



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Musta hiili ilmastopakotteena: Päästöjen ja päästövähennysten globaalit ja alueelliset vaikutukset

Ari Laaksonen, IL

Kaarle Kupiainen, SYKE

Veli-Matti Kerminen, HY



Taustaa

T.C. Bond et al., J. Geophys. Res., 2013:

Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment (n. 250 s.)

- **Mustan hiilen pakote 1.1 Wm^{-2} ($0.17\text{-}2.1 \text{ Wm}^{-2}$)**
- **Musta hiili toiseksi suurin yksittäinen ilmastopakote**
- **AR5 jonkin verran konservatiivisempi: n. 0.65 Wm^{-2} ($0.2\text{-}1.1 \text{ Wm}^{-2}$)**



Taustaa

Suora pakote:

Ilmassa leijuva musta hiili absorboi auringonvaloa

- **Arvioitu pakote (Bond) 0.71 Wm^{-2} ($0.17\text{-}2.1 \text{ Wm}^{-2}$)**
- **Potentiaalisesti voimakkain ekvaattorin lähellä, kesäaikaan, alueilla joiden pinta-albedo korkea**



Taustaa

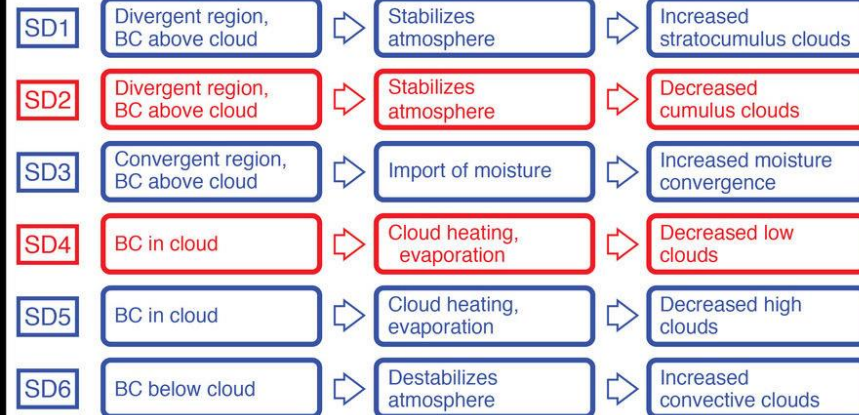
Epäsuora pakote: Erilaiset pilviin vaikuttavat prosessit

- Arvioitu pakote 0.18 Wm^{-2}
(n. $-0.6 - +0.9 \text{ Wm}^{-2}$)

BC cloud indirect effects Climate **warming** and **cooling** effects

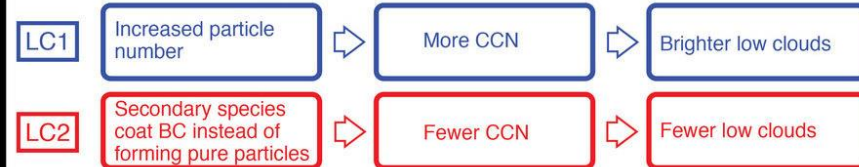
Combined liquid cloud effects

Semi-direct effects



Liquid-cloud effects

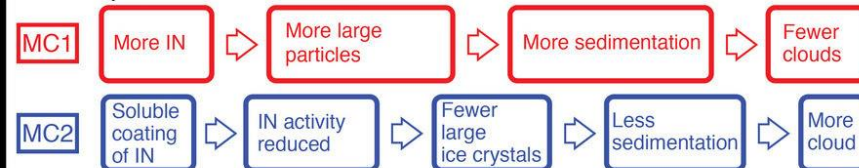
First indirect effect or cloud albedo effect



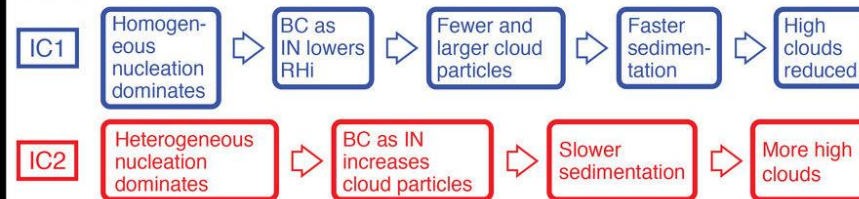
Second indirect effect or cloud lifetime effect



Mixed-phase cloud effects



Ice cloud effects





Taustaa

Kryosfääripakote:

Lumelle ja merijälle deposoitunut mustahiili aiheuttaa aikaistuneen sulannan keväällä/kesällä

- **Arvioitu pakote 0.13 Wm^{-2} (n. $+0.015 - +0.3 \text{ Wm}^{-2}$)**
- **IPCC AR5 arvio: 0.04 Wm^{-2}**
- **Tärkein arktisilla alueilla, talviaikaiset emissiot**

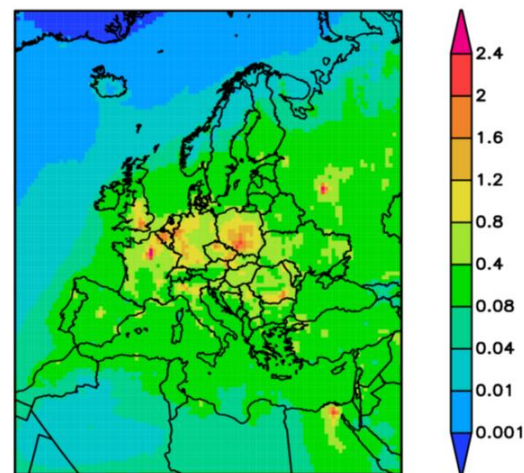


Suomen mustan hiilen päästöjen ilmastovaikutukset

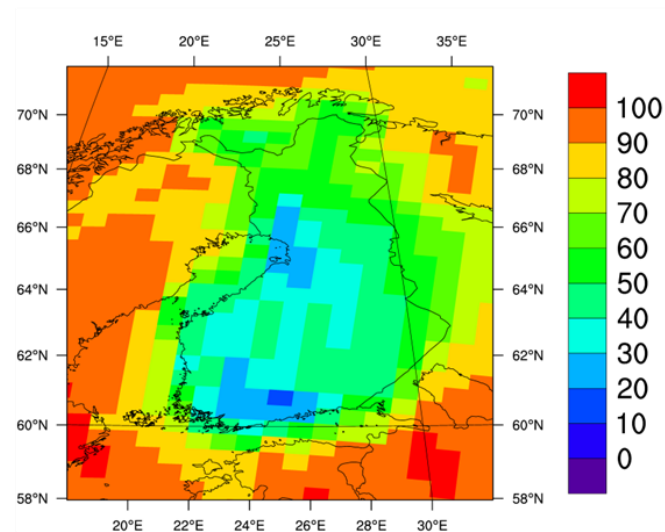
YM:n rahoittama
projekti 2011-2012,
Ilmatieteen laitos

REMO-HAM

Mustan hiilen
pitoisuudet
Euroopassa
2005

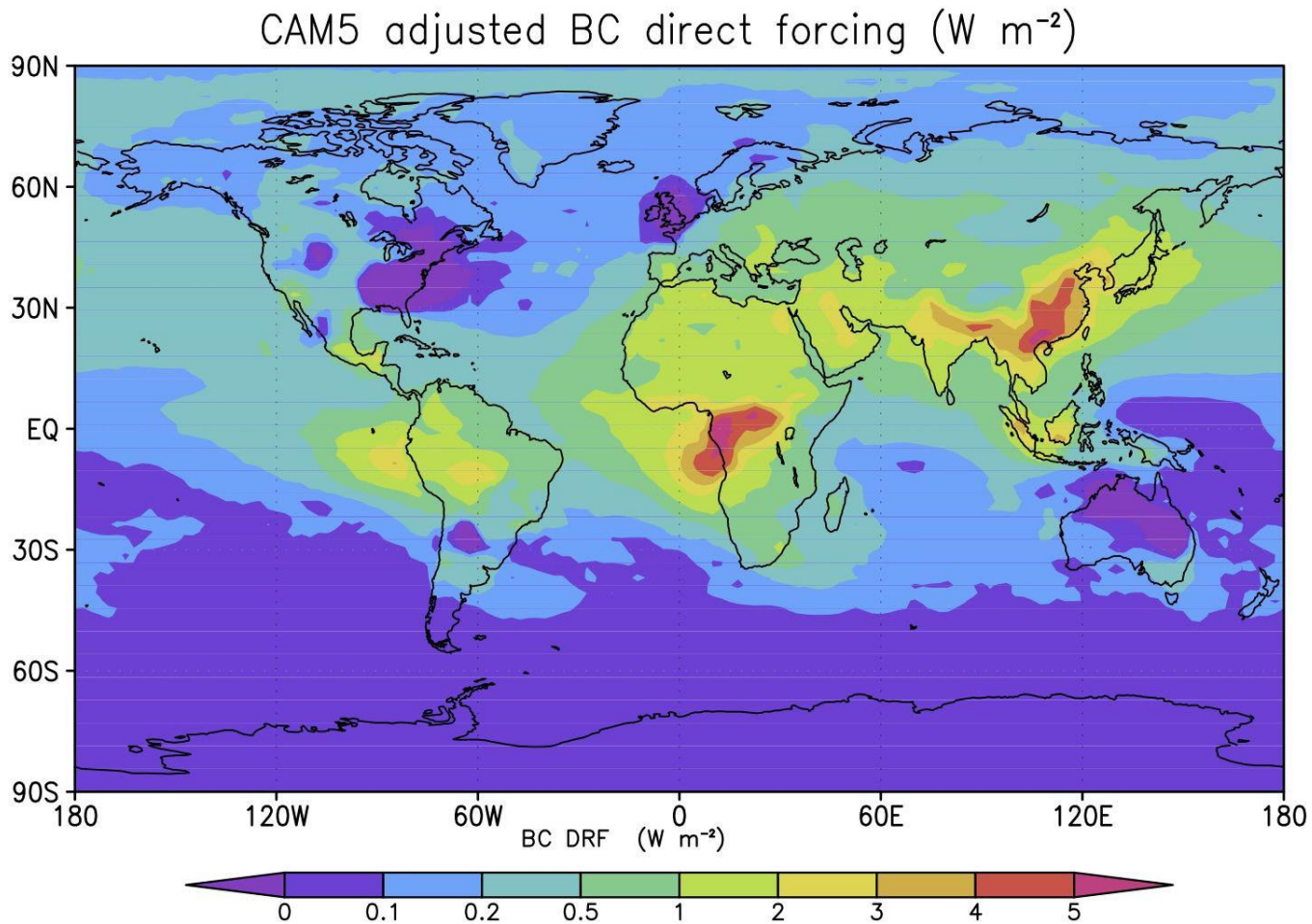


Arvioitu
kaukokulkeuman
prosenttiosuus
Suomen mustan
hiilen
pitoisuuksista



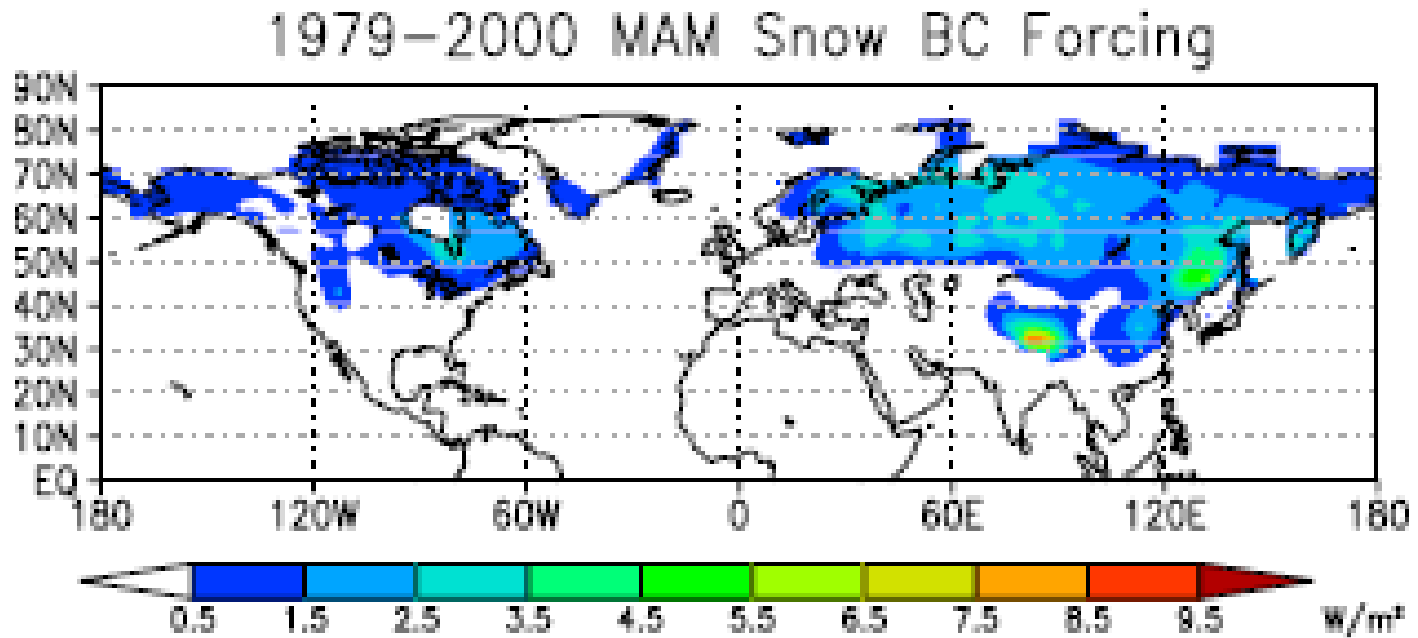


Suora pakote, Bond et al. (2013)





Kryosfääripakote, Flanner et al. (2009)





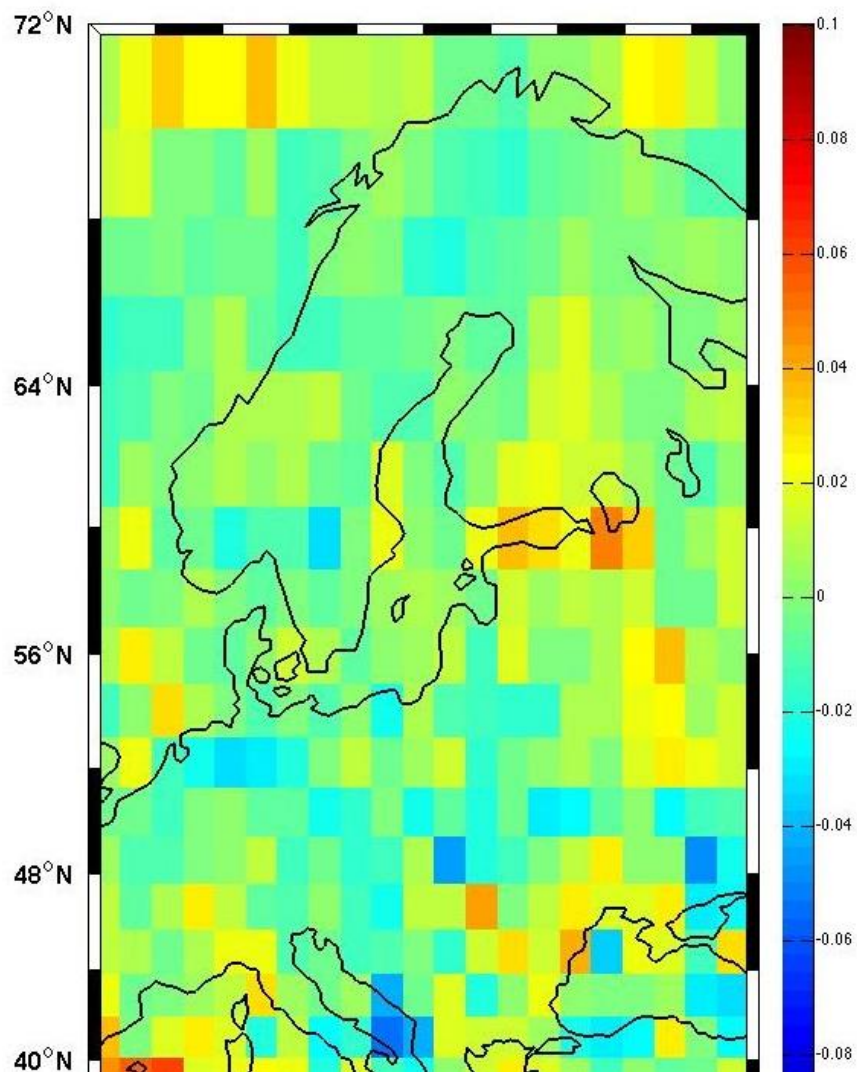
Tuloksia YM-projektista ja Ilmastopaneelin projektista

- YM-projektissa e.m. kartoista arvioidut pakotteet skaalattiin lasketuilla Suomen päästöjen aiheuttamilla mustahiilipitoisuuksilla / depositiovoilla
- IP-projektissa tehtiin omat simulaatiot globaalilla ECHAM5-HAM aerosoli-ilmastomallilla, joista pakotteet on laskettu
- Suomen päästöt aiheuttavat n. puoli promillea mustan hiilen suorasta pakotteesta. Pakote hyvin samanlainen molemmilla tavoilla laskettuna (0.27 ja 0.3 mWm^{-2})

Wm^{-2}



Average BC radiative forcing 2010 2011

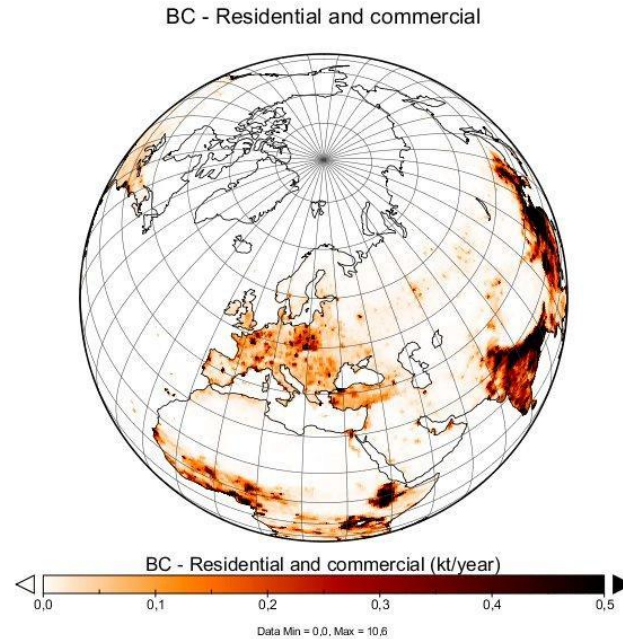




Tuloksia YM-projektista ja Ilmastopaneelin projektista

- Suomen päästöt aiheuttavat n. 0.5-1 prosenttia mustan hiilen kryosfääripakotteesta
- YM-projekti (skaalaus Flanner et al. pakotekarttaan): 1.4 mWm^{-2}
- IP-projekti (alustava arvio): 0.85 mWm^{-2}

Mustahiilipäästöt Suomessa



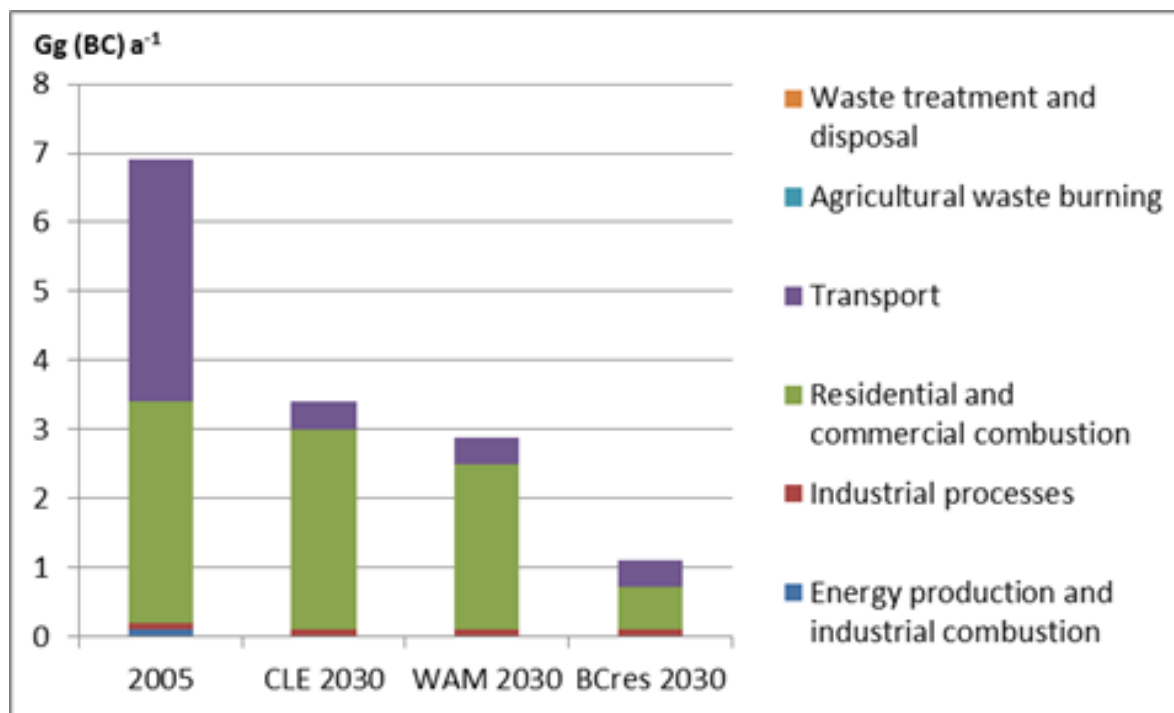
Yksityiskohtaisempaa materiaalia löydettävissä
www.maceb.fi

Suomen mustahiilipäästöt (lähde SYKE-FRES malli, www.maceb.fi)

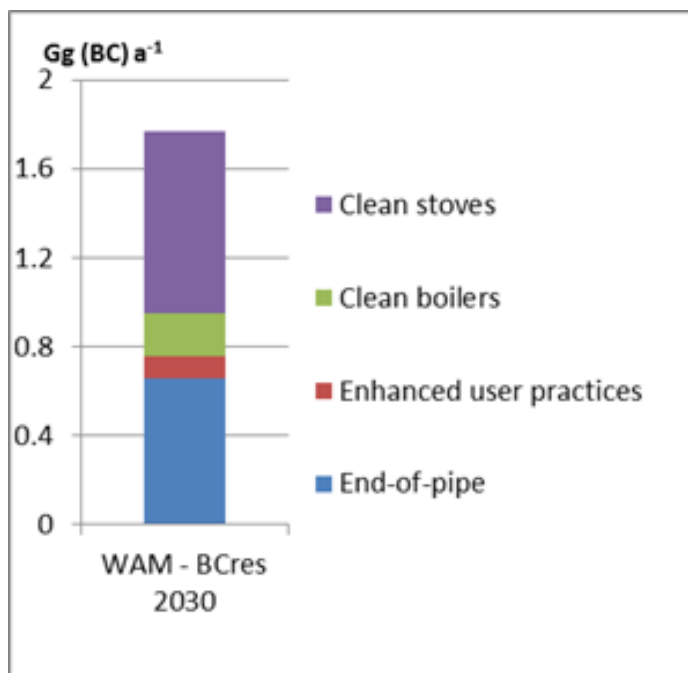
SKENAARIOT

- (1) CLE: Energia- ja ilmastostrategian perusura (täyttää EU:ssa CO₂ vähennyksille, uusiutuville energialähteille ja energiatehokkuudelle sovitut tavoitteet)
- (2) WAM: Energia- ja ilmastostrategian lisätoimenpide (With-Additional-Measures) skenaario (sisältää (1):n lisäksi toimia ei-päästökauppasektorin vähennystavoitteiden saavuttamiseksi (-16%) sekä tähtää tehostetusti 80% CO₂ vähennyksiin 2050 mennessä.
- (3) BCres: Vähennysskenaario, joka tutkii mustahiilen lisäpäästövähennysmahdollisuuksia erityisesti Suomen pienpolttosektorilla.

Suomen mustahiilipäästöt sektoreittain ja skenaarioittain



Pienpolttoteknologioilla saavutettavat lisäpäästövähennykset BCres skenaariossa



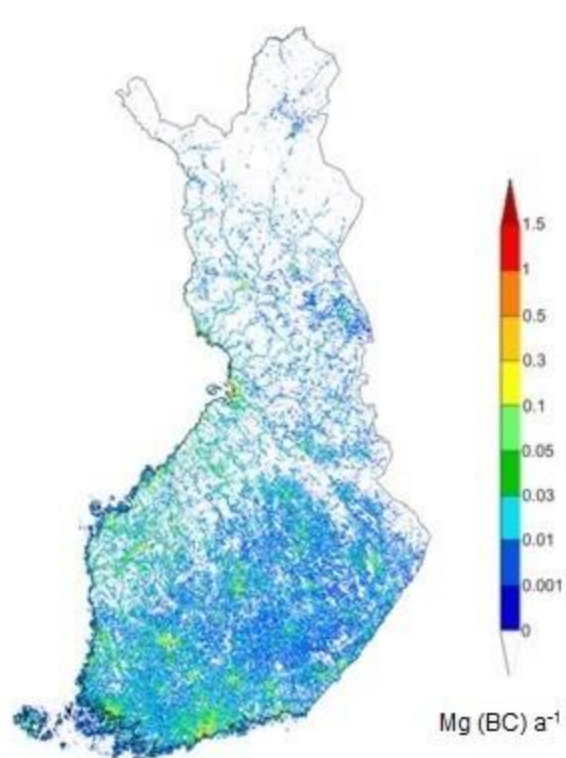


Fig 8. Spatial distribution of Finnish black carbon emissions in residential wood combustion sector in 2005

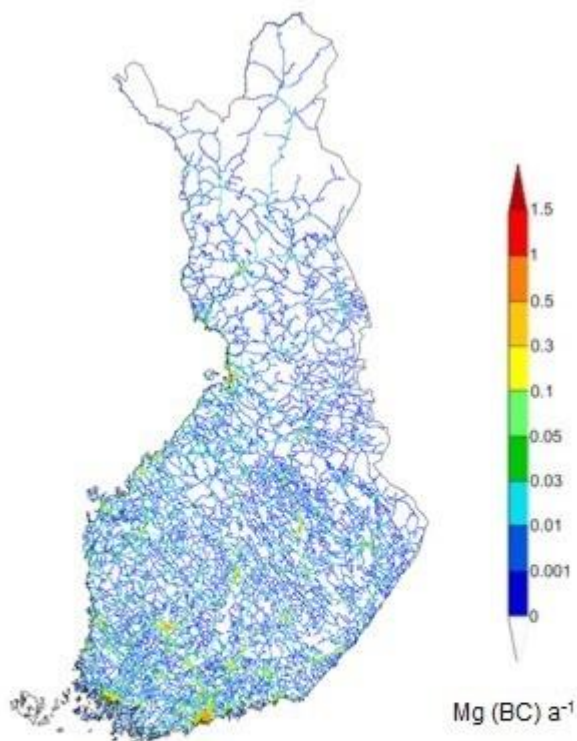


Fig 9. Spatial distribution of Finnish black carbon emissions in road transportation sector in 2005

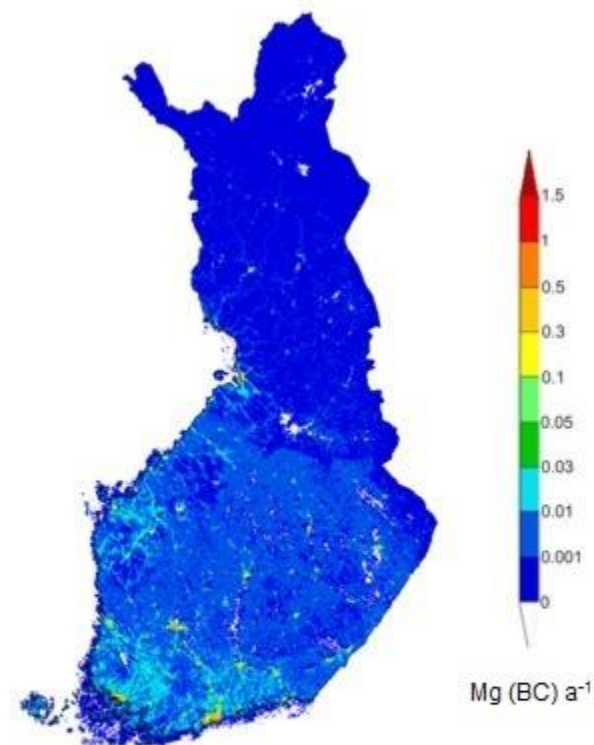


Fig 10. Spatial distribution of Finnish black carbon emissions in other land transportation and machinery sector in 2005