	136.003	152.46	93	10.672	2.86	30.522	49.751	722.114
PP_EX_OTH-OS1-HED-[PJ]	136.003	152.46	99	1.525	2.86	4.36	50.249	104.191
PP_EX_OTH-OS2-ESP1-[PJ]	15.18	1572	93	110.04	2.86	314.714	0.002	0.033
PP_EX_OTH-OS2-HED-[PJ]	15.18	1572	99	15.72	2.86	44.959	99.998	238.625
PP_EX_OTH1-BC2-ESP1-[PJ]	6.115	166.902	93	11.683	2.38	27.806	100	71.442
PP_EX_OTH2-BC2-ESP1-[PJ]	23.237	134.118	93	9.388	2.38	22.344	50.007	109.091
PP_EX_OTH2-BC2-HED-[PJ]	23.237	134.118	99	1.341	2.38	3.192	49.993	15.58
PP_EX_OTH2-HC1-ESP1-[PJ]	37.345	165.916	93	11.614	2.86	33.216	22.288	96.668
PP_EX_OTH2-HC1-HED-[PJ]	37.345	165.916	99	1.659	2.86	4.745	77.712	48.151

PP_EX_OTH3-BC2-ESP1-[PJ]	31.798	253.333	93	17.733	2.38	42.205	49.754	280.553
PP_EX_OTH3-BC2-HED-[PJ]	31.798	253.333	99	2.533	2.38	6.029	50.246	40.476
PP_EX_OTH3-HC1-ESP1-[PJ]	60.931	176.977	93	12.388	2.86	35.431	2.502	18.885
PP_EX_OTH3-HC1-HED-[PJ]	60.931	176.977	99	1.77	2.86	5.062	97.498	105.135
PP_EX_OTH3-HC1-NOC-[PJ]	60.931	176.977	0	176.977	2.86	506.155	0	0
PP_NEW-GAS-NOC-[PJ]	49.473	0.1	0	0.1	1.06	0.106	100	4.947
PP_NEW-HF-GHIND-[PJ]	11.635	9.3	30	6.51	3.17	20.637	28.003	21.211
PP_NEW-HF-HED-[PJ]	11.635	9.3	99	0.093	3.17	0.295	71.997	0.779
PP_NEW-MD-GHIND-[PJ]	0.627	0.44	30	0.308	3.17	0.976	100	0.193
PP_NEW-OS1-ESP1-[PJ]	58.786	152.46	93	10.672	2.86	30.522	49.751	312.129
PP_NEW-OS1-HED-[PJ]	58.786	152.46	99	1.525	2.86	4.36	50.249	45.036
PP_NEW2-HC1-HED-[PJ]	0.662	165.916	99	1.659	2.86	4.745	100	1.099
PP_NEW3-HC1-HED-[PJ]	1.081	176.977	99	1.77	2.86	5.062	100	1.913