



TERVEYDEN JA HYVINVOINNIN LAITOS

Mustan hiilen vaikutukset ihmisen terveyteen

Raimo O. Salonen

Yliääkäri, dosentti

Pitkäaikaisen kaupunki-ilman pienhiukkasille (PM_{2.5}) altistumisen aiheuttamat terveyshaitat asiantuntija-arvioinneissa 1

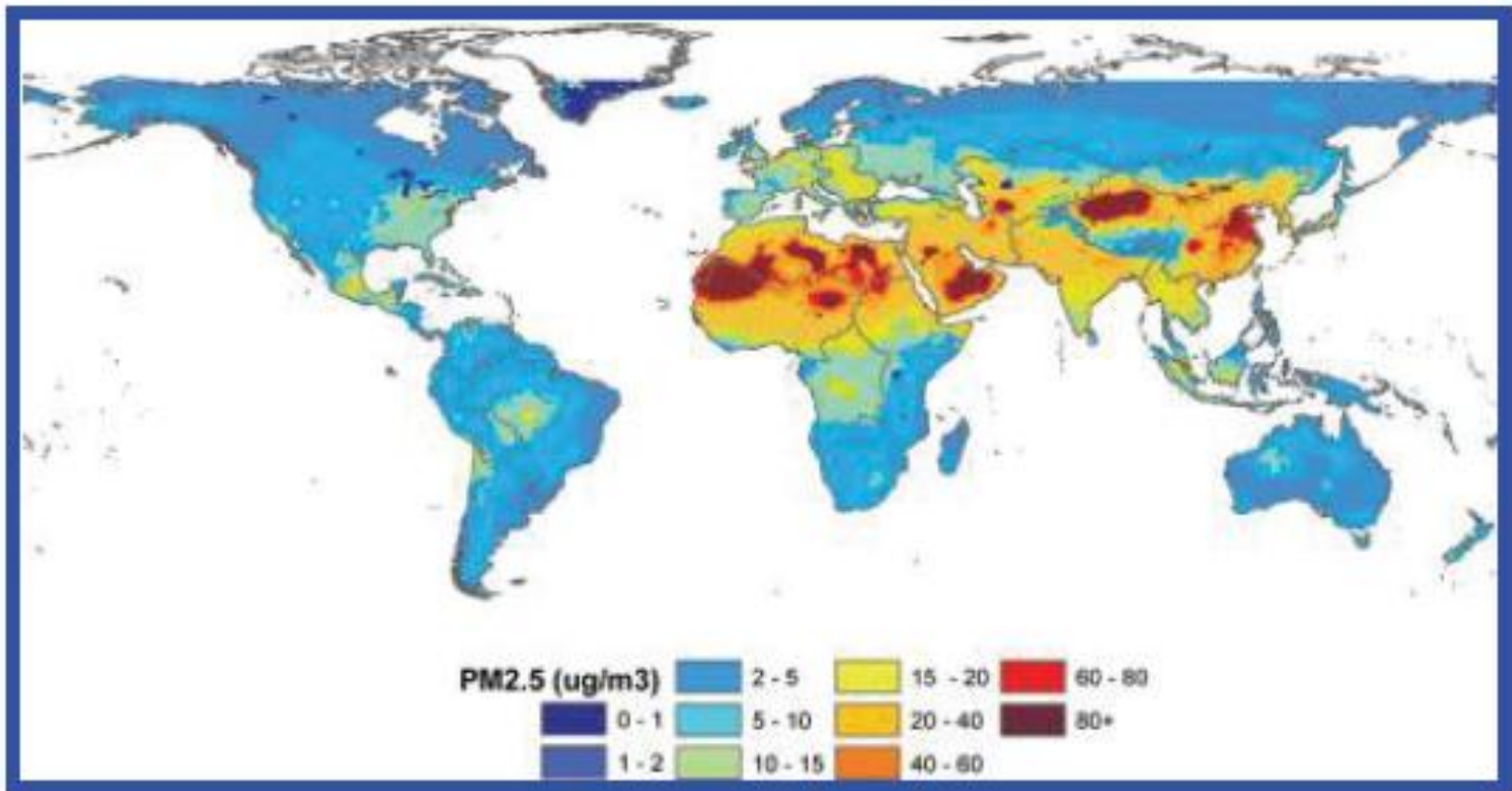
Vertaileva arviointi tautikuormaa ja vammoja (= ennenaikainen kuolema + terveiden elinvuosien menetys) aiheuttavista 67 riskitekijästä ja -klusterista 21 maapallon alueella (Lim ym. 2012)

□ Pitkäaikainen altistuminen ulkoilman pienhiukkasille (PM_{2.5}) maailmanlaajuisesti 9. voimakkain riskitekijä v. 2010

- Noin 3,2 miljoonaa ennenaikaista kuolemaa ja 31 miljoonaa menetettyä tervettä elinvuotta yli 50-vuotiailla pääasiassa sydämen ja verenkierron sekä hengityselinsairauksien takia
- Arvioinnin kohderyhminä alle 5-vuotiaat lapset ja yli 25-vuotiaat aikuiset
- Ajoneuvojen moottoripäästöistä, biomass- ja hiililämmityksestä kotitalouksissa, teollisuudesta, energialaitoksista, laivoista ym. peräisin olevat **primääriset noki-, metalli- ja maaperän hiukkaset sekä ilmakehässä kaasumaisista päästöistä muodostuvat sekundääriset pienhiukkaset**



Arvioidut PM_{2.5}-vuosipitoisuudet eri puolilla maapalloa v. 2005



Global Burden of Disease Study -tutkimuksessa tuotetut arviot 0,1° x 0,1° (päiväntasaajalla 11 km x 11 km) ruuduissa PM_{2.5}-altistumisesta, jotka perustuivat yhdistelmään tuloksista maanpinnan aerosolikerroksen paksuudesta satelliittimittauksissa ja globaalilla TM5-ilmakehämallilla. Altistumistulosten kalibroinnissa ennustemalli, joka sisälsi maanpinnan PM_{2.5}-mittaustuloksia (Brauer ym. 2012).

Pitkäaikaisen kaupunki-ilman pienhiukkasille (PM_{2.5}) altistumisen aiheuttamat terveyshaitat asiantuntija-arvioinneissa 2

EU-aluetta ja Suomea koskevat arviot:

□ Clean Air for Europe (CAFE 2005)

- **Pienhiukkasista EU-25:ssä 350000 ja Suomessa n. 1300 ennen aikaista kuolemaa v. 2000**
- Päästöt, leviäminen + muutonta ja väestöjen altistuminen 50 km x 50 km ruuduissa

□ European Topic Centre on Air and Climate Change (ETC/ACC 2009 ja 2010)

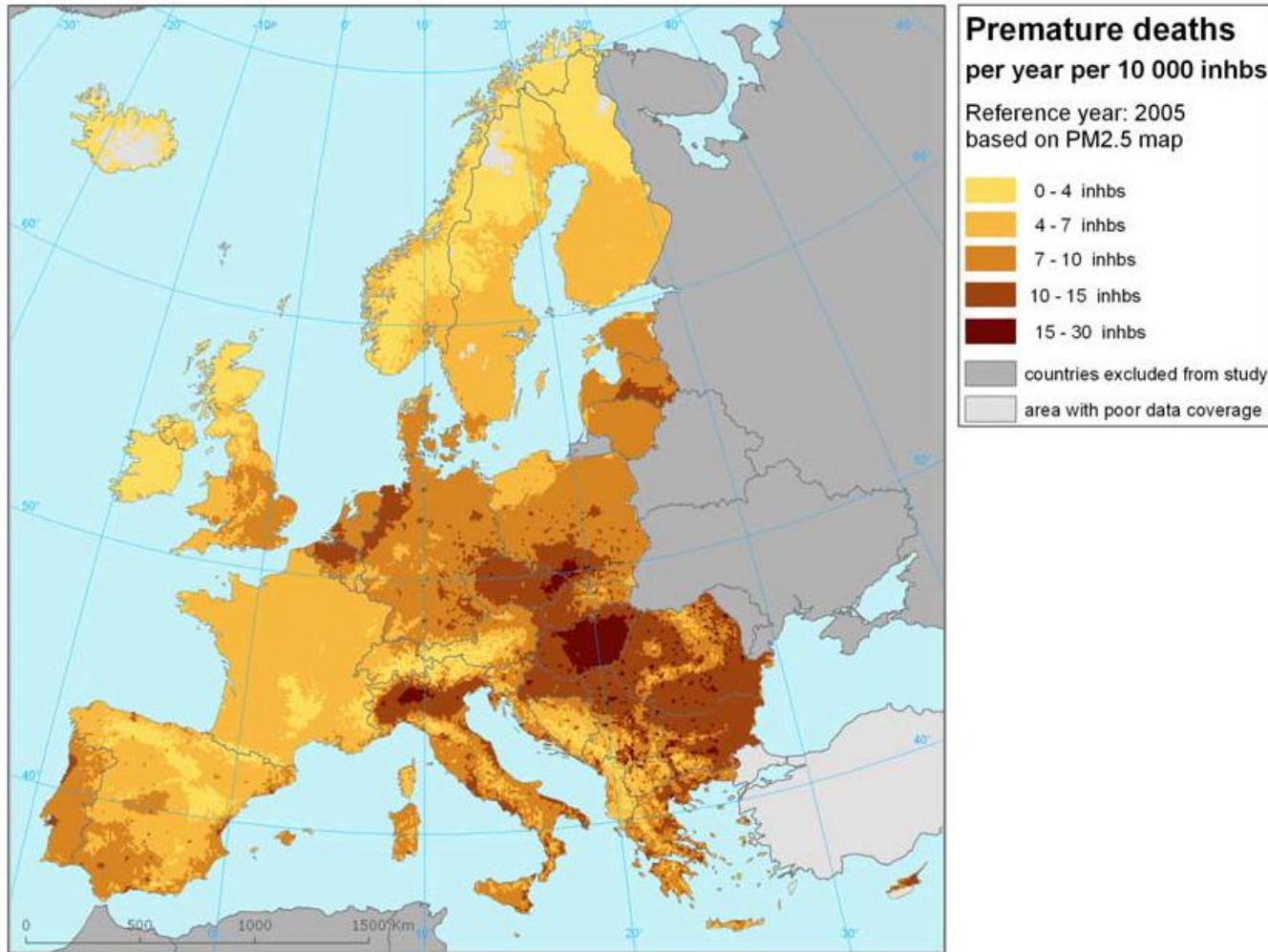
- **Pienhiukkasista EU-27:ssä 455200 ja Suomessa n. 2500 ennen aikaista kuolemaa v. 2005**
- Altistumisen arviot: PM_{2.5}/PM₁₀ interpolointi 10 km x 10 km ruuduissa

□ THL:n arviot SETURI-projektissa (Hänninen ym. 2010)

- **Pienhiukkasista Suomessa n. 1800 ennen aikaista kuolemaa, 1200 uutta kroonisen bronkiitin sairaustapausta ja 2,1 milj. vakavaa oirepäivää 15 – 64-vuotiailla v. 2005**
- Altistumisen arvioinnissa ETC/ACC-tiedot (2009) 10 km x 10 km ruuduissa, vaikutusarvioinneissa osittain CAFE-metodiikka (2005)



Pitkääikäiseen PM_{2.5}-altistumiseen liittyvät ennenaikaiset kuolemat Euroopassa v. 2005



WHO & UNECE / CLRTAP – Task Force of Health

WHO-raportti 'Health effects of black carbon' by Janssen N, Gerlofs-Nijland ME, Lanki T, Salonen RO, Cassee F, Hoek G, Fischer P, Brunekreef B, Krzyzanowski M (2012)

- ❑ Systemaattinen katsaus ulkoilman mustaan hiileen liittyviin terveyshaittoihin ja niihin vaikuttaviin tekijöihin
- ❑ **Musta hiili = black carbon (BC) ja \approx black smoke (BS)**
 - Eri polttoprosesseista vapautuu epäpuhdasta alkuainehiiltä (Soot-EC liikenteestä, Char-EC biomassan poltosta) – ulkoilmassa Soot-EC + Char-EC seosta (= BC), jota mitataan soveltuvalle suodatinmateriaalille kerätyistä hiukkasista optisesti valon absorptiona (esim. 1 vrk:n suodatinnäyte tai puolijatkuva 3-tunnin keskiarvopitoisuuden mittausta)
 - **Puhdasta alkuainehiiltä (EC) ei muodostu polttoprosesseissa, mutta sen pitoisuus voidaan mitata termisoptisesti hiukkasnäytteistä**
 - Paras ja toistaiseksi ainoa luotettava kaupallinen, reaaliaikainen BC-mittausmenetelmä, jolla on hyvä yhteensopivuus EC-mittauksien kanssa, on **Multi-Angle Absorption Photometer (MAAP)** – mittaa sekä valon absorption että sironnan ja korjaa automaattisesti sironnasta aiheutuvan virheen BC-lukemaan



WHO & UNECE / CLRTAP – Task Force of Health

BS- ja BC-mittausten käyttö terveystutkimuksissa

- Terveystutkimuksissa yleisesti käytetyn suodatinnäytteen BS:n (reflektometrinen menetelmä 1920-luvulta lähtien) ja BC:n (optinen transmissometri) mittaussuoritteiden vs. EC:n mittaussuoritteiden välinen yhteensopivuus (korrelaatio, regressiosuoran kulmakertoimen)
 - **Lyhyillä (esim. 1 vrk) vertailuajoilla huono, mutta keskipitkillä (1 kk) ja pitkällä (vuosi) vertailuajoilla BC:llä hyvä korrelaatio EC:n kanssa**
 - Aerosolin koostumuksen vaihtelu (erityisesti EC/OC-suhde) vaikuttaa BC vs. EC korrelaatioon ja suoran kulmakertoimeen (optinen transmissometri, etalometri, **ei MAAP**) ⇒ yritetty hyödyntää käyttämällä ”lähdespesifisiä” (liikenne, biomassan poltto) aallonpituuksia jatkuvatoimisissa etalometreissa
 - **BS-absorptiokertoimien muuntaminen BS-massapitoisuuksiksi ”villiä touhua” ⇒ ajoittain BS-massapitoisuus tuli suuremmaksi kuin samanaikainen PM₁₀-pitoisuus**
 - Väestötutkimusten perusasetelma (= sama mittalaite samalla paikalla kuukausia – vuosia – vuosikymmeniä kestäneen mittaussarjan ajan) parantaa huomattavasti BS- ja BC-mittauksien käyttökelpoisuutta polttoperäisille hiukkasille altistumisen arvioinnissa esim. kuolleisuutta ja sairaalahoitoon ottoa koskevissa tutkimuksissa



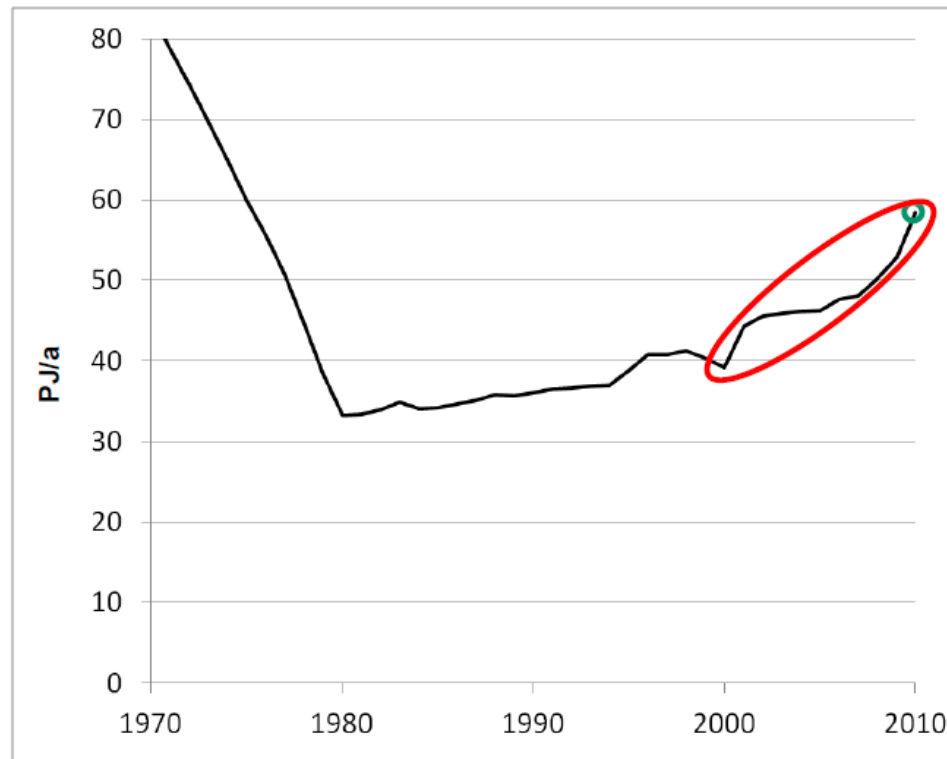
WHO & UNECE / CLRTAP – Task Force of Health

Mustan hiilen lähteet, esiintyminen ilmakehässä ja toksisuus

- ❑ Dieselöljykäyttöiset polttomoottorit; asuntojen lämmityksessä käytetty puu, muu biomassa ja hiili; raskasta polttoöljyä ja hiiltä käyttävät voimalaitokset; maatalouden peltokulotukset; metsä-, pensas- ja ruohikkopalot
- ❑ **Polttoprosesseista peräisin oleva musta hiili esiintyy ilmakehässä aina orgaanisten hiiliyhdisteiden kanssa**
 - Siihen voi kiinnittyä myös päästössä olevia metalleja (esim. Ni, V, As)
 - Aerosolin ikääntyessä kiinnittyy epäorgaanisia, vesiliukoisia suoloja
 - Korrelaatio PM_{2.5}:n kanssa vaihtelee eri kaupunkien välillä
- ❑ **Alkuainehiilen (EC) toksisuus**
 - Kokeellisissa ihmisaltistuksissa korkeat EC-pitoisuudet (10-50 µg/m³) eivät ole tuottaneet sydän- tai verisuonivasteita tai tulehdusta verenkiertoon; satunnaisia vaikutuksia verisolujen jakautumiseen kehossa
 - Kuuden kaupungin EU-tutkimuksessa (PAMCHAR) EC ei yhteydessä makrofagien tai hiiren keuhkojen toksisuusvasteisiin kuten PAH:it, karboksylihapot, metallit ja maaperäainekset (Happo ym. 2008; Jalava ym. 2008 ja 2009)
 - Päästöhiukkasissa orgaaninen koostumus määrää toksisuutta



Puun pienpoltto lisääntynyt jyrkästi 2000-luvulla



Lähde: Energiatilastot 2011;
Puun pienpolton määrääarviot viime vuosikymmeniltä perustuvat
Metla:n kyselytutkimuksiin (1992/93, 2000/01, 2007/08)

Kannustimina puuenergian halpuus ja muun lämmitysenergian kallistuminen sekä yleinen väärinymmärrys, että kaikilla tavoilla toteutettu harvennetun pienpuun poltto on hiilineutraali ympäristöteko, joka hillitsee ilmaston lämpenemistä (vaikka BC ↑, CH₄ ↑↑, VOC ↑, CO ↑).



WHO & UNECE / CLRTAP – Task Force of Health

Mustan hiilen yhteydet lyhytaikaisessa ja pitkäaikaisessa altistumisessa tutkittuihin terveyshaittoihin

- ❑ Lyhytaikaista (vrk) altistumista tutkineissa aikasarjatutkimuksissa riittävä näyttö mustan hiilen yhteyksistä terveyshaittoihin (koko-naiskuolleisuus ja sydän- ja verisuonitautikuolleisuus sekä sydän- ja hengityssairauksiin liittyvät sairaalahoidot)
- ❑ Pitkäaikaista (vuosien - vuosikymmenten) altistumista tutkineissa kohorttitutkimuksissa riittävä näyttö mustan hiilen yhteyksistä terveyshaittoihin (kokonaiskuolleisuus sekä sydän- ja hengitys-sairauskuolleisuus)
- ❑ Terveyshaittojen yhteydet mustaan hiileen usein voimakkaammat ja muiden samanaikaisten ilmansaasteiden pitoisuusvaihtelujen suhteen vakaammat kuin PM_{10} :llä tai $PM_{2.5}$:llä
- ❑ Musta hiili on universaali, epäsuora indikaattori polttoperäisiin (erityisesti liikenteen) pienhiukkasiin liittyvistä, mahdollisesti kaikkein haitallisimmista pienhiukkaskoostumuksista
- ❑ Musta hiili toimii erityisesti haitallisten orgaanisten yhdisteiden kantajana ihmisen keuhkojen ja verenkierron herkkiin solu-kohteisiin



UNECE – CLRTAP Executive body

Pienhiukkaset terveysperusteisesti mukaan UNECE-konventin happamoitumista, rehevöitymistä ja maanpinnan otsonia vähentävään Göteborgin protokollaan (5/2012)

- ❑ Kansalliset päästökaton ja päästövähennystavoitteet vuoden 2005 tasosta vuoteen 2020+ mennessä 27 EU-maalle sekä Valko-Venäjälle, Kroatialle, Norjalle ja Sveitsille
- ❑ Muita maita 51 jäsenen joukosta liittymässä sopimukseen myöhemmin (mm. USA, Kanada, Venäjä sekä EECCA- ja Kaakkois-Euroopan maita)
- ❑ **Sopimusmuutoksen / vähennustavoitteiden piiriin kuuluvat ilmansaasteet:**
 - ❑ Rikkidioksidi (SO₂), typpidioksidi (NO₂), ammoniakki (NH₃), haihtuvat hiilivedyt (VOC) ja pienhiukkaset (PM_{2.5})
 - ❑ **EU:n vähennystavoitteet v. 2020 mennessä: SO₂ -59%, NO₂ -42%, NH₃ -6%, VOC -28% ja PM_{2.5} -22%**
 - ❑ Lisäksi erityishuomiota kiinnitettävä pienhiukkasten mustahiileen (BC), koska se toimii polttoeräisten, terveydelle haitallisten hiukkasten osoittajana ja lyhyellä aikavälillä kohottaa alailmakehän lämpötilaa voimakkaasti (etenkin maapallon pohjoisosissa)

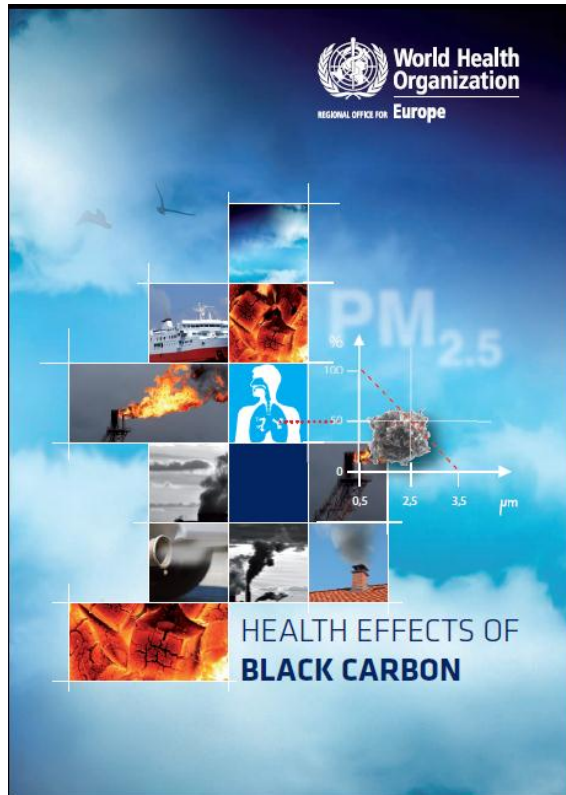


	SO2		NOx		NH3		VOCs		PM2.5	
	Emission levels 2005	Reduction from 2005 level	Emission levels 2005	Reduction from 2005 level	Emission levels 2005	Reduction from 2005 level	Emission levels 2005	Reduction from 2005 level	Emission levels 2005	Reduction from 2005 level
Belarus	79	20%	171	21%	136	7%	349	15%	46	10%
Croatia	63	55%	81	31%	40	1%	101	34%	13	18%
Norway	24	10%	200	23%	23	8%	218	40%	52	30%
Switzerland	17	21%	94	41%	64	8%	103	30%	11	26%
Austria	27	26%	231	37%	63	1%	162	21%	22	20%
Belgium	145	43%	291	41%	71	2%	143	21%	24	20%
Bulgaria	777	78%	154	41%	60	3%	158	21%	44	20%
Cyprus	38	83%	21	44%	5.8	10%	14	45%	2.9	46%
Czech Rep.	219	45%	286	35%	82	7%	182	18%	22	17%
Denmark	23	35%	181	56%	83	24%	110	35%	25	33%
Estonia	76	32%	36	18%	9.8	1%	41	10%	20	15%
Finland	69	30%	177	35%	39	20%	131	35%	36	30%
France	467	55%	1,430	50%	661	4%	1,232	43%	304	27%
Germany	517	21%	1,464	39%	573	5%	1,143	13%	121	26%
Greece	542	74%	419	31%	68	7%	222	54%	56	35%
Hungary	129	46%	203	34%	80	10%	177	30%	31	13%
Ireland	71	65%	127	49%	109	1%	57	25%	11	18%
Italy	403	35%	1,212	40%	416	5%	1,286	35%	166	10%
Latvia	6.7	8%	37	32%	16	1%	73	27%	27	16%
Lithuania	44	55%	58	48%	39	10%	84	32%	8.7	20%
Luxemburg	2.5	34%	19	43%	5.0	1%	9.8	29%	3.1	15%
Malta	11	77%	9.3	42%	1.6	4%	3.3	23%	1.3	25%
Netherlands	65	28%	370	45%	141	13%	182	8%	21	37%
Poland	1,224	59%	866	30%	270	1%	593	25%	133	16%
Portugal	177	63%	256	36%	50	7%	207	18%	65	15%
Romania	643	77%	309	45%	199	13%	425	25%	106	28%
Slovakia	89	57%	102	36%	29	15%	73	18%	37	36%
Slovenia	40	63%	47	39%	18	1%	37	23%	14	25%
Spain	1,282	67%	1,292	41%	365	3%	809	22%	93	15%
Sweden	36	22%	174	36%	55	15%	197	25%	29	19%
UK	706	59%	1,580	55%	307	8%	1,088	32%	81	30%
EU	7,828	59%	11,354	42%	3,813	6%	8,842	28%	1,504	22%

Table 1: 2005 emission levels (expressed in thousands of metric tonnes) and national emission reduction commitments in 2020 and beyond (expressed as percentage reduction from 2005 levels)



WHO report on BC



Janssen et al. Health effects of black carbon.
Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. Report for the Joint Task Force on Health of the WHO and UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, 2012, vii+86 p.
Internet: <http://www.euro.who.int/en/what-we-publish/abstracts/health-effects-of-black-carbon>

Kiitos mielenkiinnosta!

