



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE



Ilmanlaadun muutoksia globaalista lokaaliin neljällä vuosikymmenellä

**Jaakko Kukkonen¹, Mikhail Sofiev¹,
Leena Kangas¹, Mari Kauhaniemi¹,
Mia Aarnio¹, Jouni J.K. Jaakkola²,
Anu Kousa³ and Ari Karppinen¹**

(1) Ilmatieteen laitos

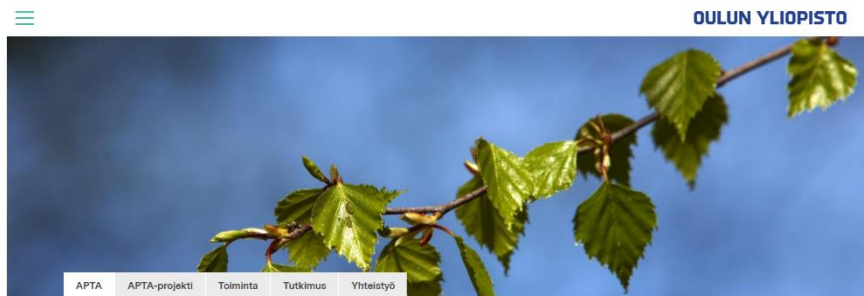
(2) Oulun yliopisto

(3) Helsingin seudun ympäristöpalvelut

Suomen Akatemian projekti APTA ja NordForsk projekti NordicWelfAir

Ilmansaasteiden, siitepölyn ja ulkolämpötilan vaikutus astmaan ja allergioihin muuttuvassa ilmastossa (APTA), 2013 - 2017

Understanding the link between Air pollution and Distribution of related Health Impacts and Welfare in the Nordic countries (NordicWelfAir), 2015 - 2020



APTA

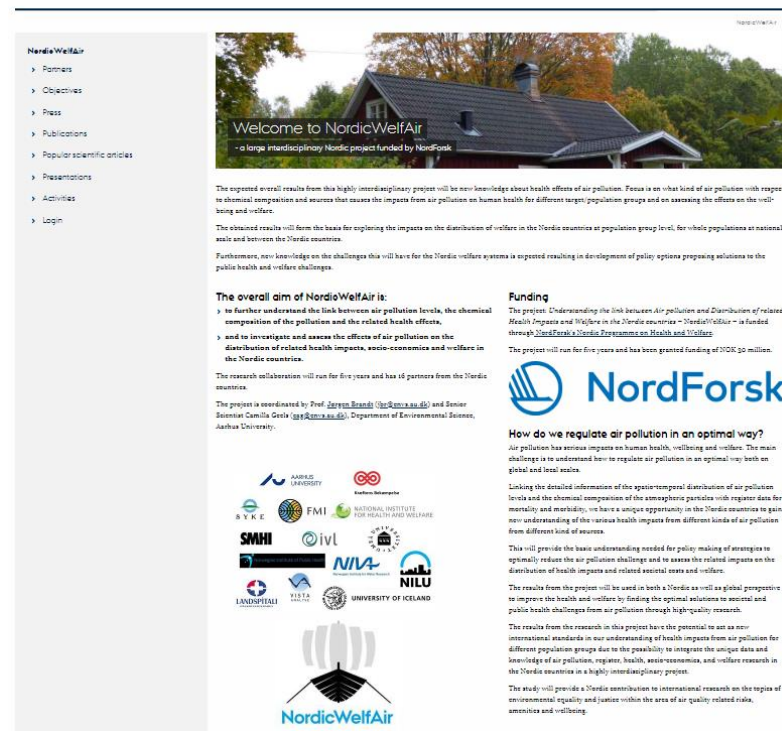
APTA, "Ilmansaasteiden, sateipölyn ja ulkolämpötilan vaikutus astmaan ja allergioihin muuttuvassa ilmastossa - The Influence of Air Pollution, Pollen, and Ambient Temperature on Asthma and Allergies in Changing Climate", on tutkimusohjelma, jossa selvitetään mahdollisen ilmastomuutoksen liittyville ympäristötekijöille, kuten sateipölylle, ääriilmepiiloille ja ilmansaasteille altistumisen lyhyt- ja pitkäaikaisia vaikutuksia astmaan, allergioihin ja kuolleisuuteen.

Tutkimus pohjautuu kahteen väestöpohjaiseen aineistoon, jotka ovat Espoon kohorttitutkimus sekä Suomen Ympäristö ja astma -tutkimus. Tutkimuksen kohteena ovat erityisesti herkäät väestönosat, astmaa ja allergiaa sairastavat. Sovellamme innovatiivisesti toisiaan täydentäviä tutkimusmenetelmiä, kuten ilmansaasteiden ja siitepölyjen leviämisen mallinnusta sekä tilastotieteellisiä, informaatioteknologisia, geneettisiä, epidemiologisia ja kliinisiä lääketieteellisiä menetelmiä.



<http://www.oulu.fi/apta/>
<http://projects.au.dk/nordicwelfair/>

NordicWelfare





Tavoitteet

- Arvioida pitkän aikavälin, **37 vuotta**, 1980-2016, ilmakehän koostumuksen muutoksia, **globaalista lokaaliin**
- Tuottaa data-aineisto, jota voidaan käyttää **ilmansaasteiden vaikutuksien tutkimuksissa**. Ensimmäinen versio on saatavilla.
- Tehdä perusteellinen **laadunvarmennus** ja vertailu kokeelliseen dataan
- Tulevaisuudessa **aineistoa tarkennetaan, päivitetään uusimmille vuosille, sovelletaan** eri kohteisiin globaalisti, yms.



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE



Menetelmät



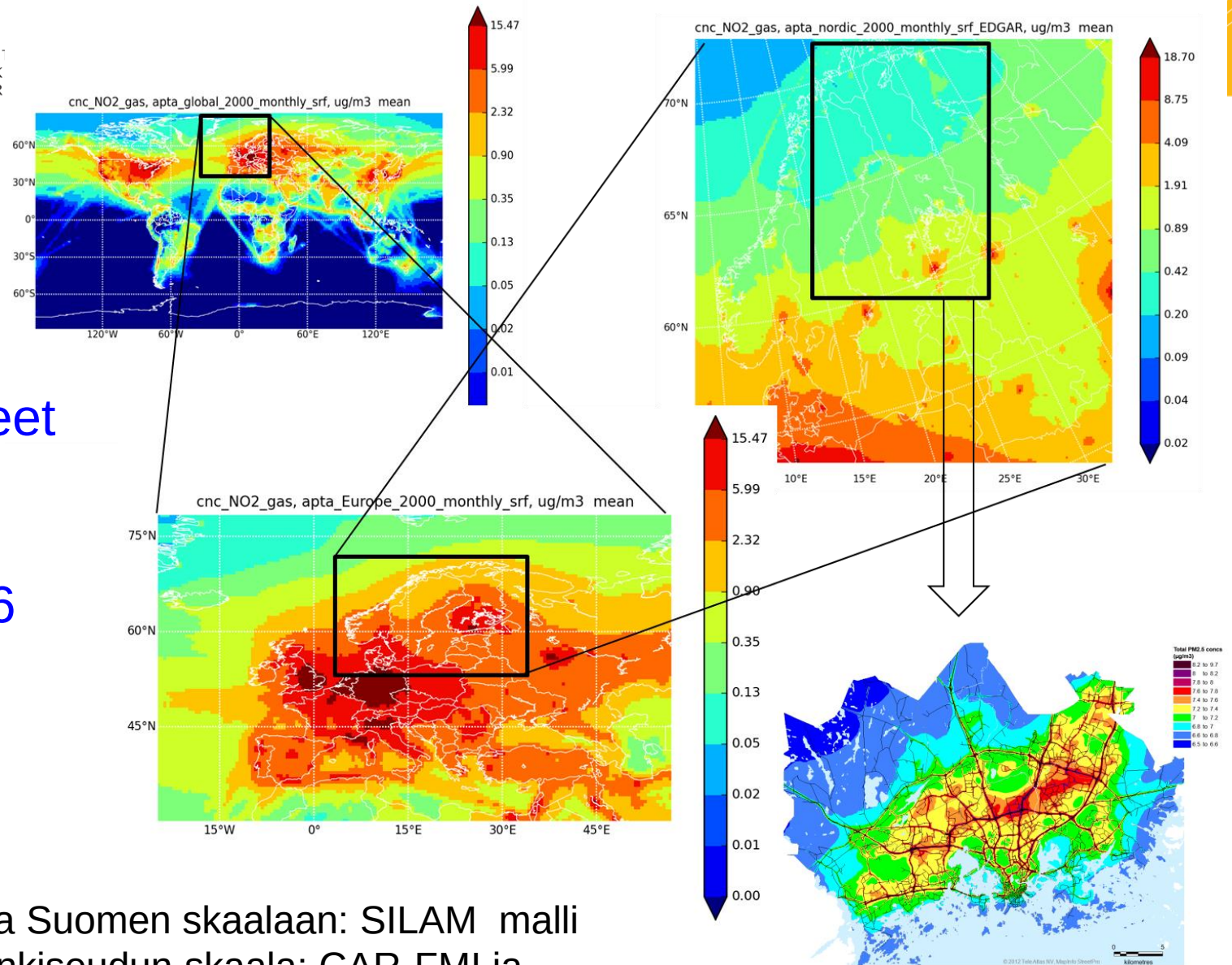
Haasteita pitkän aikavälin pitoisuuksien arvioinnissa

- ✓ **Tasalaatuisen aineiston tuottaminen:** tietous ja data aiemmilta vuosikymmeniltä on epätarkempaa ja osittain puutteellista, esimerkiksi päästötietojen, meteorologian ja maankäyttötietojen osalta.
- ✓ **Ilmanlaadun mittauksia** on paljon vähemmän ja ne ovat laadultaan huonompia aiemmilla vuosikymmenillä
- ✓ Haasteet sekä **globaalin että kaupunkien skaalan mallituksen suorituskyvyssä**, esimerkiksi orgaanisten aerosolien, pienpolton, resuspension ja pölyn mallinnus,



ILMATIETEEN LAIT
METEOROLOGISK
FINNISH METEOR

Mallitusalueet globaalista lokaaliin, 1980 - 2016



- Globaalista Suomen skaalaan: SILAM malli
- Pääkaupunkiseudun skaala: CAR-FMI ja UDM-FMI mallit



Laskentamallit ja niiden käyttö, 1980 - 2016

☐ Laskentahilan resoluutiot

- ✓ Globaali: luokkaa 160 km tai tarkempi ($1.44^\circ \times 1.44^\circ$ leveysaste-pituusaste)
- ✓ Eurooppa: luokkaa 55 km tai tarkempi ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$)
- ✓ Pohjois-Eurooppa: luokkaa 10 km tai tarkempi ($0.1^\circ \times 0.1^\circ$)
- ✓ Pääkaupunkiseutu: luokkaa 10 m – 200 m

☐ Päästöaineistot

- ✓ Isommat skaalat: kansainvälisesti saatavilla olevat datasetit ja SILAM-mallin laskenta
- ✓ Pääkaupunkiseutu: pienpolton osalta HSY'n kartoitukset, tieliikenteen osalta EMME ja LIPASTO päästöt, sekä resuspensio-päästöt FORE, NORTRIP yms.

☐ Meteorologiset aineistot

- ✓ Euroopan keskipitkien sääennusteiden keskus (ECMWF; European Reanalysis Interim), Viron Ilmatieteen laitos (BaltAn)
- ✓ Pääkaupunkiseudulla kotimaiset säähavainnot ja MPP-FMI –malli



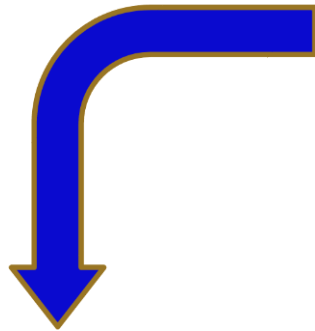
ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE



Tuloksia globaalissa ja alueellisessa skaalassa

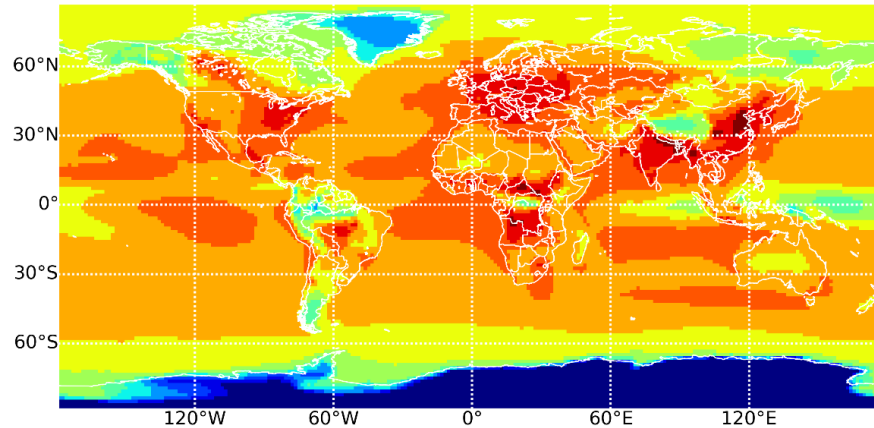
Globaalien PM_{2.5} -pitoisuuksien ajallinen kehitys

1980



2015

cnc_PM2_5, mean of apta_global_1980_monthly, mg/m2/day



60.00

23.89

9.51

3.79

1.51

0.60

0.24

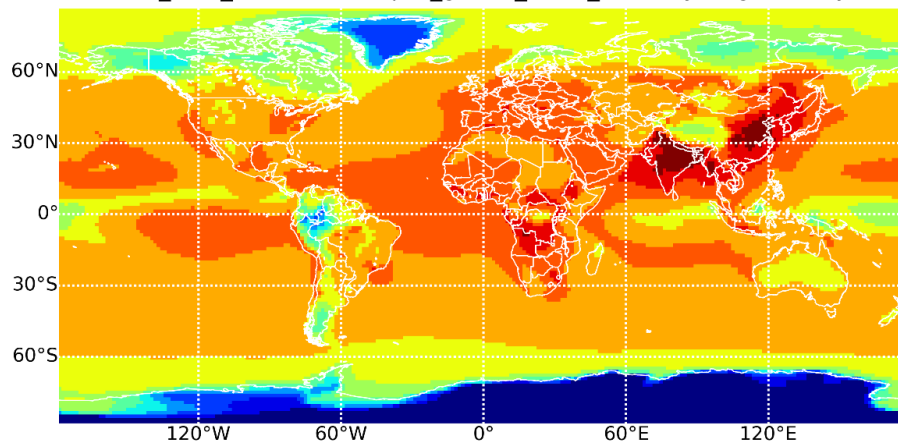
0.10

0.04

0.02

0.01

cnc_PM2_5, mean of apta_global_2011_



60.00

23.89

9.51

3.79

1.51

0.60

0.24

0.10

0.04

Vuosikeskiarvo
[$\mu\text{g m}^{-3}$]

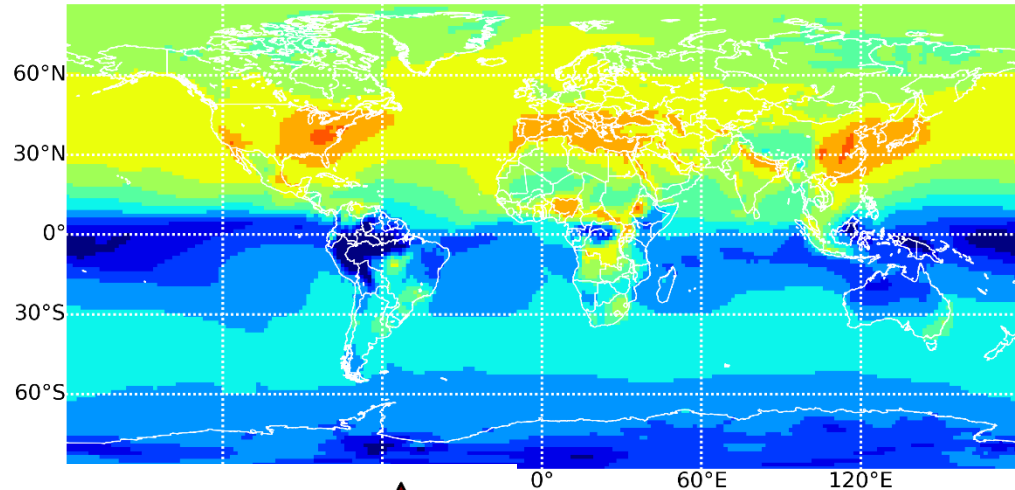
PM_{2.5} - pitoisuudet ovat kasvaneet Intiassa ja Kiinassa, ja laskeneet erityisesti Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa, vuodesta 1980 vuoteen 2015.

Autiomaiden pöly ei ole mukana laskelmissa.

O₃–pitoisuuksien ajallinen kehitys

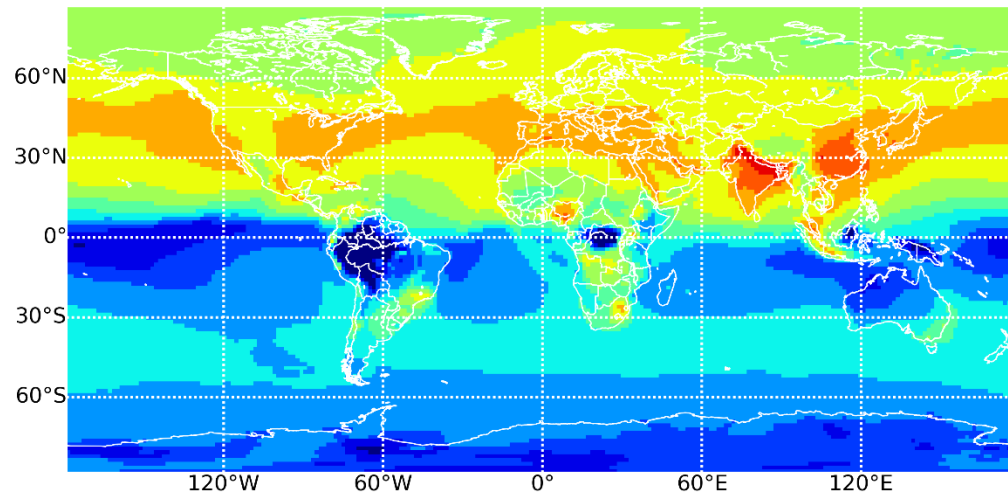
1980

cnc_O3_gas, mean of apta_global_1980_monthly_srf, ug/m3



2015

cnc_O3_gas, mean of apta_global_2015_monthly_srf, ug/m3

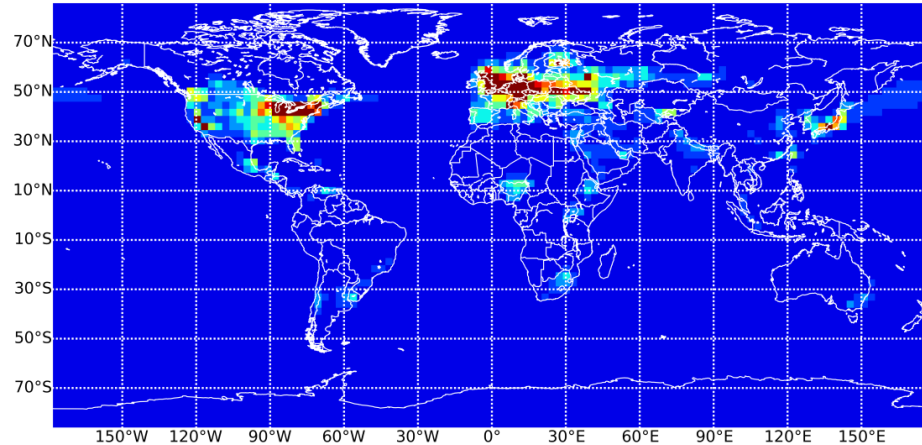


Vuosikeskiarvo
[$\mu\text{g m}^{-3}$]

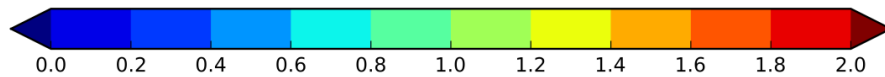
- ☐ Pitoisuudet ovat kasvaneet erityisesti Intiassa, myös Kiinassa
- ☐ Pohjoiselle pallonpuoliskolle on muodostunut otsonin vyöhyke ympäri maapallon

NO₂ – pitoisuudet 1980-1985 (ylempi kuva) ja 2009-2013 (alempi kuva)

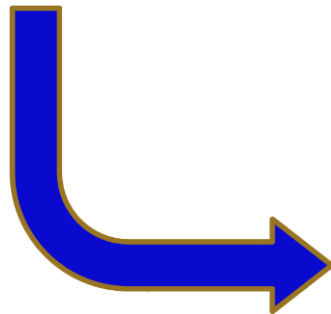
cnc_NO2_gas, mon 8, mean 1980-1985, ugN/m³



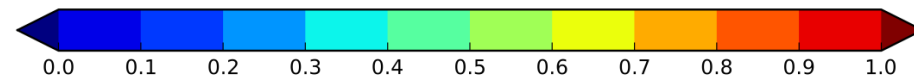
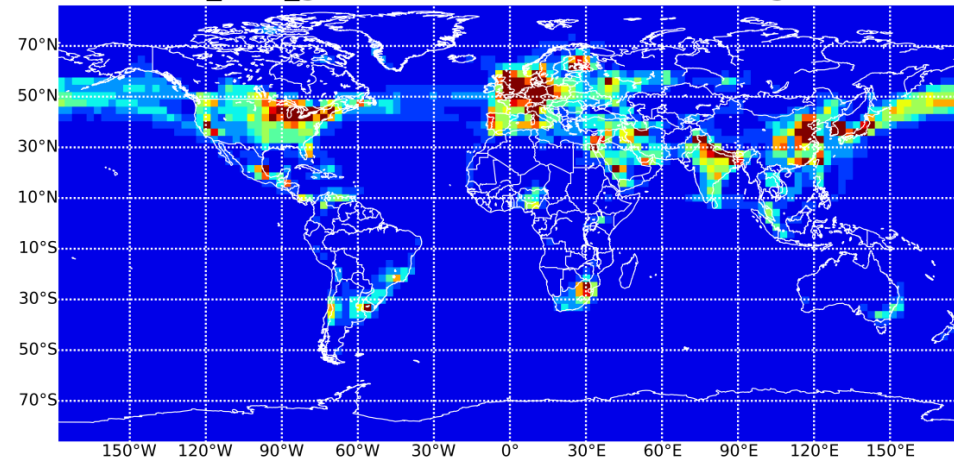
- ❖ Kuvissa esitetty kuukausi-keskiarvot elokuussa lähellä maanpintaa
- ❖ Hilaväli 2.88°
- ❖ Yksikkö $\mu\text{g N /m}^3$
- ❖ emission: MACCity
- ❖ Alemman kuvan pitoisuuksien väriskaala on puolet ylemmän kuvan arvoista.



Pitoisuudet jakautuvat nykyisin laajemmalle alueelle, mm. Kiinaan, Intiaan, Lähi-itään, sekä Väli- ja Etelä-Amerikkaan.

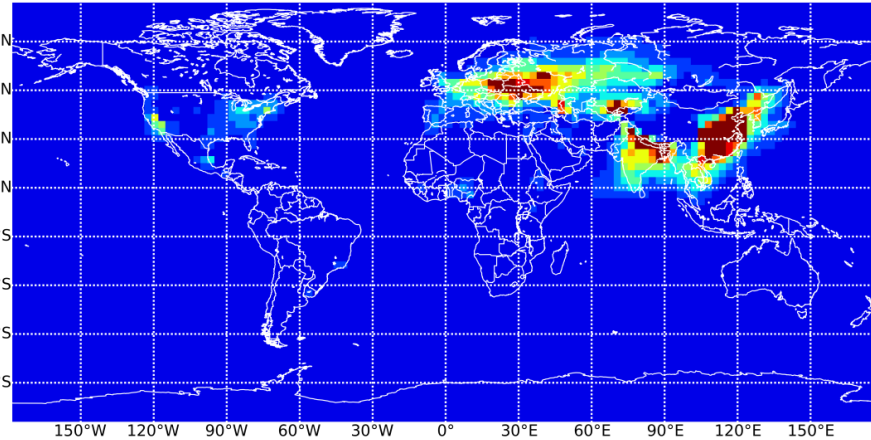


cnc_NO2_gas, mon 8, mean 2009-2013, ugN/m³

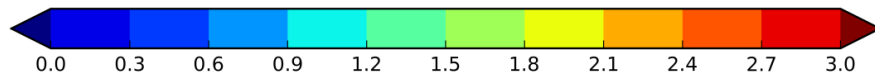


Mustan hiilen pitoisuudet vuosina 1980-1985 (ylempi kuva) ja 2009-2013 (alempi kuva)

cnc_BC_m_50, mon 1, mean 1980-1985, ugC/m3

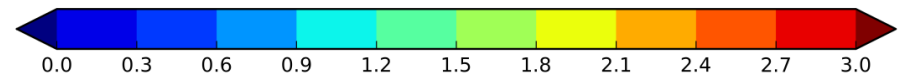
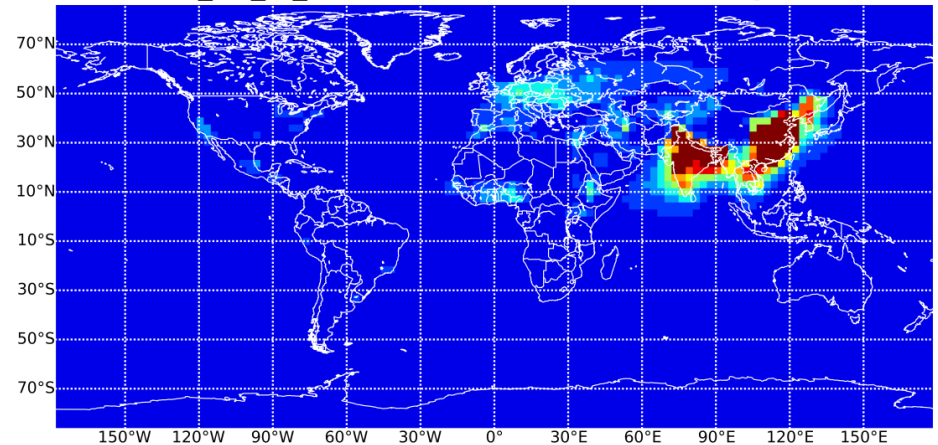


- ❖ Kuvissa esitetty kuukausi-keskiarvot tammikuussa lähellä maanpintaa
- ❖ Hilaväli 2.88°
- ❖ Yksikkö $\mu\text{g C / m}^3$
- ❖ emission: MACCity



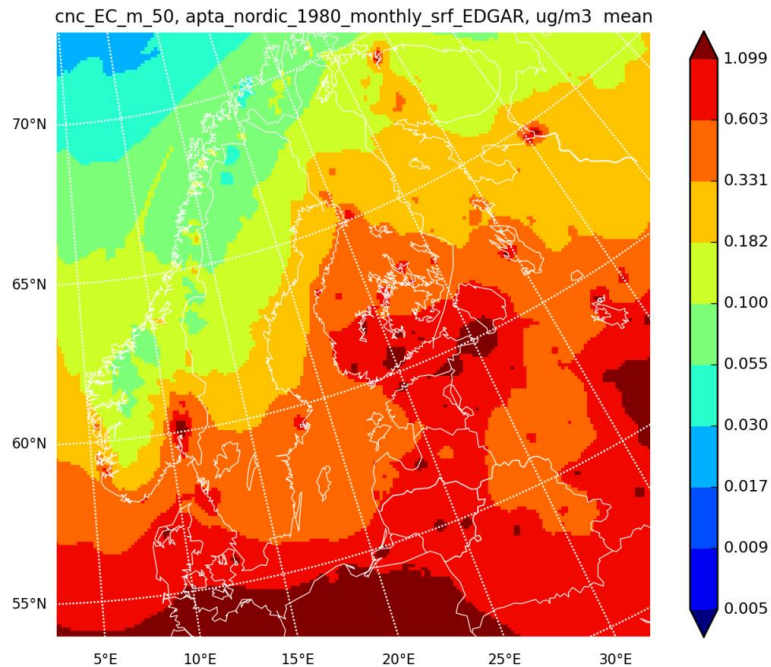
Pitoisuudet ovat alentuneet Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa, ja kasvaneet Intiassa ja mm. Afrikassa.

cnc_BC_m_50, mon 1, mean 2009-2013, ugC/m3



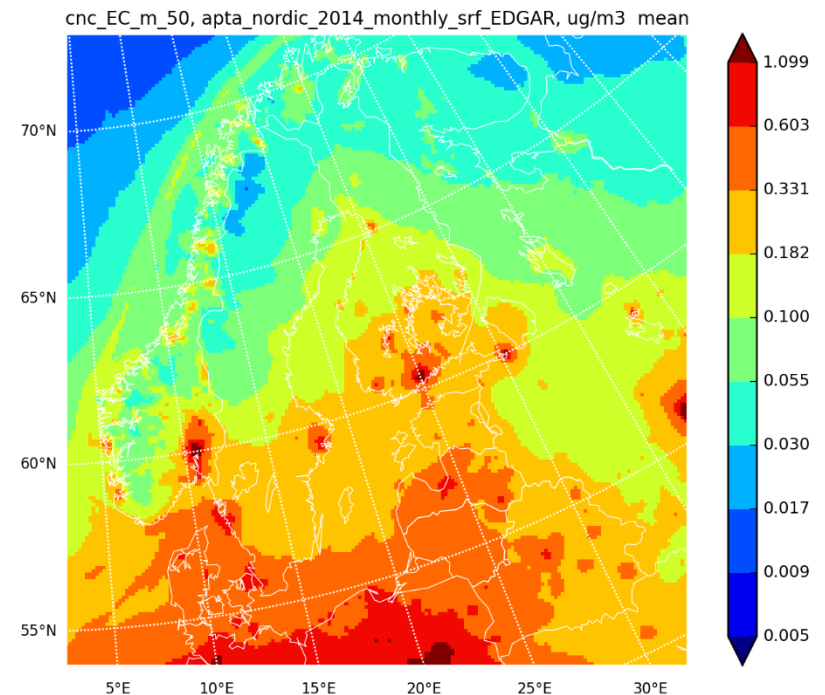
Mustan hiilen pitoisuudet Pohjois-Euroopassa

1980



Pitoisuudet ovat laskeneet suunnilleen tekijällä kolme.

2014



Vuosikeskiarvot, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Menetelmät

- ❖ BaltAn = Met data for Baltic Sea region, 11 km, 6 h resoluutio
- ❖ EDGAR = Emissions Database for Global Atmospheric Research, Joint Research Centre



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

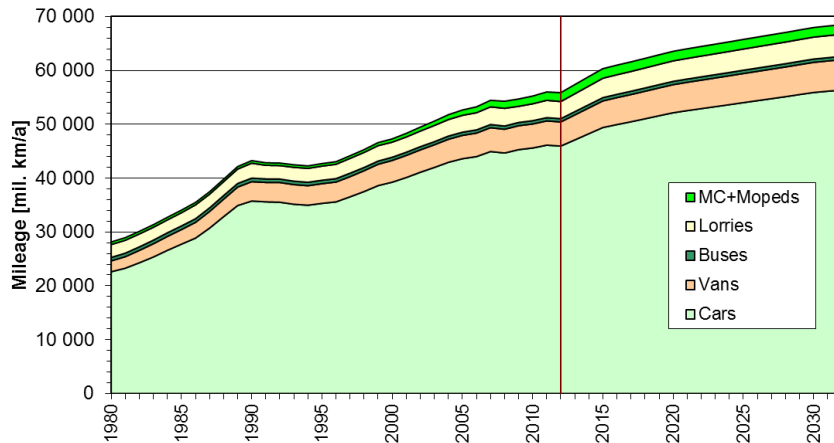


Tuloksia pääkaupunkiseudulla



Liikennemäärät ovat kasvaneet 1980-luvulta asti, ja samanaikaisesti liikenteen päästöt ovat pienentyneet 1980-luvun loppupuolelta alkaen

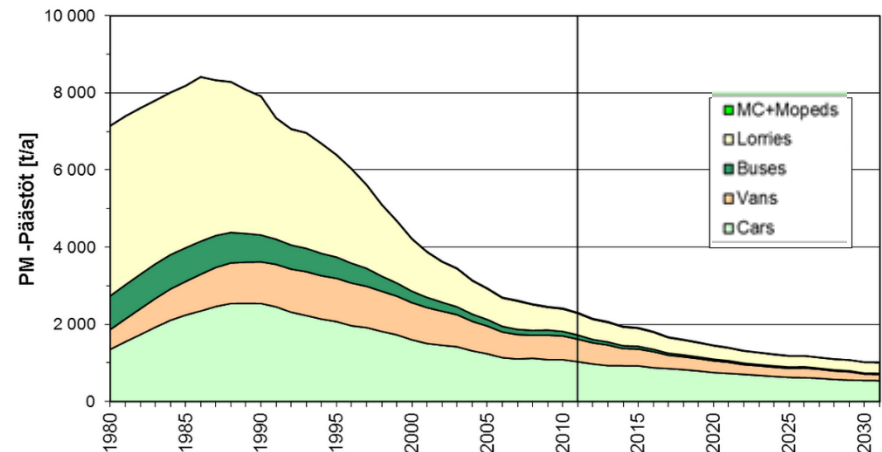
Road traffic mileage in Finland



LIISA 2012 model

Ajetut liikennekilometrit Suomen teillä
vuodesta 1980 vuoteen 2030, eri
ajoneuvoluokille

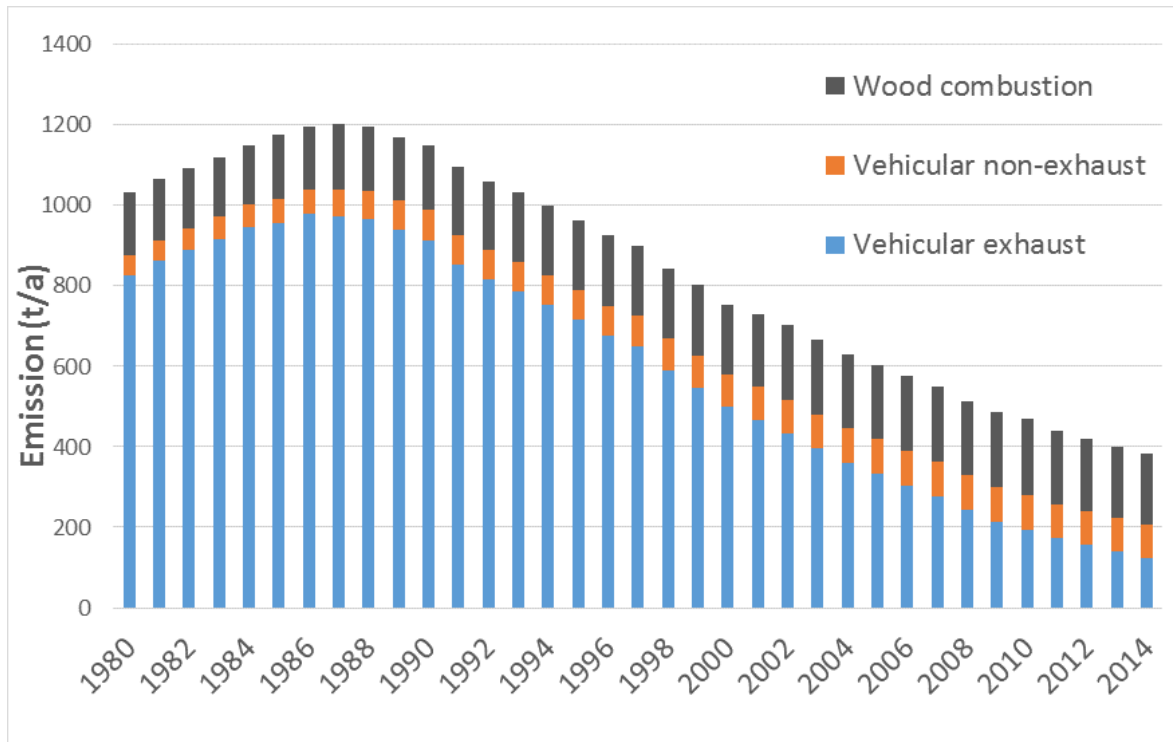
Suomen tieliikenteen hiukkaspäästöt (PM)



Hiukkaspäästöt tieliikenteestä Suomessa
(tonnia vuodessa) vuodesta 1980 vuoteen
2030, eri ajoneuvoluokille.

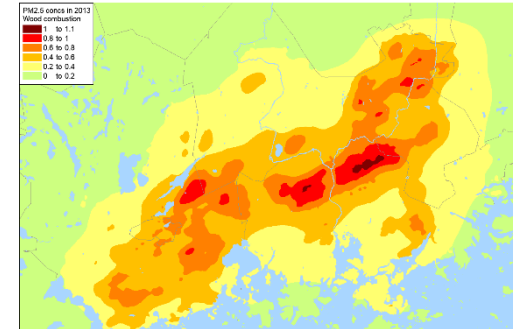
Ref. LIISA 2011, Computational system for the exhaust emissions from traffic,
Kari Mäkelä, Heidi Auvinen, VTT

Päästöjen ajallinen kehitys pääkaupunkiseudulla 1980 - 2014

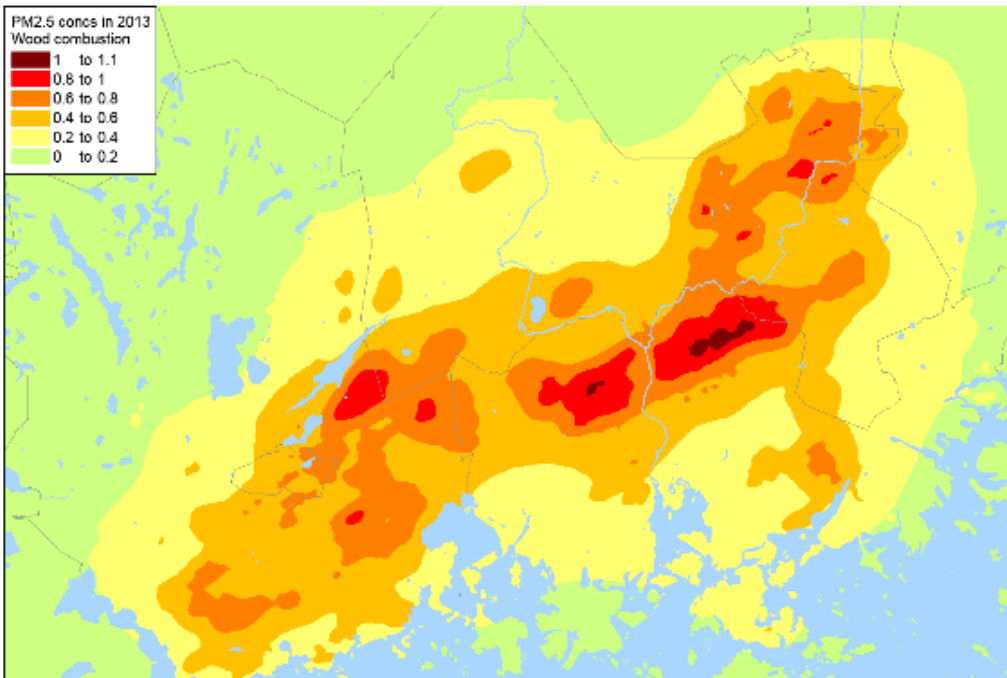


Tieliikenteen päästöt ovat olleet suurimmillaan 1980-luvun lopulla, noin viisinkertaiset verrattuna vuoden 2014 tilanteeseen.

Puun pienpolton ja suspensiopäästöjen osuus on kasvanut 1980 -luvun jälkeen.



Pitoisuudet puun pienpoltosta (ylempi kuva) ja tieliikenteestä (alempi kuva) vuonna 2013.



The concentrations from residential wood combustion (left) and from road traffic (right) in 2013.

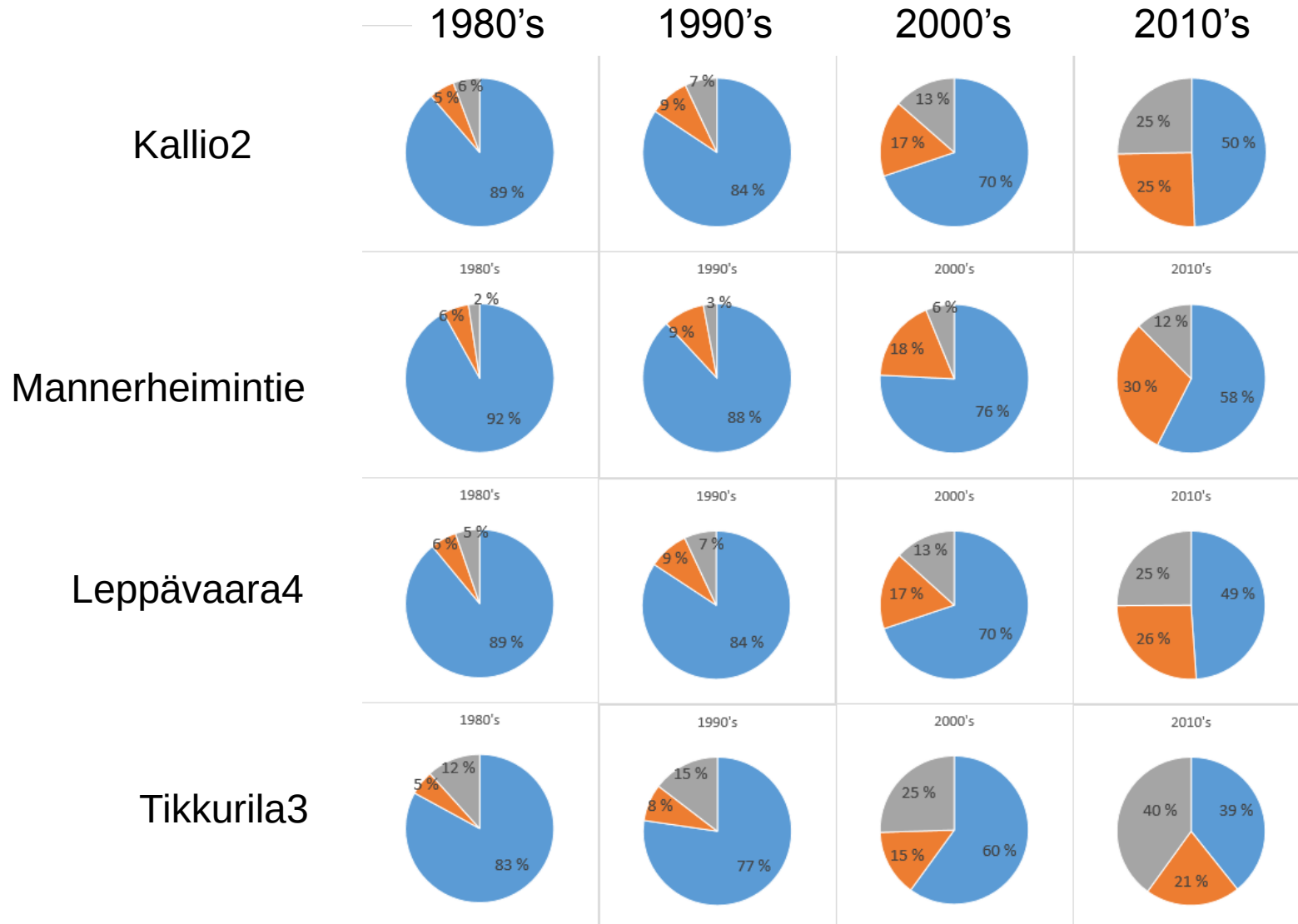
Colour code in the legends of both panels is the same.

- > The spatial distribution of the contributions of these two main local sources is substantially different.



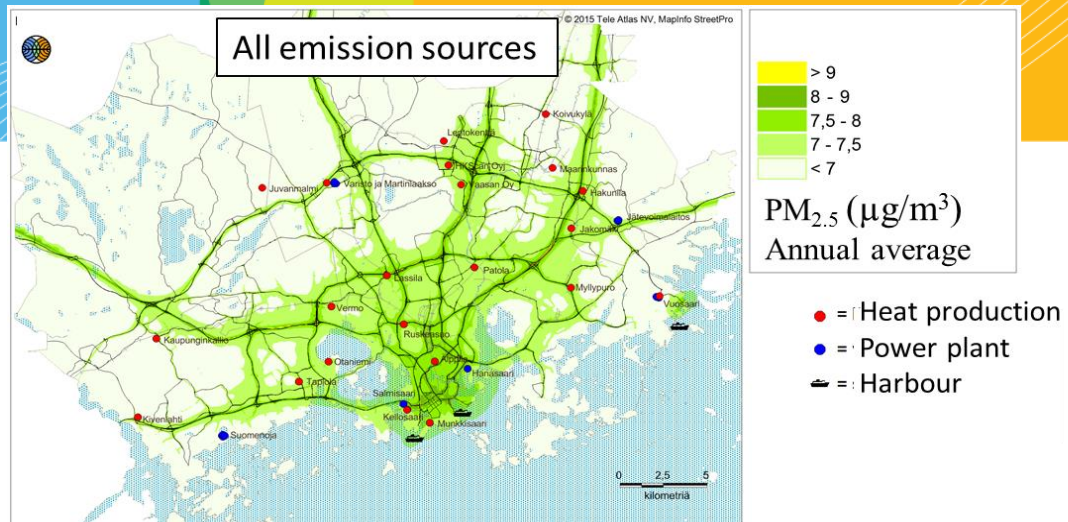
The relative local source contributions to PM_{2.5} concentrations have substantially changed during four decades.

- Vehicular exhaust
- Vehicular non-exhaust
- Wood combustion



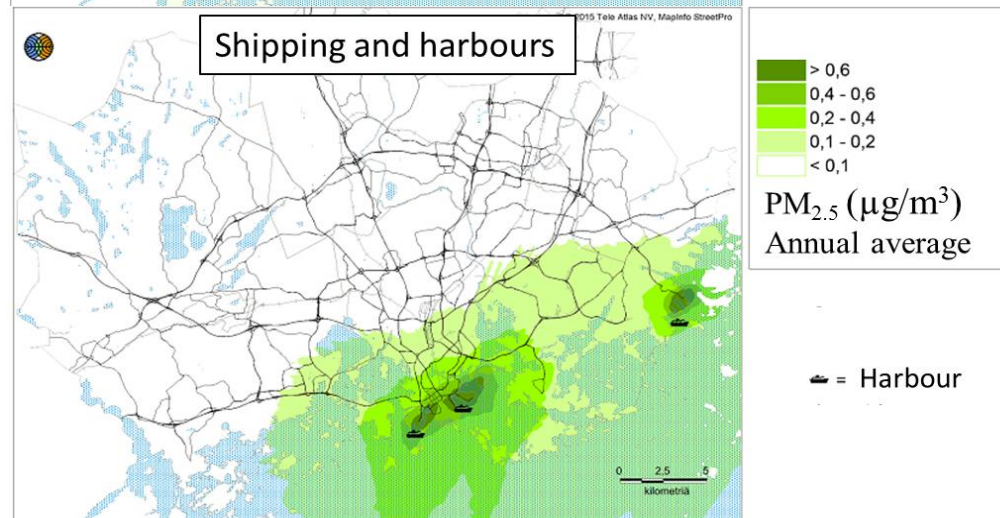
Upper panel:

The predicted three-yearly average concentrations of PM_{2.5} (2012 – 2014) originated from the regional background and all source categories, except for small-scale wood combustion.



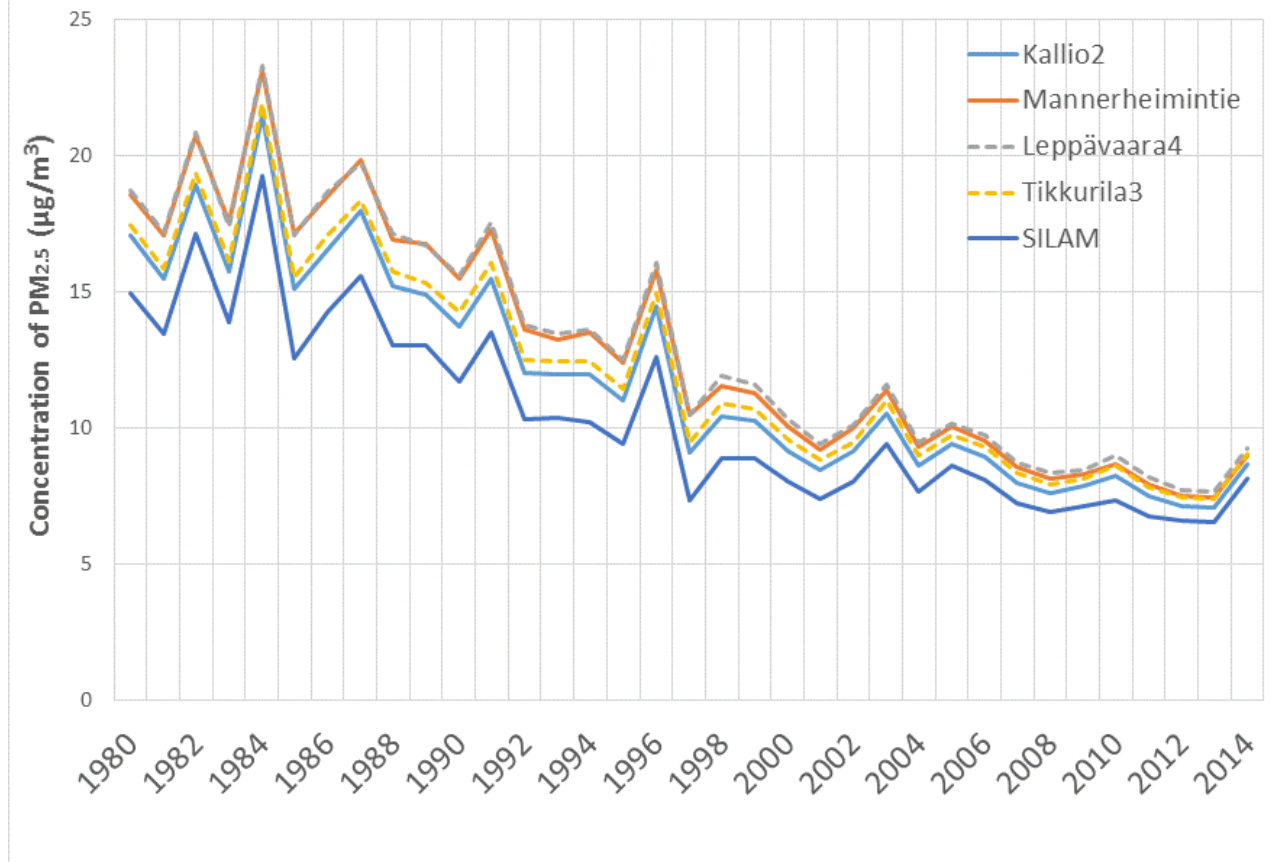
Lower panel:

The corresponding contribution for only shipping and harbor activities in the Helsinki region.



Ref: Hannuniemi et al., 2016.

- ❖ The **largest contributions** of shipping and harbours to the total PM_{2.5} concentrations are of the order of **10-20 %** in the close vicinity of the three major harbours.
- ❖ The contribution of shipping is dispersed especially around the **central** Helsinki area, and in the **south-eastern coastal** regions.

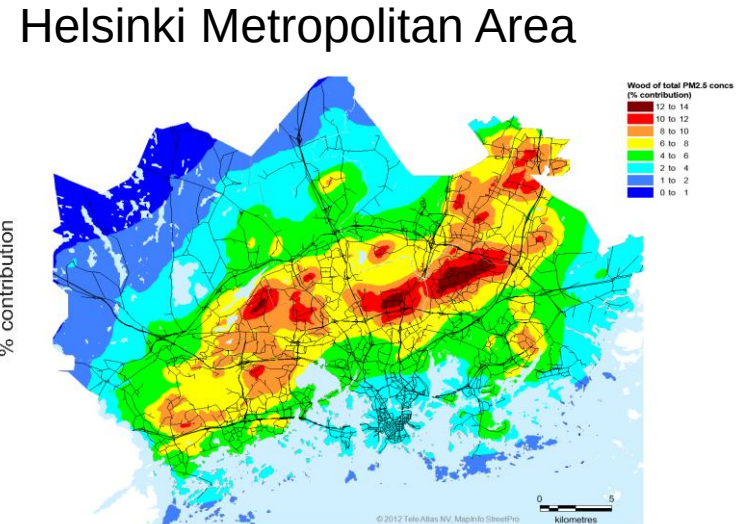
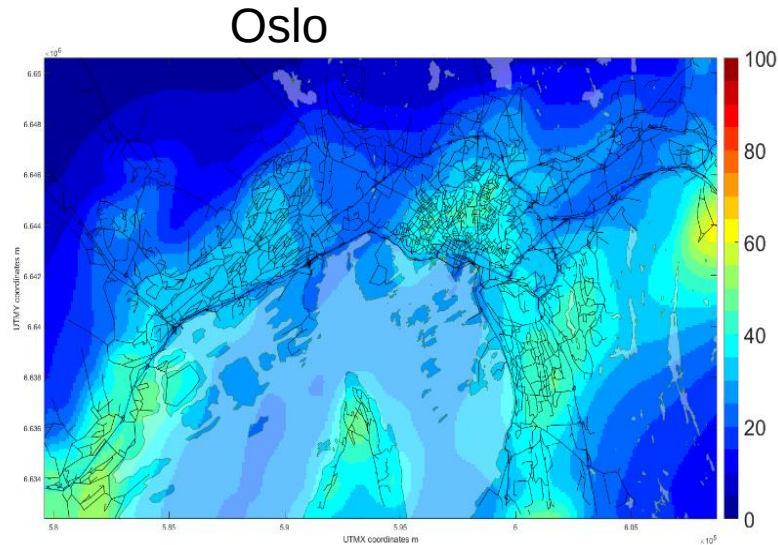


Trends of the modelled annual urban PM_{2.5} concentrations at four stations in the Helsinki region, and the modelled regional background (SILAM), 1980 – 2014.

- ❖ The **highest** concentrations occurred **in the early 1980's**
- ❖ The concentrations have **decreased to about a half**
- ❖ **Regional background** has been clearly the largest contribution for PM_{2.5}
- ❖ The concentrations were systematically **highest at the busy urban traffic stations** and lowest at the urban background station (Kallio)
- ❖ The results **have been evaluated** against urban air quality measurements



The influence of **residential wood combustion (RWC)** on air quality in Nordic cities, two examples



The percentage of RWC on PM2.5 concentrations in 2013.
Oslo results, ref.: Lopez-Aparicio, Sundvor and Santos, NILU.

There are major differences between the Nordic capitals:

- RWC percentages of the PM2.5 concentrations: Oslo 20 - 50 %, Helsinki region 0 – 14 %.
- Spatial distributions: in Oslo, center of the city and suburban areas, in Helsinki region, only suburban areas.



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE



Terveysvaikutukset



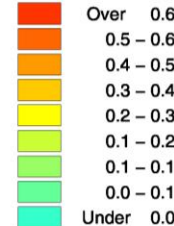
World Health Organisation, Report 2014

- **7 million deaths** annually linked to air pollution
 - ✓ This estimate is substantially higher than has been known previously
- Air pollution is **the world's largest single environmental health risk**
- Air pollution has a role in the development of **respiratory** diseases. A strong link was also found between air pollution exposure and **cardiovascular** diseases, such as strokes and ischaemic heart disease, as well as between air pollution and **cancer**.
- Regionally, low- and middle-income countries in the **South-East Asia** and **Western Pacific Regions** had the largest air pollution-related burden
- In the case of **outdoor air pollution**, WHO estimates there were **3.7 million deaths** in 2012 from urban and rural sources worldwide.

<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

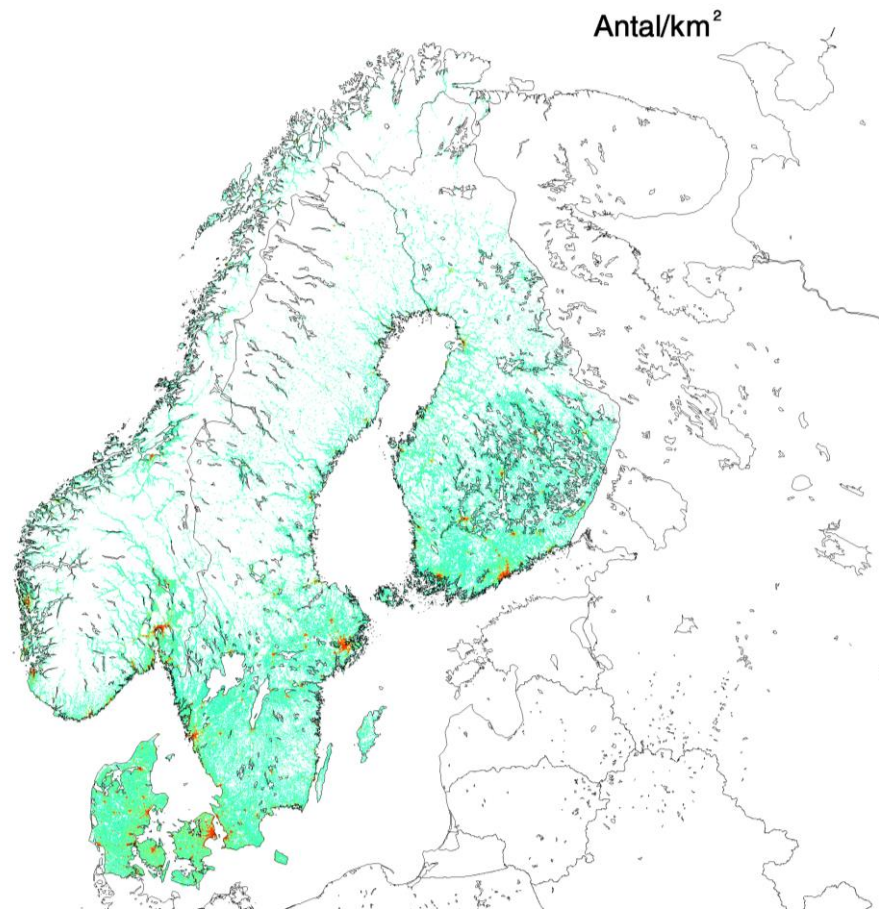


Predicted health impacts in the continental Nordic countries, using the EVA model, for 2015

Total population 26.1 million.

Circa 12 000 premature deaths due to air pollution.

Ref. Aarhus University; Jorgen Brandt, Camilla Geels



Distribution of premature deaths due to PM_{2.5} in 2015.

Ennenaikaiset kuolemantapaukset ilmansaasteista johtuen Tanskassa

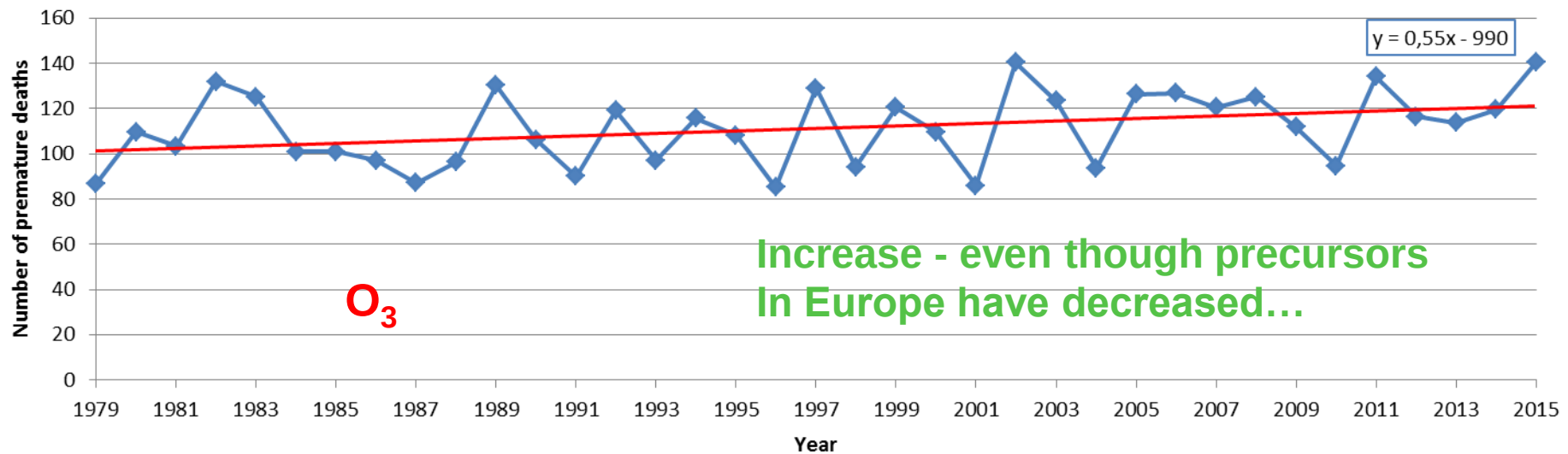
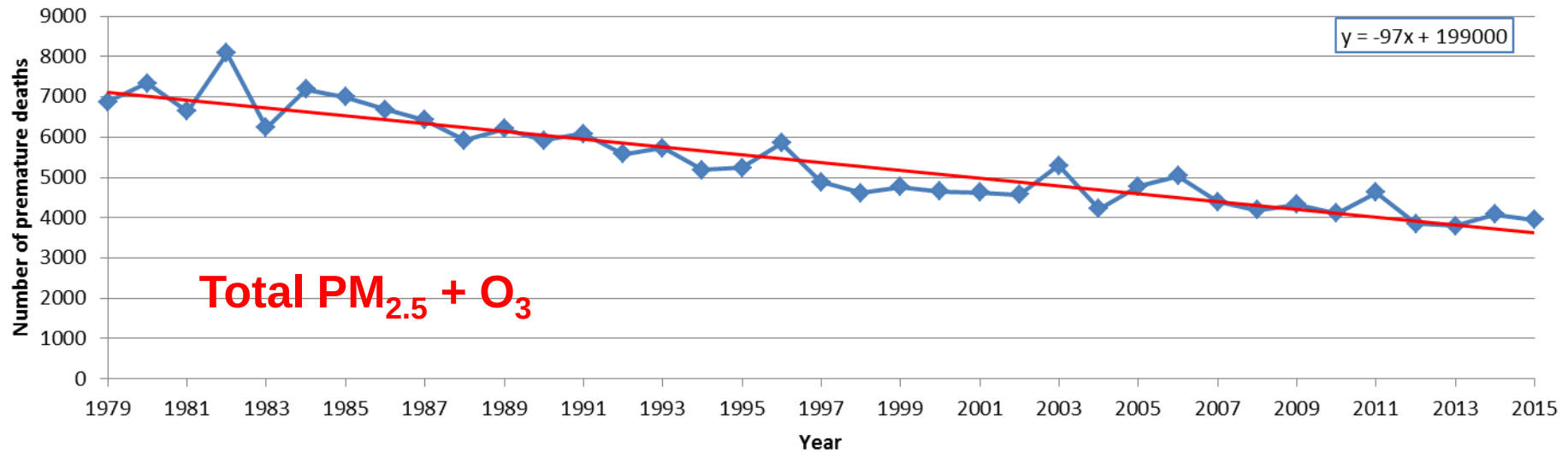




Table 5. Estimates of attributable disease burden for four main air pollutants in Finland in 2015.

Pollutant	DALY	(95% CI)	YLL/YLD	Deaths	YLL/Death
PM _{2.5}	26,000	(17,000–36,000)	61	1600	16
PM ₁₀	3800	(1900–5700)	3	160	18
NO ₂	4400	(2400–7100)	10	240	17
O ₃ ^a	750	(330–1300)	11	40	17
Total	35,000	(25,000–46,000)	17	2000	17

DALY disability-adjusted life years, YLL years of life lost, YLD years lived with disability, CI confidence interval.

^a Ozone impacts are based on SOMO35.



Article

Health Impacts of Ambient Air Pollution in Finland

Heli Lehtomäki ^{1,*} , Antti Korhonen ¹, Arja Asikainen ¹, Niko Karvosenoja ²,
Kaarle Kupiainen ², Ville-Veikko Paunu ², Mikko Savolahti ², Mikhail Sofiev ³,
Yuliia Palamarchuk ³, Ari Karppinen ³, Jaakko Kukkonen ³ and Otto Hänninen ¹ 

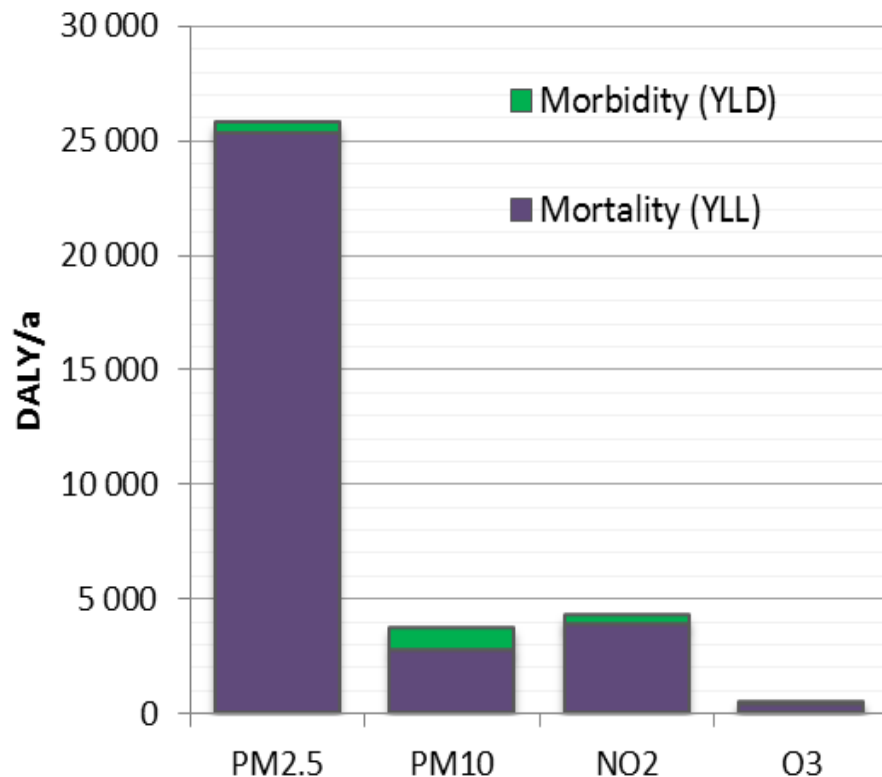
¹ National Institute for Health and Welfare (THL), 70701 Kuopio, Finland; antti.korhonen@thl.fi (A.K.);
arja.asikainen@thl.fi (A.A.); otto.hanninen@thl.fi (O.H.)

² Finnish Environmental Institute (SYKE), 00251 Helsinki, Finland; niko.karvosenoja@ymparisto.fi (N.K.);
kaarle.kupiainen@ymparisto.fi (K.K.); ville-veikko.paunu@ymparisto.fi (V.-V.P.);
mikko.savolahti@ymparisto.fi (M.S.)

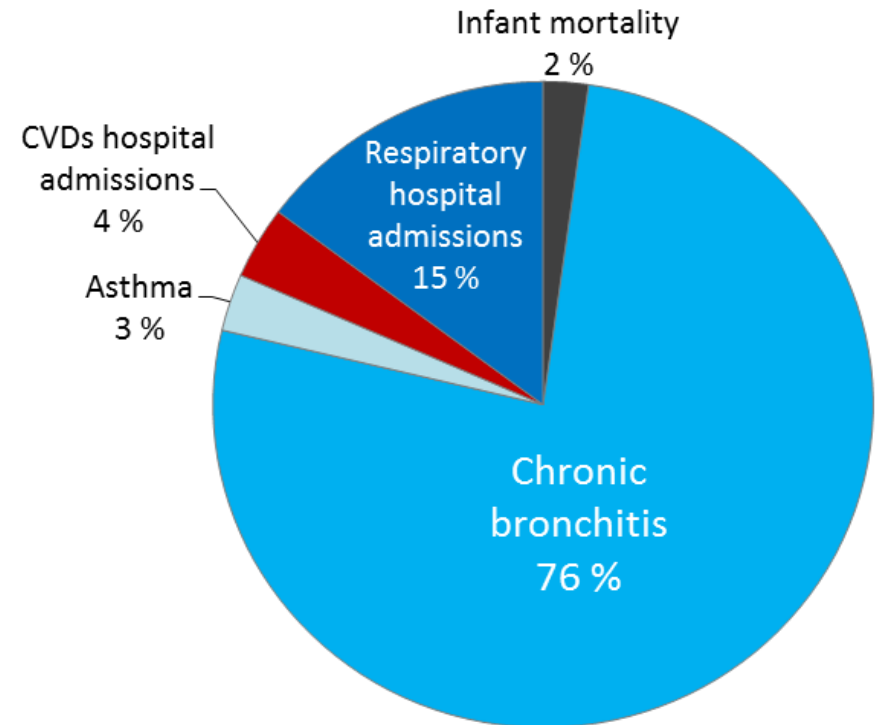
³ Finnish Meteorological Institute (FMI), 00560 Helsinki, Finland; mikhael.sofiev@fmi.fi (M.S.);
yuliia.palamarchuk@fmi.fi (Y.P.); ari.karppinen@fmi.fi (A.K.); jaakko.kukkonen@fmi.fi (J.K.)

* Correspondence: heli.lehtomaki@thl.fi; Tel.: +358-29-524-7004

Disease burden of air pollution in Finland in 2015 in terms of pollutants and health outcomes (Lehtomäki et al, 2018)



Attributable disease burden for the four assessed air pollutants in Finland (34,000 DALY)



Disease burden by health outcomes, excluding natural mortality (4,400 DALY)

Fine particles were the main contributor (74%) to the disease burden.



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE



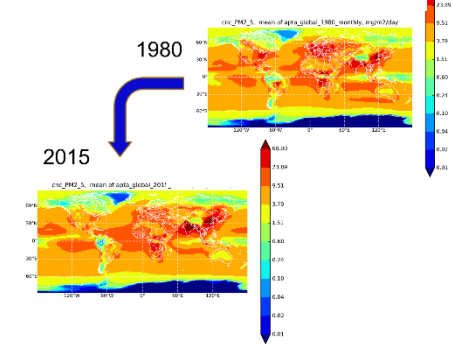
Johtopäätökset



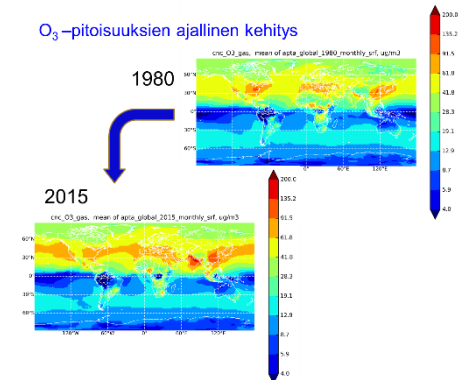
Johtopäätöksiä # 1 / 2

- Tutkimuksessa on arvioitu ilmakehän koostumusta globaalissa ja alueellisessa mittakaavassa, sekä pääkaupunkiseudulla, 1980-luvulta alkaen. Tällaisia arvioita ei ole aiemmin tehty.
- Laskentatulokset olivat hyvin yhteensopivia mittausten kanssa pääkaupunkiseudulla vuosina 1999 – 2014, ja ns. sijaismuuttuja-analyysien mukaan myös vuodesta 1988 lähtien.
- Globaaleja tuloksia:
 - Globaalisti PM_{2.5} - pitoisuudet ovat kasvaneet Intiassa ja Kiinassa, ja laskeneet erityisesti Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa, vuodesta 1980 vuoteen 2015
 - Otsonin pitoisuudet ovat kasvaneet erityisesti Intiassa, myös Kiinassa. Pohjoiselle pallonpuoliskolle on muodostunut otsonin vyöhyke ympäri maapallon.
 - Typpidioksidin pitoisuudet jakautuvat nykyisin laajemmalle alueelle, mm. Kiinaan, Intiaan, Lähi-itään, sekä Väli- ja Etelä-Amerikkaan.

Globaalien PM_{2.5} -pitoisuuksien ajallinen kehitys



O₃ -pitoisuuksien ajallinen kehitys





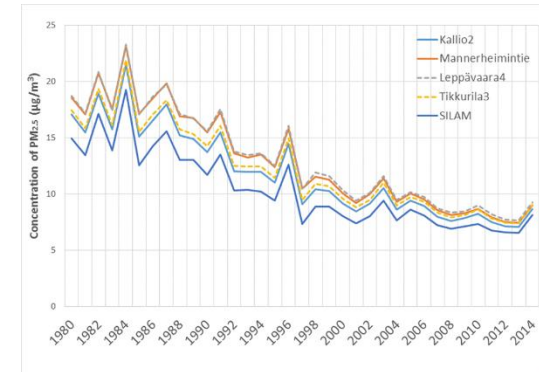
Johtopäätöksiä # 2 / 2

➤ Pääkaupunkiseudun tuloksia

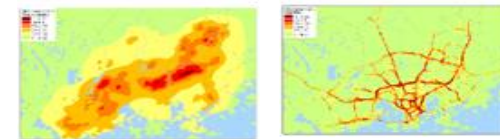
- PM2.5 –pitoisuudet ovat laskeneet noin puoleen maksimiarvoistaan 1980-luvulla.
- Alueellinen tausta muodostaa suurimman osuuden pienhiukkaspitoisuuksista.
- Päästölähteiden suhteelliset osuudet ovat muuttuneet huomattavasti: puun pienpoltosta peräisin olevat PM2.5 – päästöt ovat nykyisin lähes yhtä suuret kuin liikennepäästöt.

➤ Terveysvaikutuksia

- Maailmanlaajuisesti ilmansaasteet aiheuttivat WHO'n mukaan noin 7 miljoonaa ennen aikaista kuolemantapausta sisä- ja ulkoilmassa vuonna 2012
- Euroopan laajuisesti ennen aikaisia kuolemantapauksia on eri arvioiden mukaan luokkaa 600 000 – 700 000 (WHO; Århus Univ.)
- Suomessa noin 2000 ennen aikaista kuolemantapausta vuosittain (Lehtomäki et al., 2018)



Annual urban PM2.5 concentrations, 1980 – 2014.



The concentrations from residential wood combustion and road traffic in 2013, Helsinki region.



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Lisä-materiaalia



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Atmospheric Chemistry and Physics

An interactive open-access journal of the European Geosciences Union

| EGU.eu | EGU Journals | EGU Highlight Articles | Contact | Imprint |

A manuscript on the mainly **urban** aspects of this study has been published.

Discussion papers

Abstract

Discussion

Metrics

<https://doi.org/10.5194/acp-2017-968>

© Author(s) 2018. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.



Research article

03 Jan 2018

Modelling of the urban concentrations of PM_{2.5} on a high resolution for a period of 35 years, for the assessment of lifetime exposure and health effects

Review status

This discussion paper is a preprint. It is a manuscript under review for the journal Atmospheric Chemistry and Physics (ACP).

Jaakko Kukkonen¹, Leena Kangas¹, Mari Kauhaniemi¹, Mikhail Sofiev¹, Mia Aarnio¹, Jouni J. K. Jaakkola², Anu Kousa³, and Ari Karppinen¹

¹Finnish Meteorological Institute, Erik Palmenin aukio 1, P.O. Box 503, FI-00101, Helsinki, Finland

²Center for Environmental and Respiratory Health Research, and Medical Research Center, P. O.