

# Légköri nyomanyagok nagytávolságú terjedésének modellezése

Bozó László

Meteorológiai Tudományos Napok, 2012. november 22-23.  
Magyar Tudományos Akadémia

# Tartalom

- Léggöri nyomanyagok koncentrációjának és ülepedésének tér- és időbeli változásai Európában, 1990-2010: megfigyelések és modellszámítások
- A léggöri ülepedés mértéke és a kritikus terhelés
- Légszennyező anyagok kontinensek közötti terjedésének vizsgálata: a legújabb modellszámítások eredményei

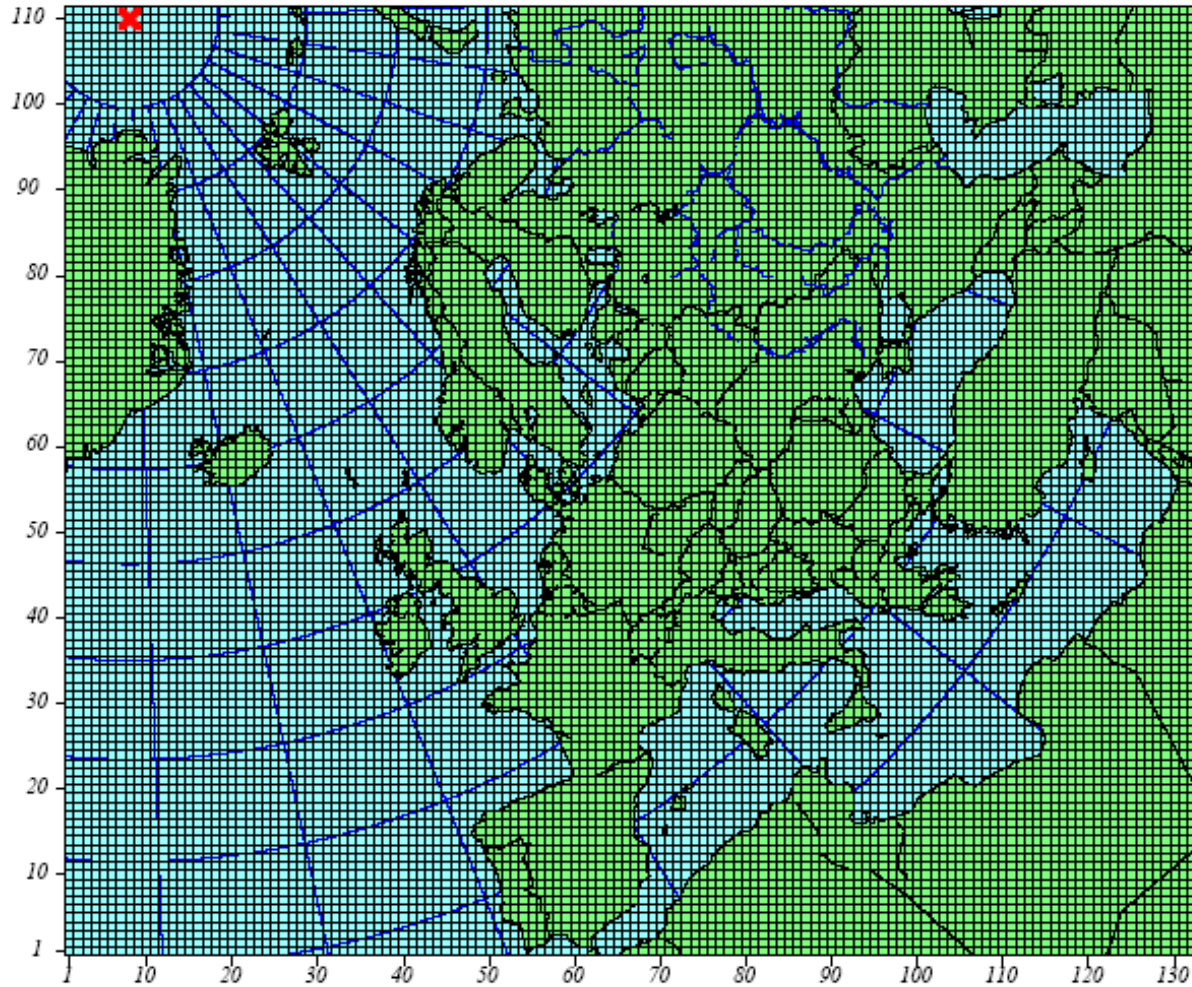
# Levegőkörnyezeti problémák Európában

- Az 1970-es és 80-as évek
  - savas ülepedés, erdőpusztulás
  - toxikus nyomanyagok
  - regionális levegőszennyezés („Fekete Háromszög”, Balkán-félsziget, Szovjetunió nyugati területei stb.)
- Az 1990-es évektől
  - pozitív fordulat, az antropogén kibocsátás jelentősen csökken
  - a levegőminőség javul
  - a sérült ökoszisztémák a javulás jeleit mutatják
- A 2000-es évektől
  - levegőminőség és emberi egészség (finom aeroszol részecskék, felszínközeli ózon)
  - nehezen lebomló szerves vegyületek (POPs) és toxikus nehézfémek (HMs): ökológiai kockázatok

# Megfigyelés és modellezés

- Monitoring rendszerek országos üzemeltetésben
  - Magyarország: 4 regionális háttérállomás
- Kiegészítő intenzív megfigyelési kampányok a fokozottan sérülékeny területeken
- Műholdas távérzékelés: EUMETSAT
- Nagytávolságú (LRT) modellezés európai központjai
  - EMEP MSC-E és EMEP MSC-W
  - IIASA - RAINS/TRACE modell
  - ECMWF

# Nemzeti Környezeti Modellszámítási Modellek

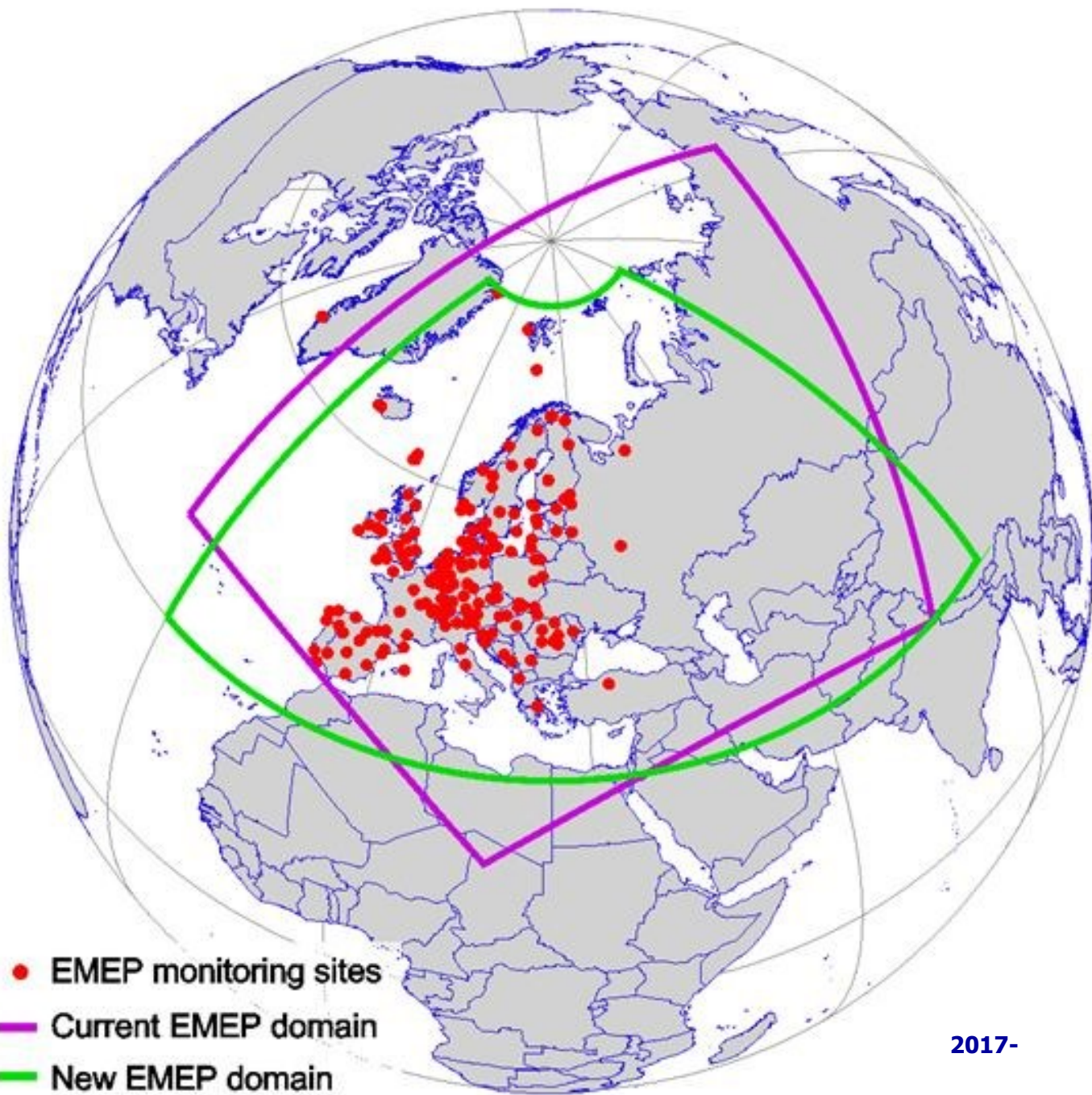


**Modellszámítások:**

**Koncentráció,  
Ülepedés mértéke,  
Nyomanyagok eredete:  
hely és forrástípus szerint,  
14800 forrás/receptor**

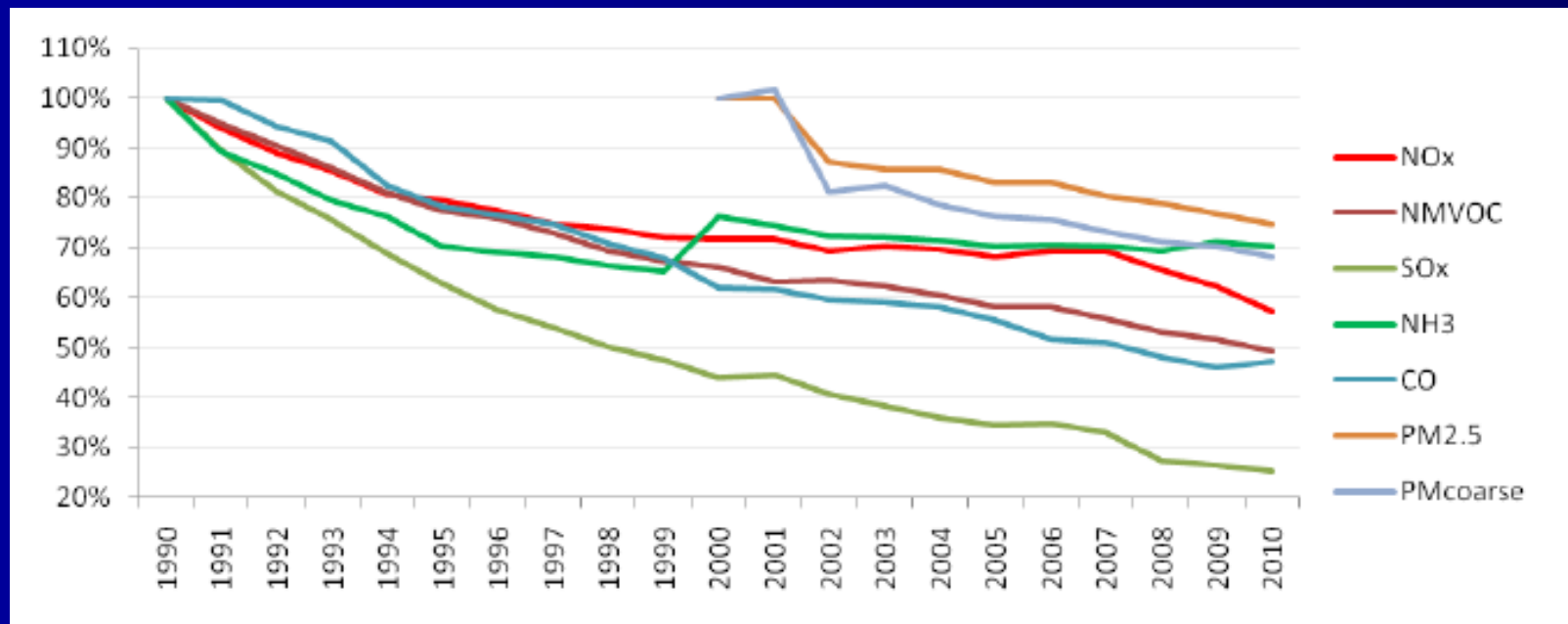
**Forrás**

**Receptor**

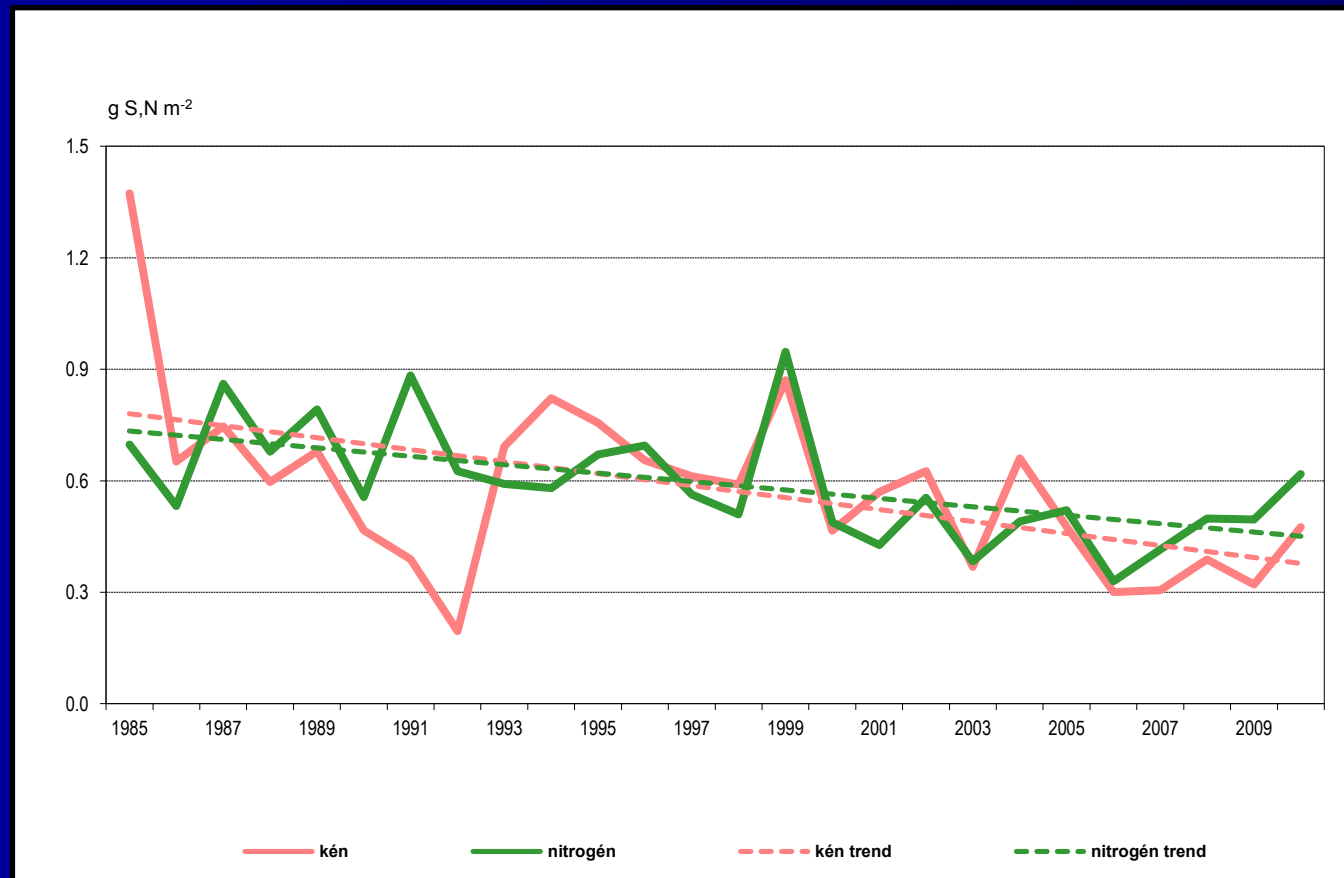




## Relatív kibocsátás változás az EMEP területén (1990-2010)

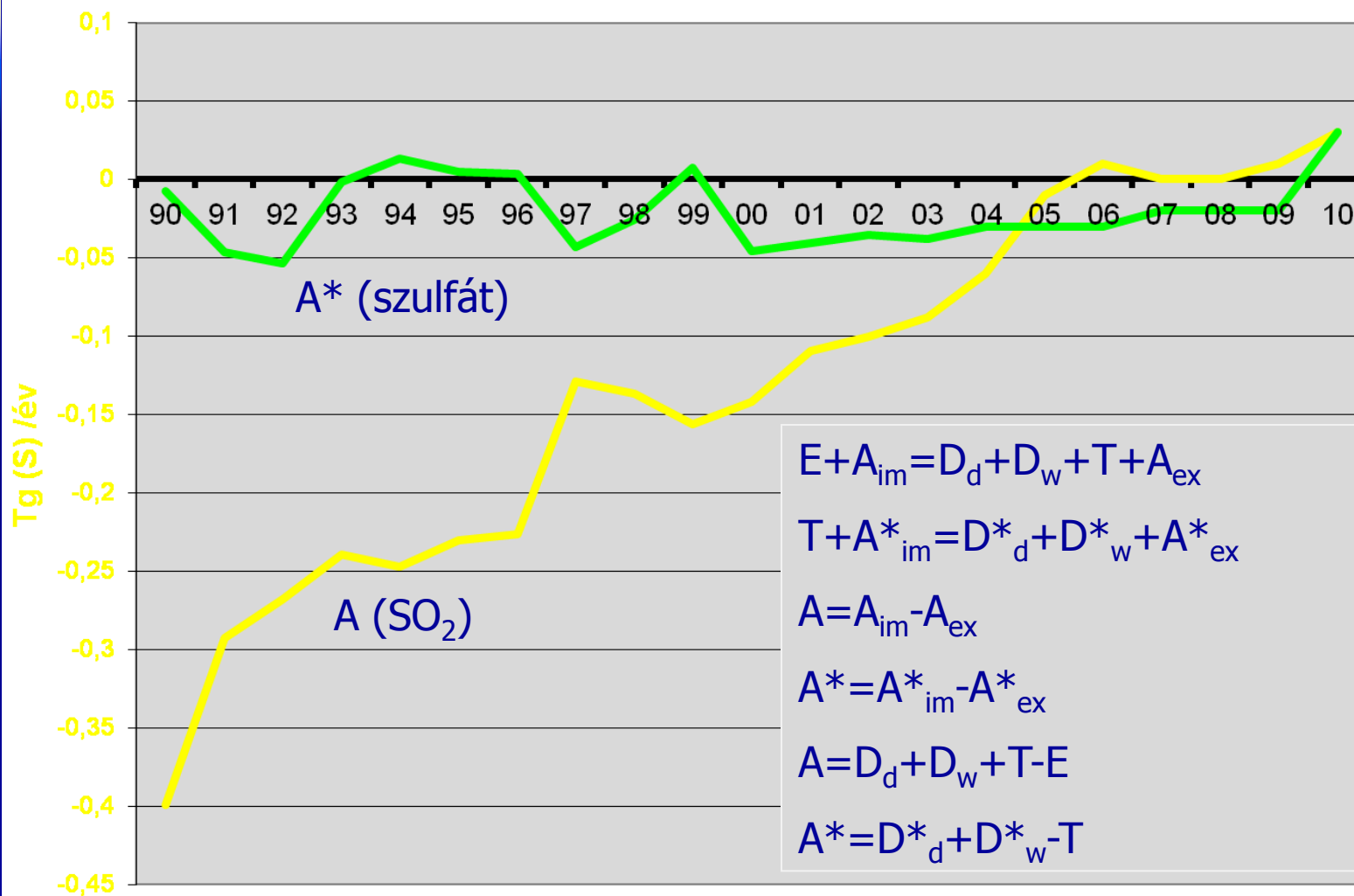


# A kén- és nitrogénvegyületek nedves ülepedésének mértéke (K-puszta, 1985-2010)





# A légköri kénvegyületek magyarországi mérlege (1990-2010)

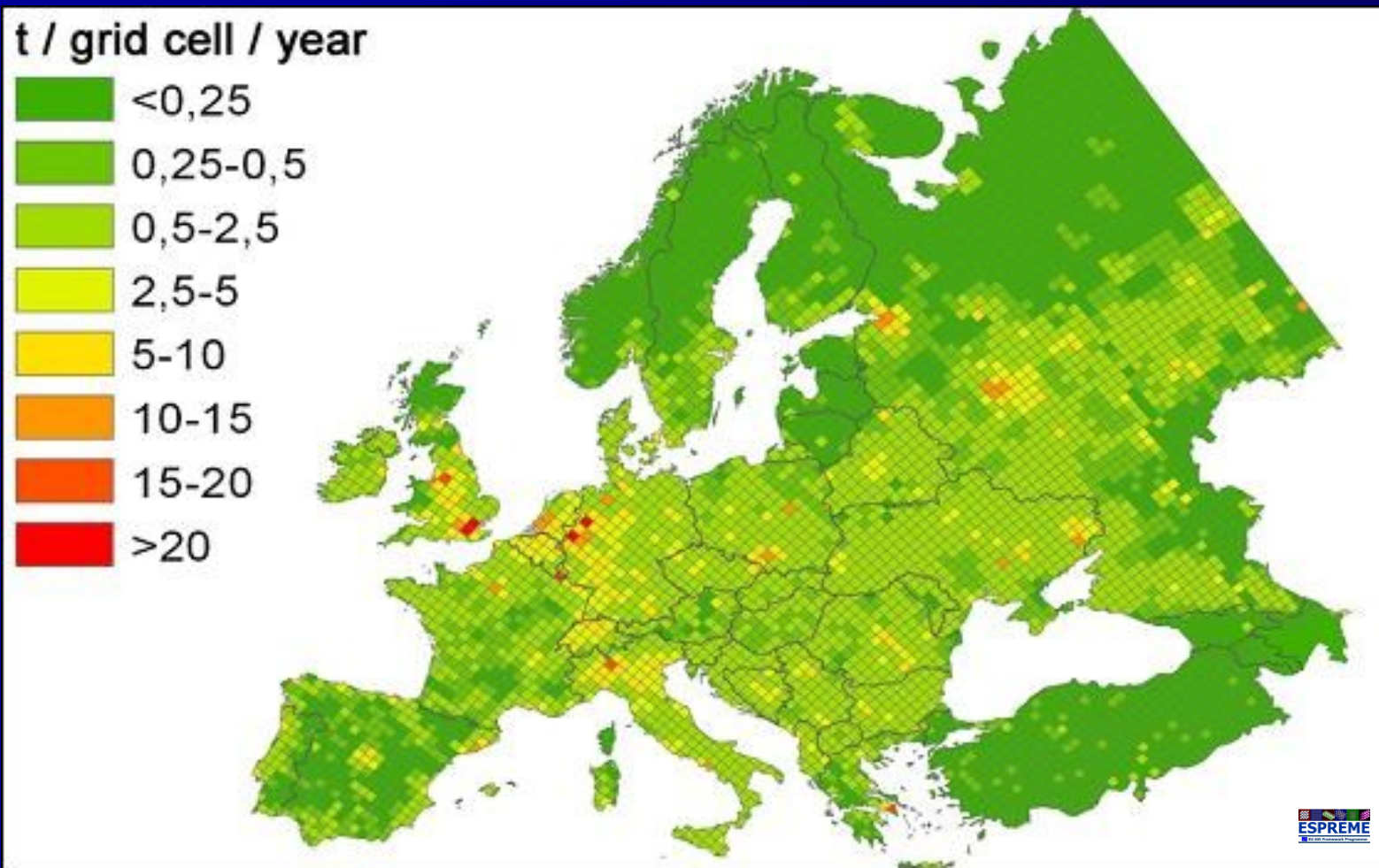


## Légköri toxikus nyomanyagok: problémák az emissziós kataszterben

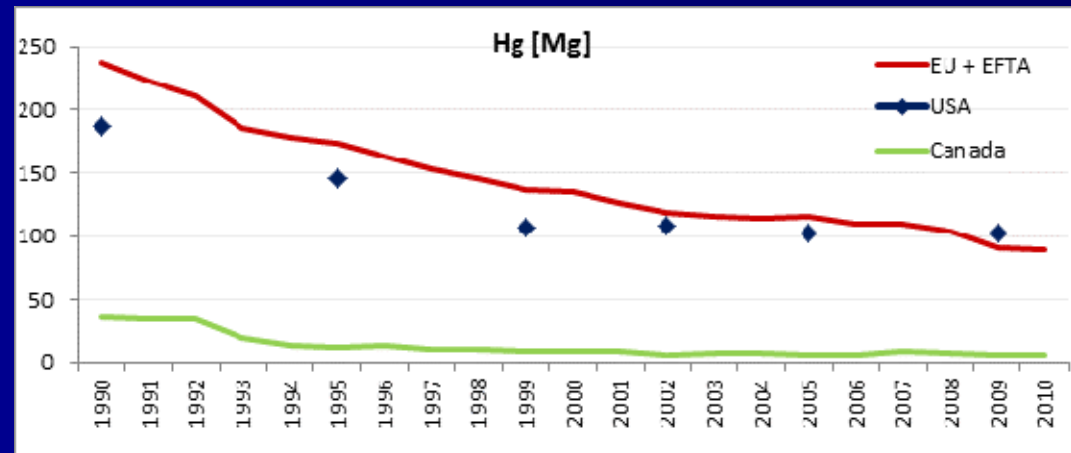
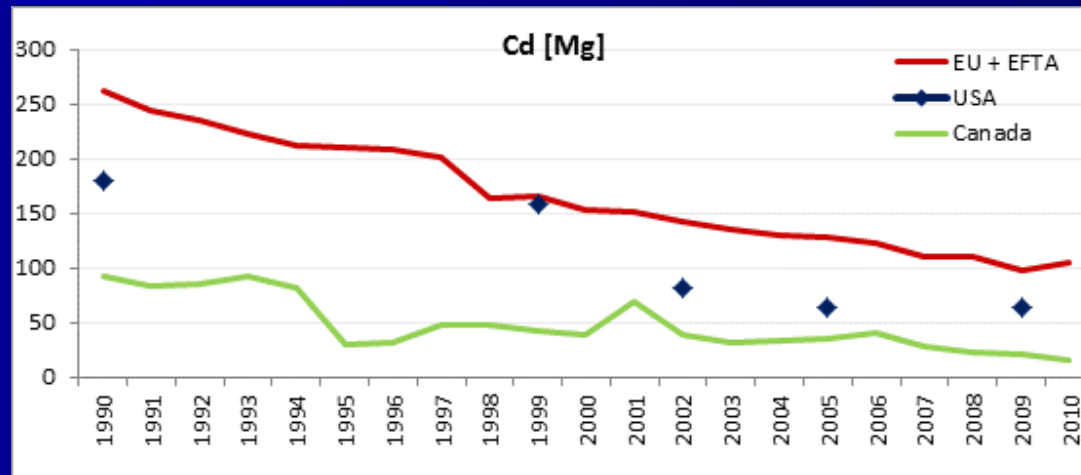
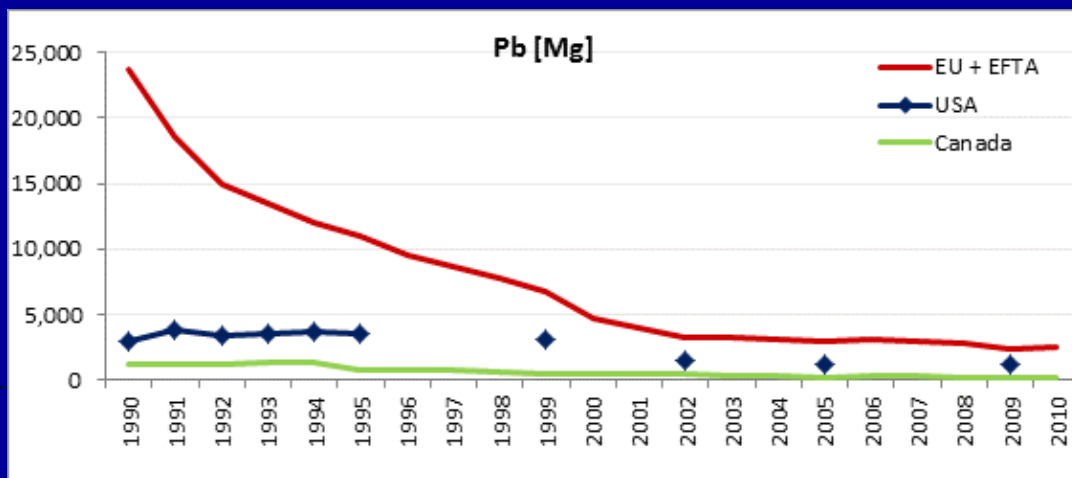
- A legtöbb toxikus nyomanyag esetében korábban egy-egy meghatározó forrás adta a döntő hozzájárulást:  
Pb – benzinfelhasználás; Cd – színesfémkohászat;  
Ni, V – olajtüzelés;
- Az utóbbi évtizedben az egyéb források (pl. hulladék-égetés, szolgáltatások) relatív hozzájárulása növekedett, ezek becslési módszertana viszont rendkívül pontatlan;
- A felszíni re-szuszpenziót figyelmen kívül hagyták.

*A korábbi évtizedek kibocsátását is újra kellett számolni,  
a hatásokat pedig modellezni (EU FP6 ESPREME)*

## Pb emisszió Európában, 2010

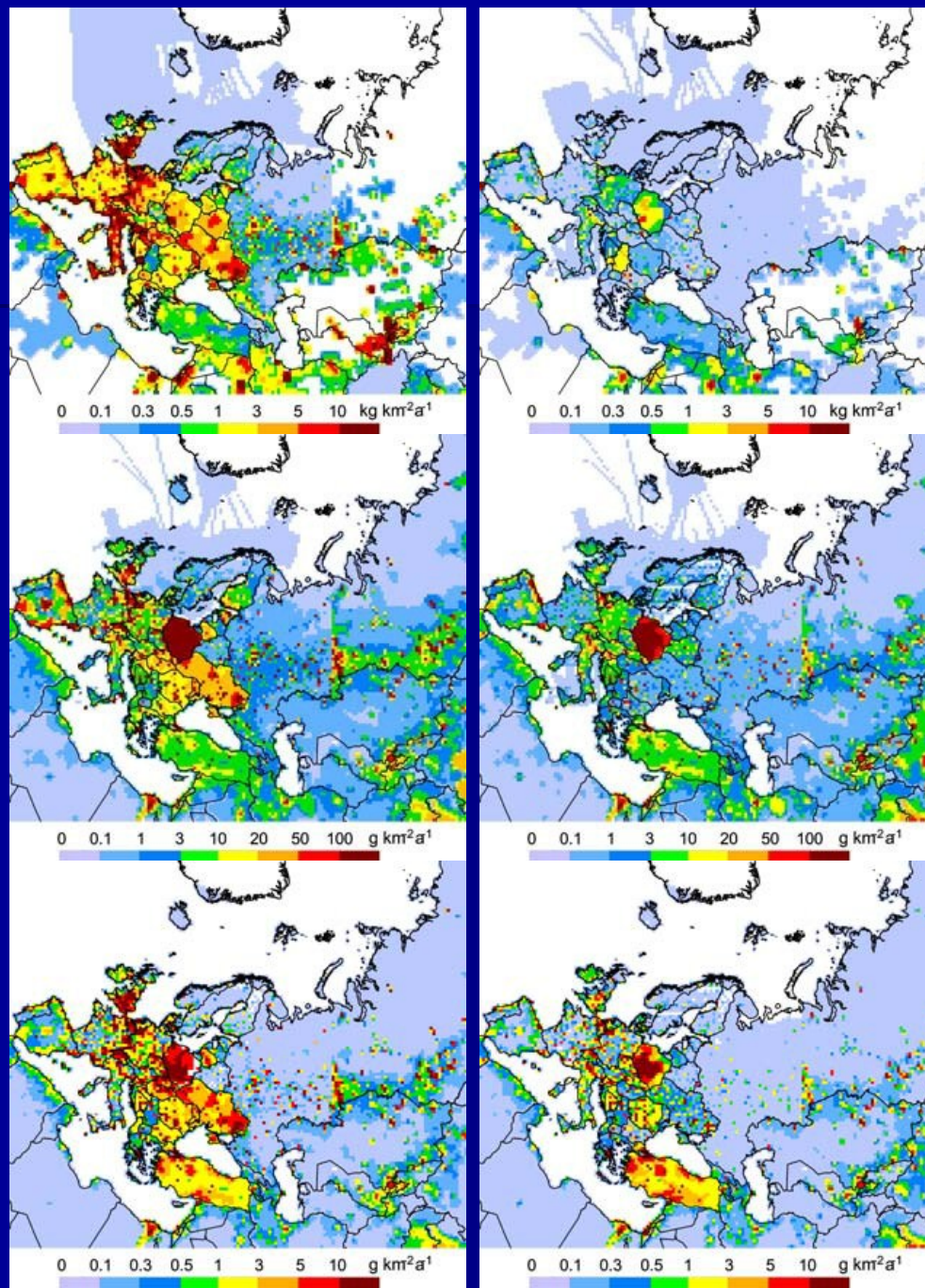


# Ólom (Pb), kadmium (Cd) és higany (Hg) kibocsátás (1990 -2010)

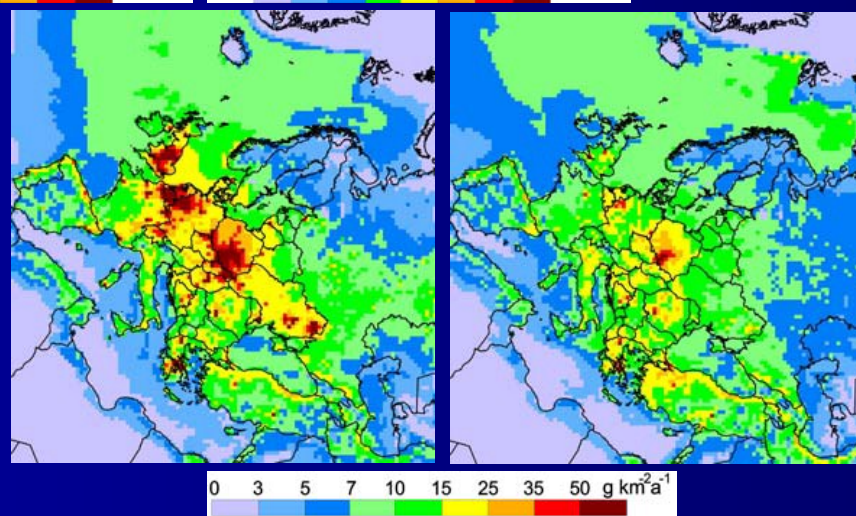
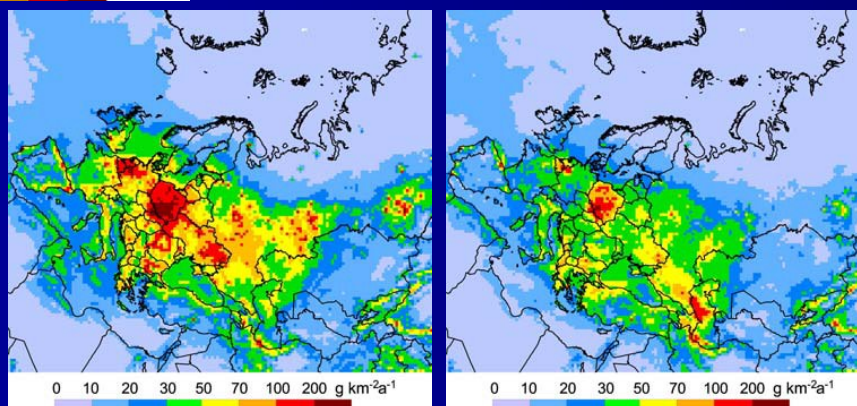
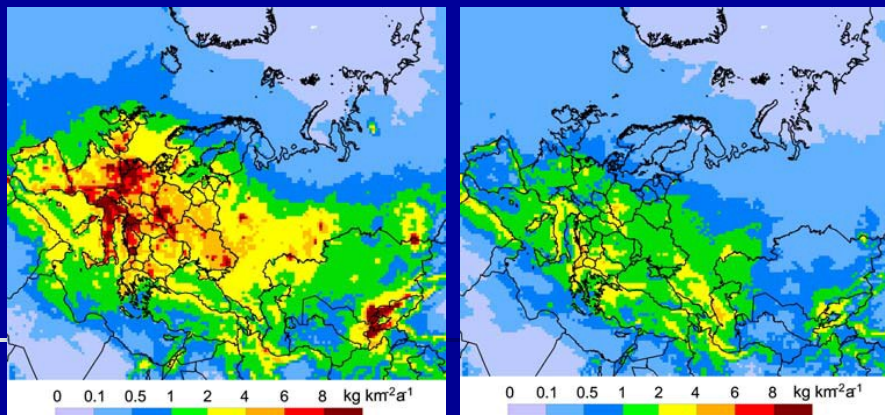




# Ólom (Pb), kadmium (Cd) és higany (Hg) kibocsátás Európában (1990 / 2010)

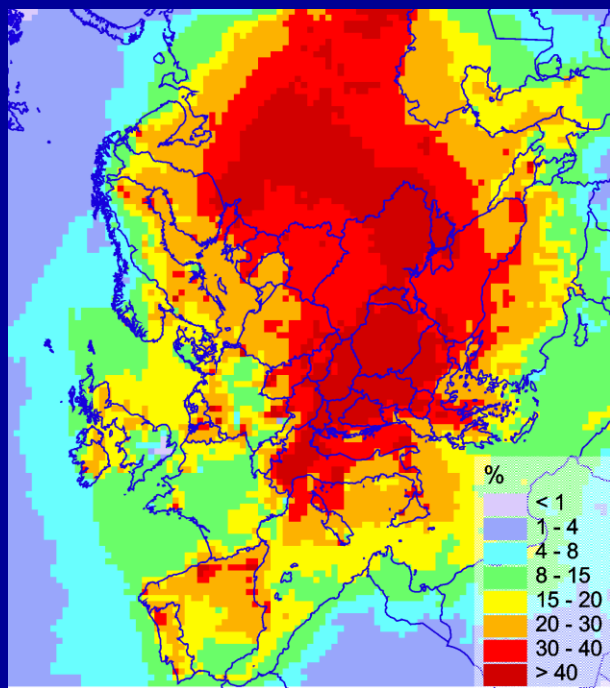


# Pb, Cd és Hg ülepedés Európában 1990 / 2010

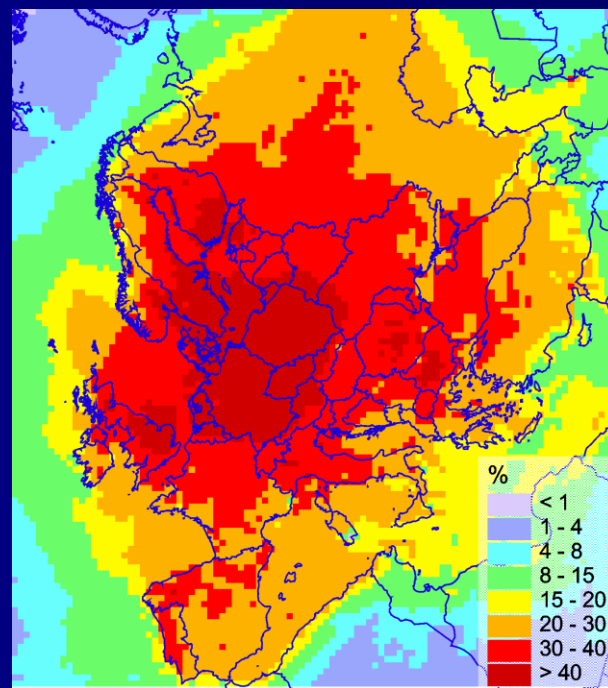




# A légköri ólom és kadmium teljes ülepedés csökkenésének mértéke Európában, 2000-2010



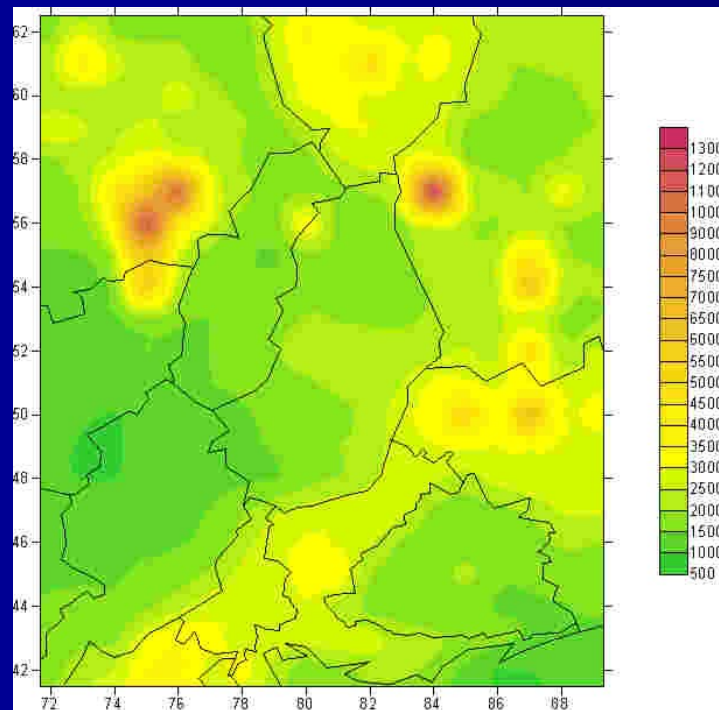
Pb



Cd



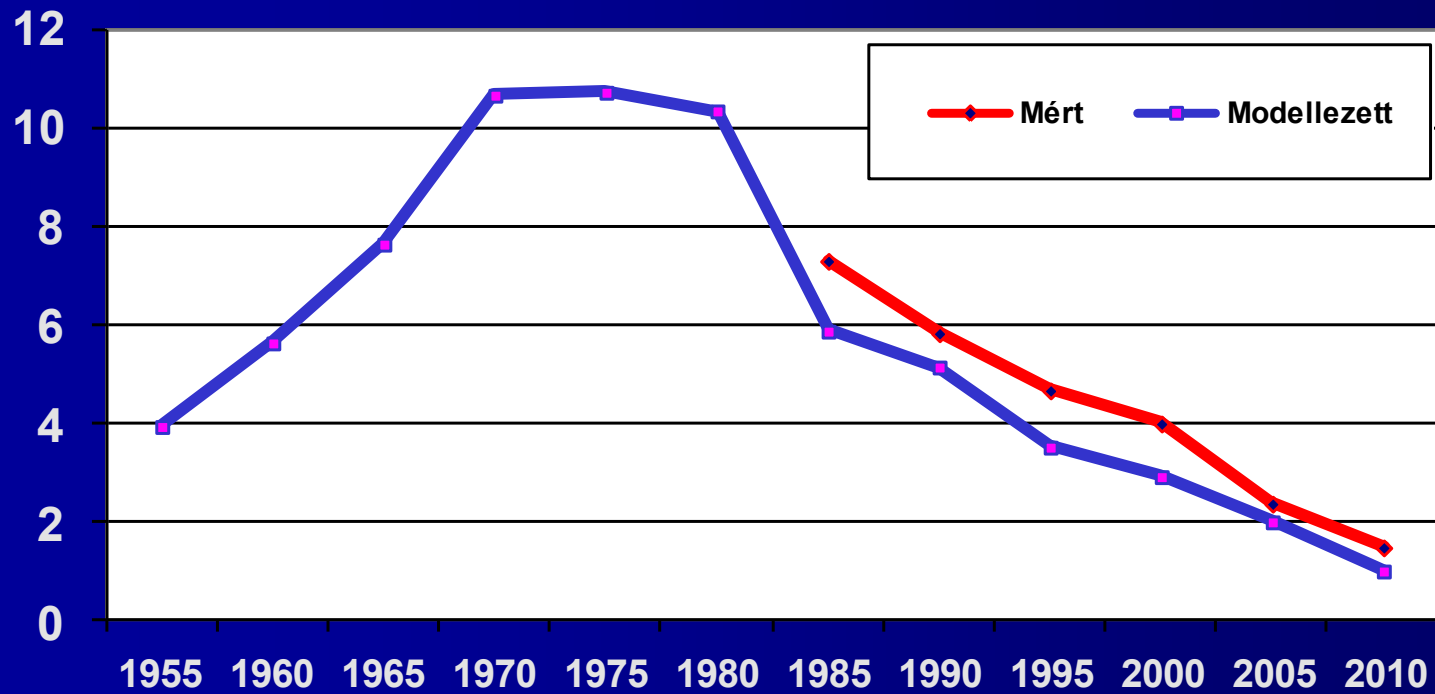
# A légköri ólom teljes ülepedése, 2010



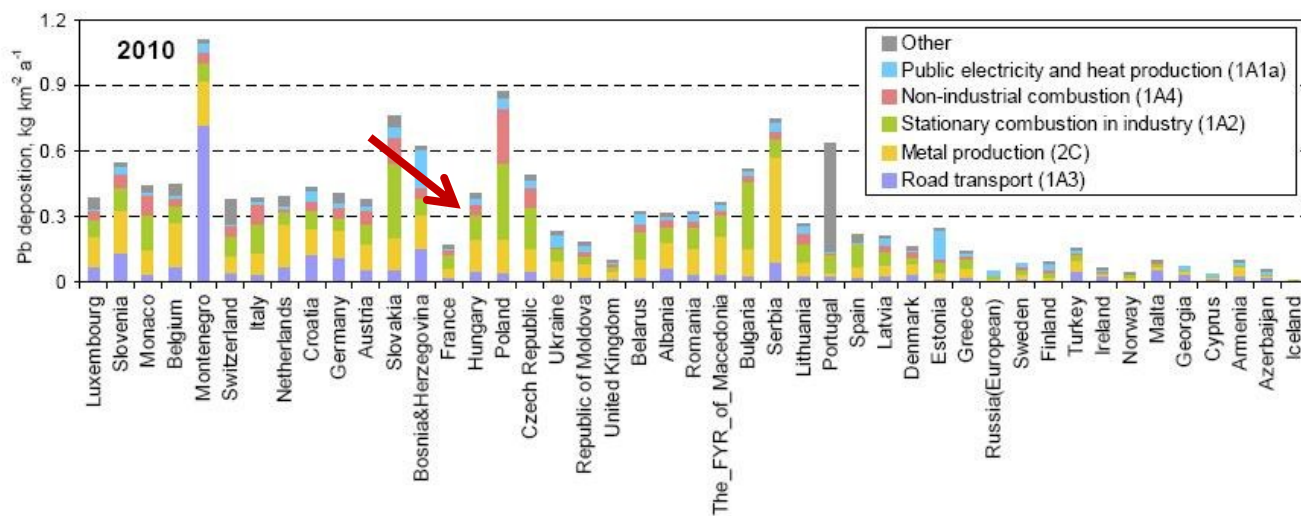
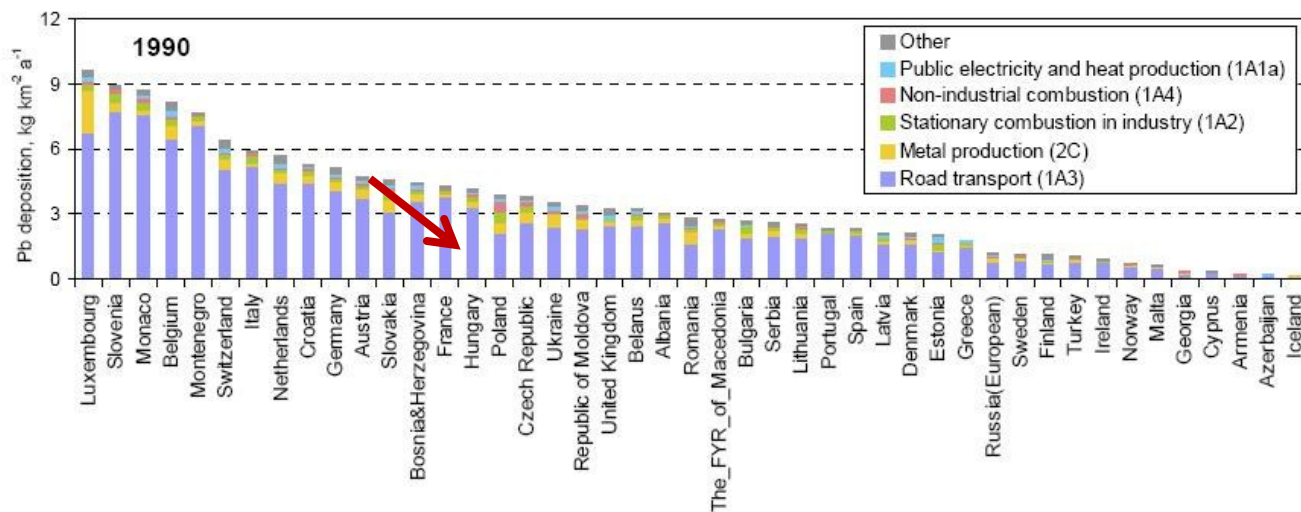
Pb

# A légköri ólom teljes ülepedése Magyarországon ( $\text{mg m}^{-2} \text{a}^{-1}$ )

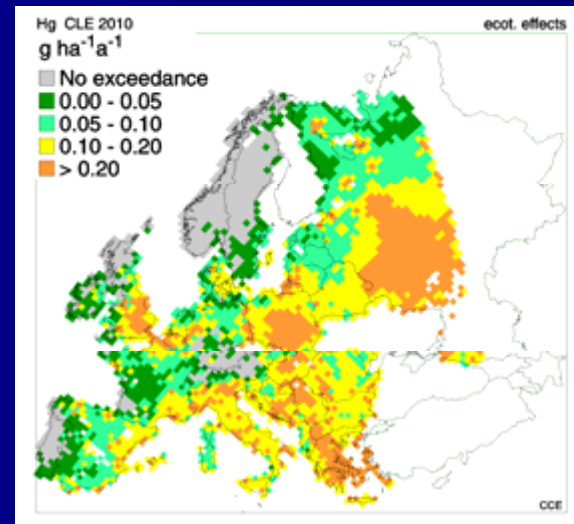
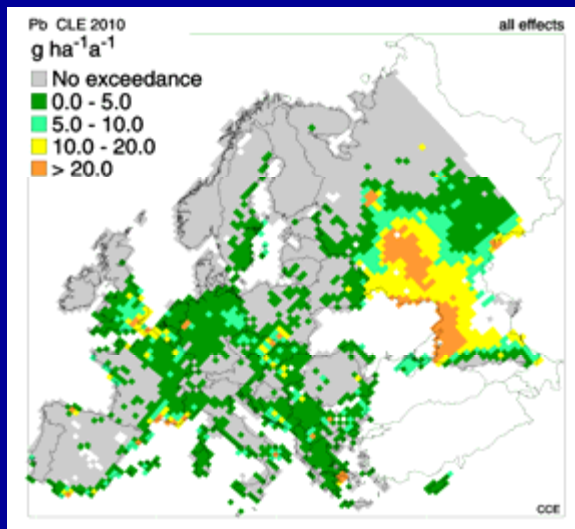
## TRACE-modell



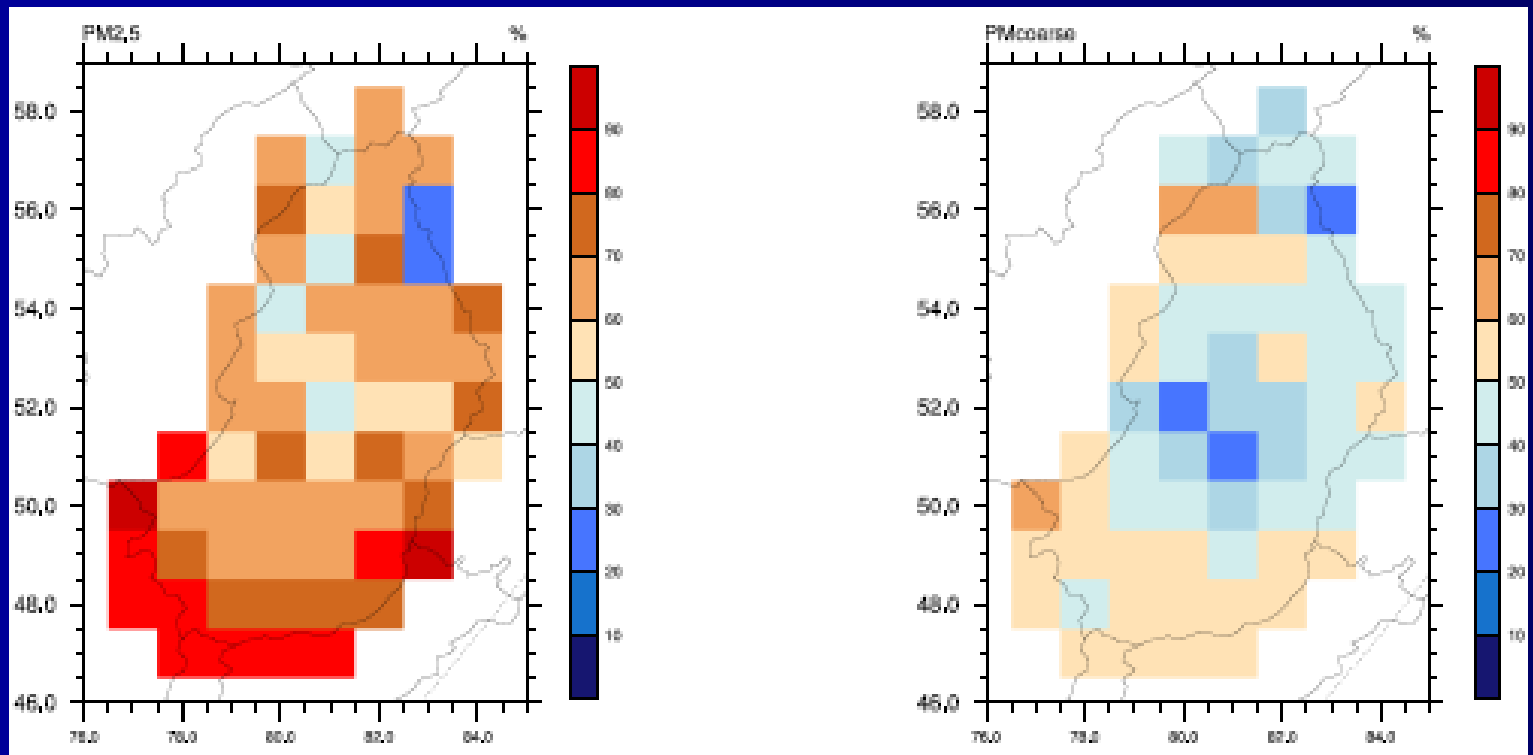
# Az európai ólom (Pb) ülepedés forrás-eredete (1990 - 2010)



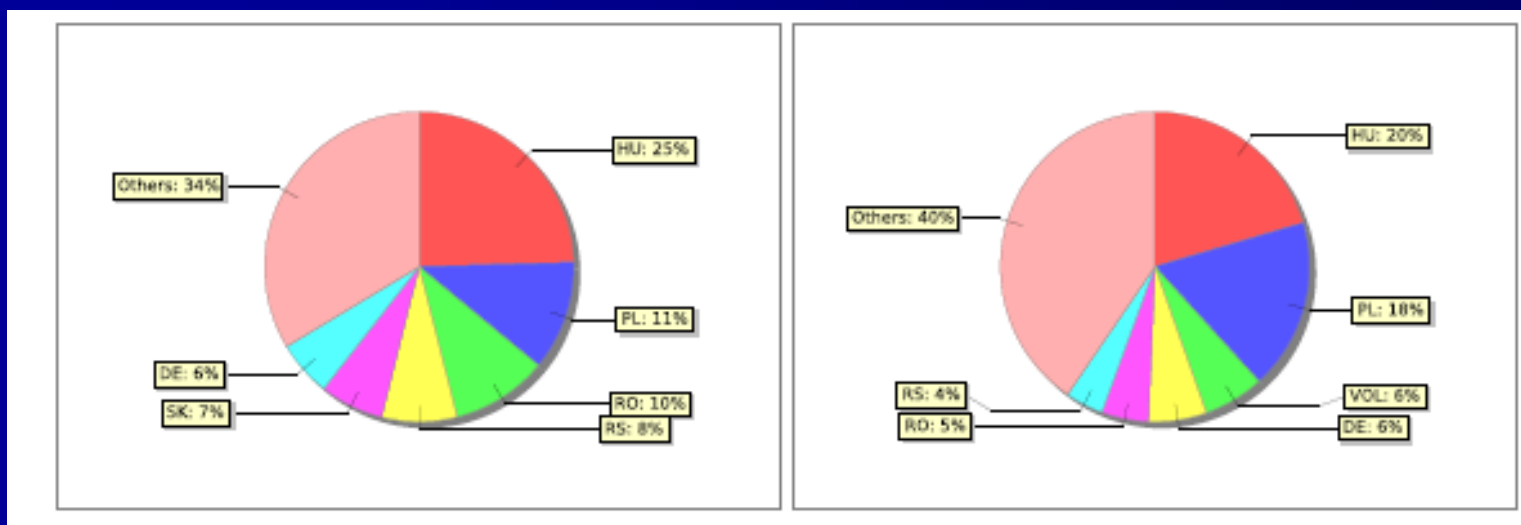
# A kritikus terhelést (CL) meghaladó Pb és Hg ülepedés mértéke Európában, 2010



## A határokon túli források hozzájárulása a PM<sub>2.5</sub> és PM<sub>10</sub> koncentrációhoz Magyarországon (%)



## A PM2.5 és PM10 koncentráció eredete Magyarországon



## Légszennyező anyagok kontinensek közötti terjedése

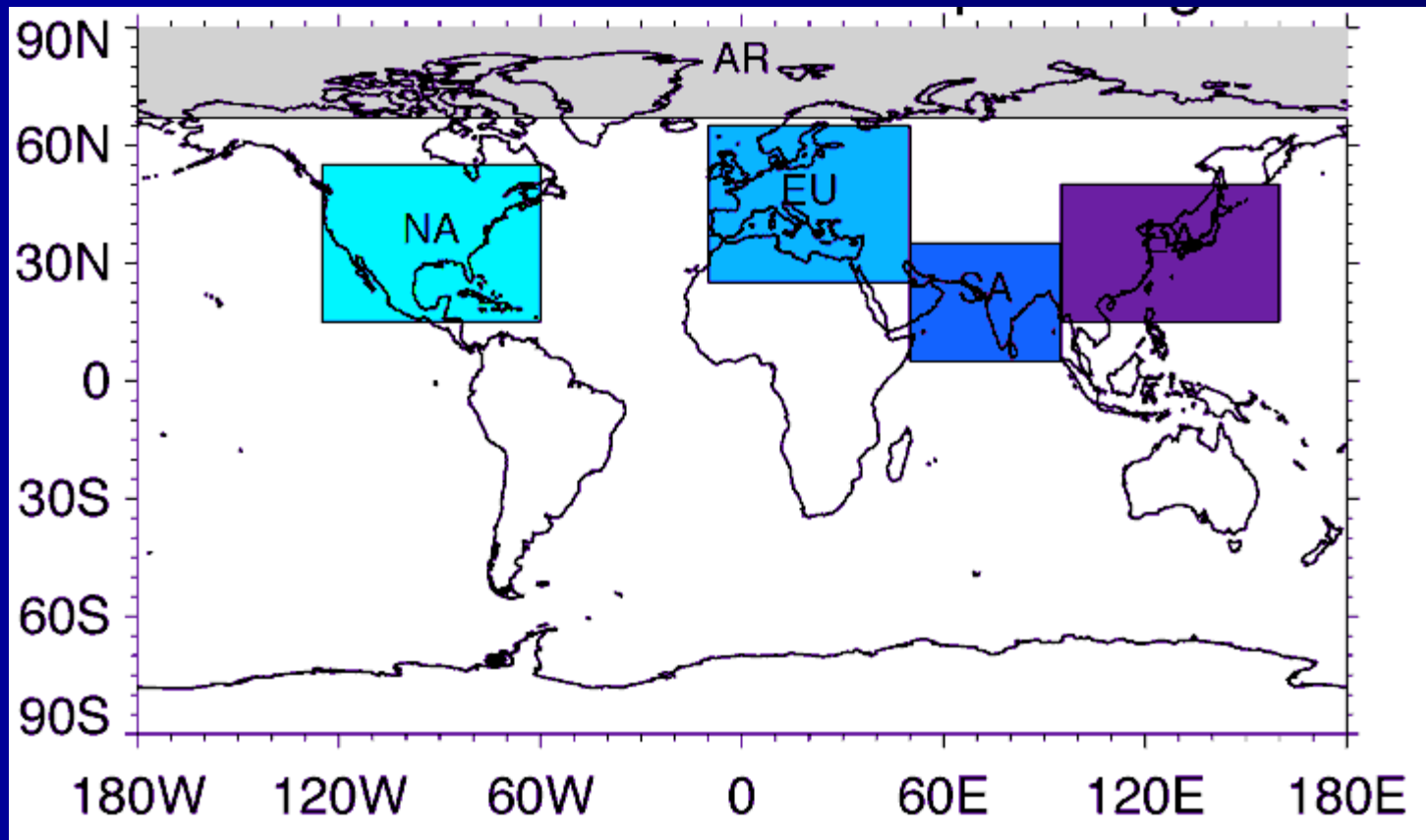
- 3-D globális modell (*Derwent et al., 2004*) a troposzférikus ózon és prekursorai vizsgálatára, 21 európai receptorponttal
- GLEMOS modell: EMEP MSC-E, Hg és POPs globális transzport vizsgálata
- Hemispheric Transport of Air Pollution (HTAP 2010), multi-modell (7-32) elemzések: O<sub>3</sub>, PM, Hg, POPs
  - ACCENT/PHOTOCOMP (*Dentener et al., 2006*)
  - AEROCOM (*Textor et al., 2006*)
  - TRANSCOM (*Law et al., 2008*)
  - RETRO (*Schultz et al., 2007*)



## Hozzájárulás (ppb) az évi átlagos napi maximum ózonkoncentráció kialakításához

Location	Stratosphere-troposphere	Europe	North America	Asia
Contributions in ppb				
Mace Head, Ireland	10.6	9.5	12.2	6.6
Illmitz, Austria	6.9	27.1	7.7	3.9
Taenikon, Switzerland	7.0	21.6	8.4	4.4
Kosetice, Czech Republic	7.5	23.0	8.3	4.4
Waldhof, Germany	7.7	18.3	8.5	4.7
Frederiksborg, Denmark	7.8	16.8	8.1	5.0
Laheema, Estonia	6.0	16.9	5.9	4.2
Tortosa, Spain	6.9	21.8	9.2	4.0
Violahti, Finland	5.8	15.9	5.8	4.2
Revin, France	8.0	16.9	9.5	4.9
Harwell, United Kingdom	8.8	12.9	10.8	5.3
K-puszta, Hungary	6.1	27.8	7.0	3.7
Montelibretti, Italy	6.2	31.5	6.9	3.5
Preila, Lithuania	7.3	19.7	7.1	4.7
Kollumerwaard, Netherlands	8.7	12.6	9.5	5.5
Birkenes, Norway	8.2	15.2	8.8	5.6
Jarczew, Poland	6.3	26.6	6.9	3.8
Monte Vehlo, Portugal	7.5	16.6	9.7	4.2
Aspreveten, Sweden	7.5	16.5	7.4	4.9
Iskrba, Slovenia	5.7	28.5	6.7	3.6
Starina, Slovakia	6.2	25.2	7.2	3.8
Average	7.3	20.0	8.2	4.5

# A vizsgált forrás-receptor területek (HTAP, 2010)



# A felszínközeli ózonkoncentráció változása

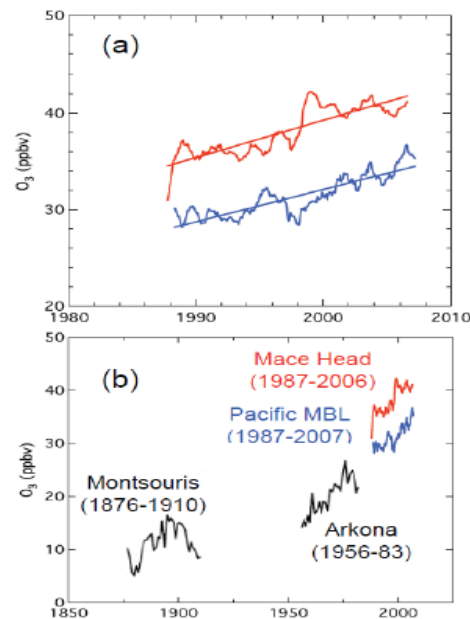
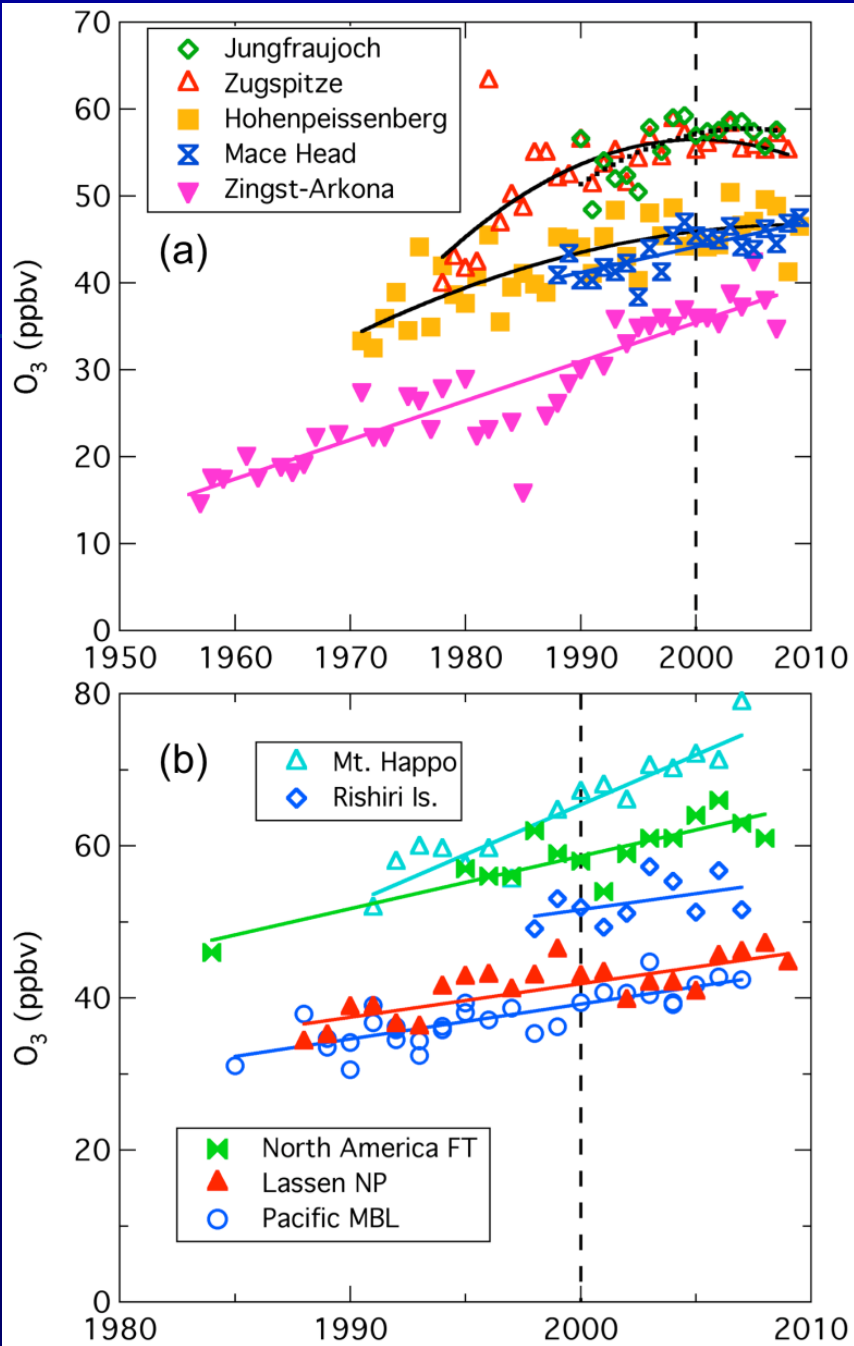
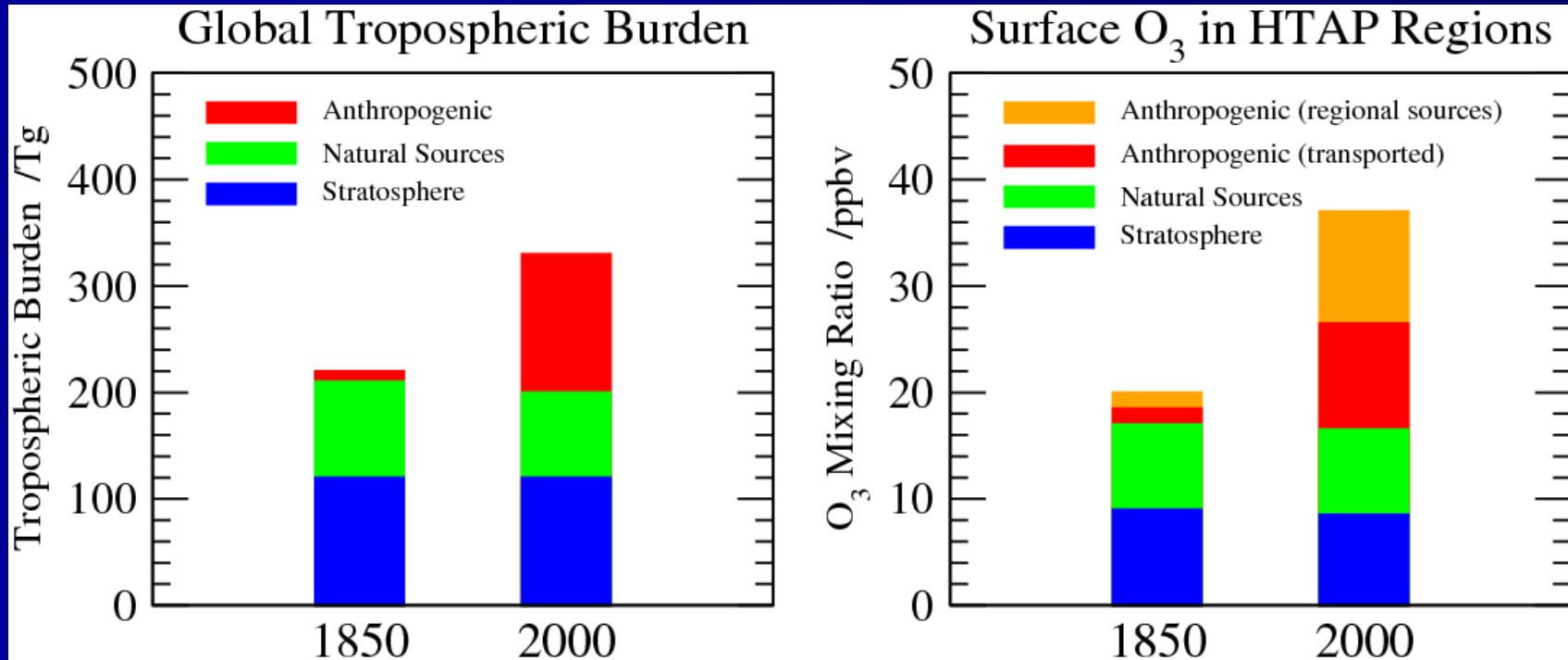


Figure 1.1. Comparison of surface ozone mixing ratios at Mace Head (red) on the west coast of Ireland, and a composite of data from several sites along the west coast of the U.S. (blue). b) An additional comparison to earlier measurements at two surface sites in western Europe. [Reprinted from Figure 12 in Parrish, D., et al., (2009), Increasing ozone in marine boundary layer inflow at the west coasts of North America and Europe, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9:1303-1323.]

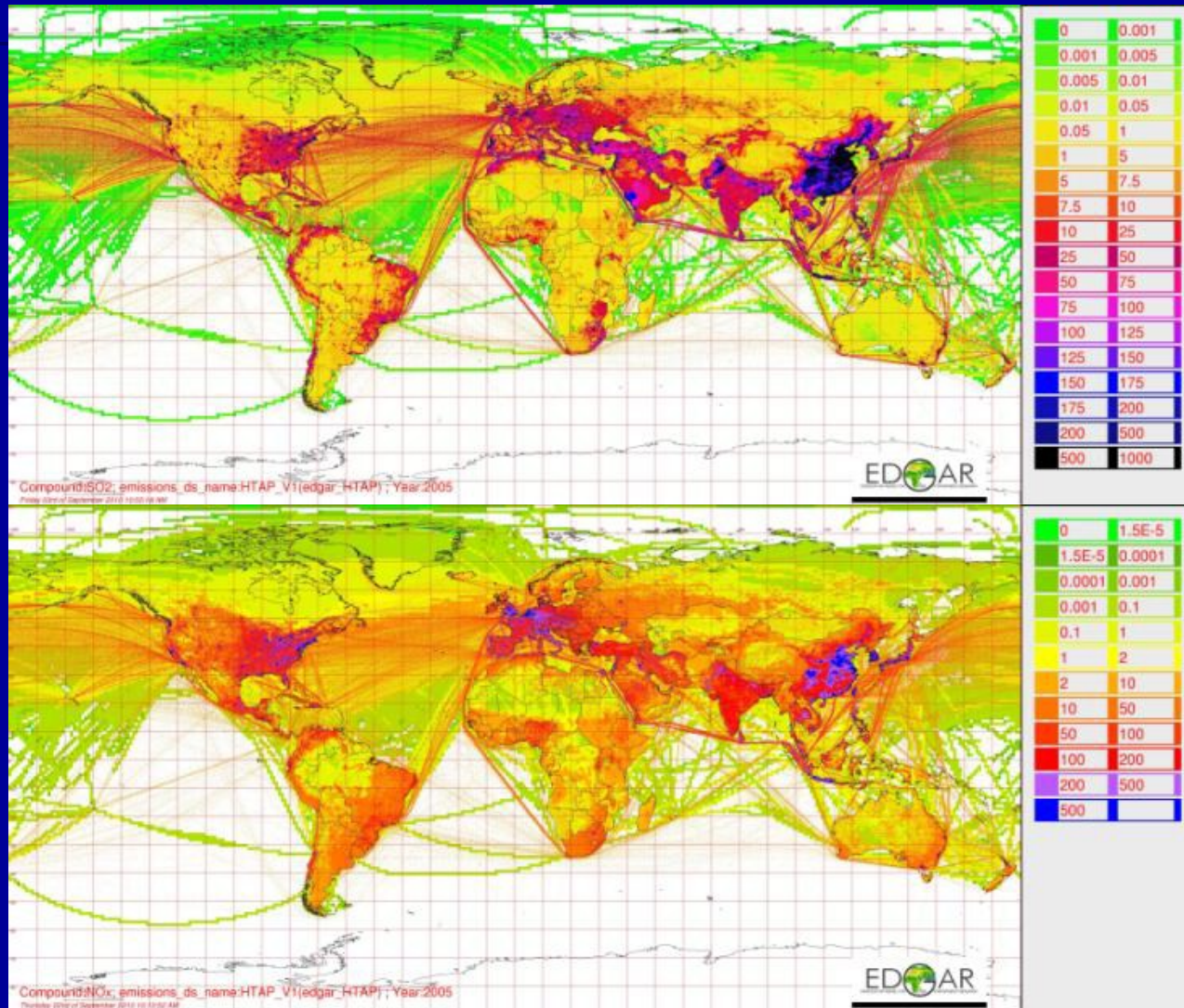
# Az ózonkoncentráció tavaszi trendjei Európában (a), illetve Észak-Amerikában és Japánban (b)



# A globális troposzférikus ózontartalom és a HTAP régiók évi átlagos ózonkoncentráció összetevőinek változásai

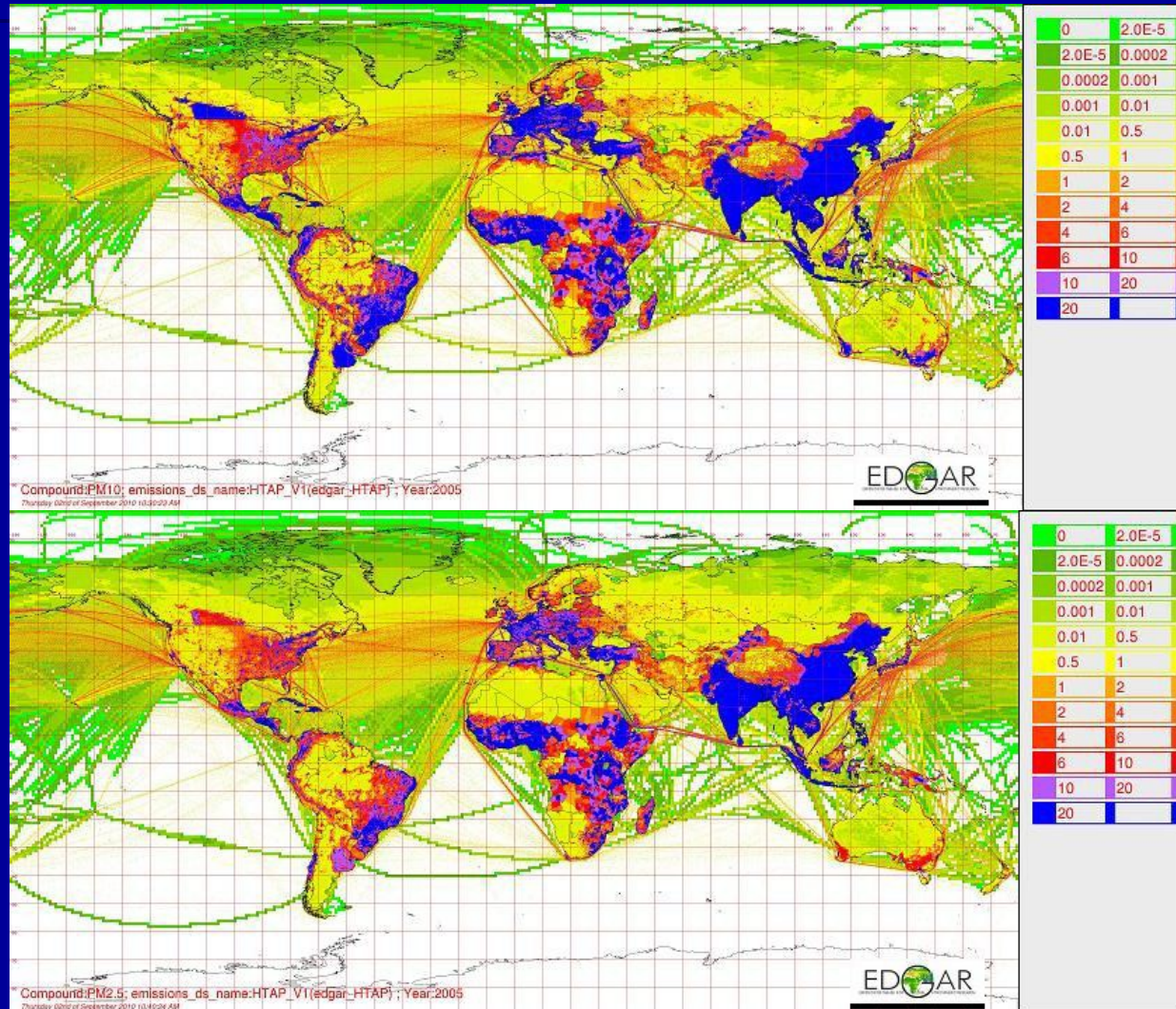


# Globális SO<sub>2</sub> és NO<sub>x</sub> kibocsátás (t/grid)



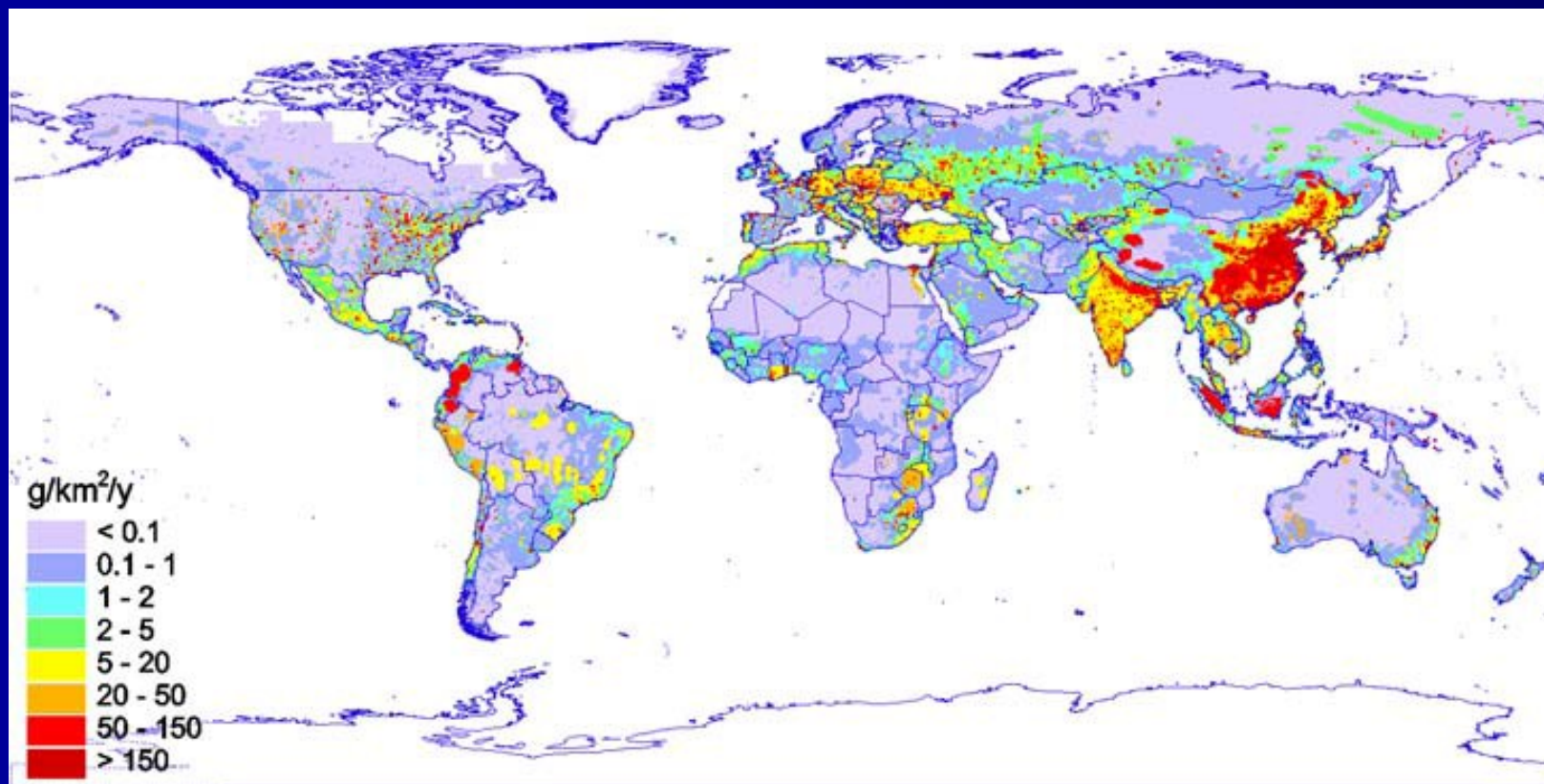


# Globális PM<sub>10</sub> és PM<sub>2.5</sub> kibocsátás (t/grid)



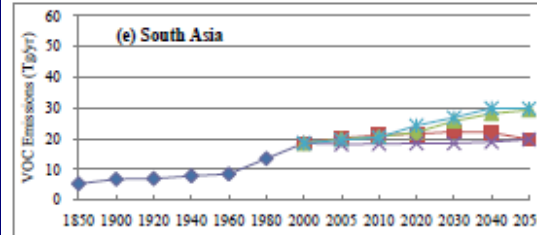
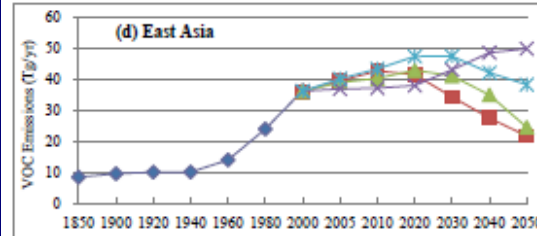
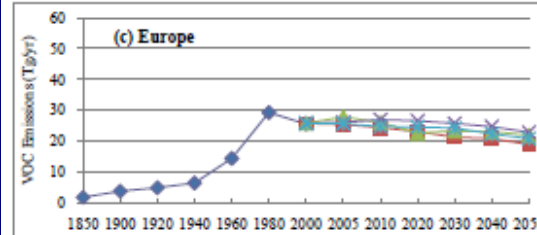
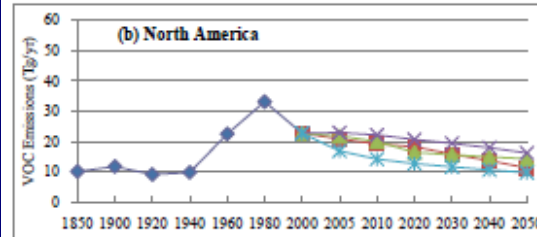
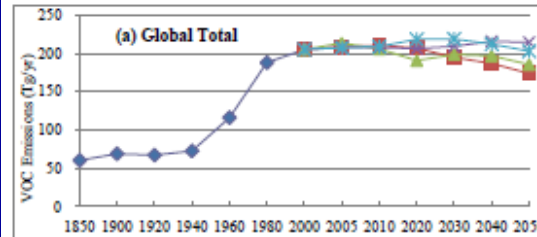
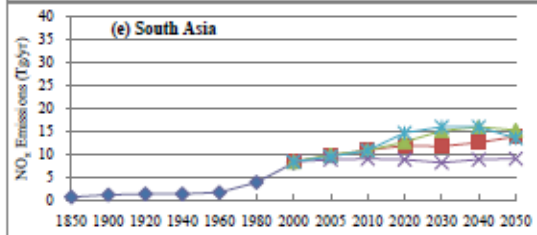
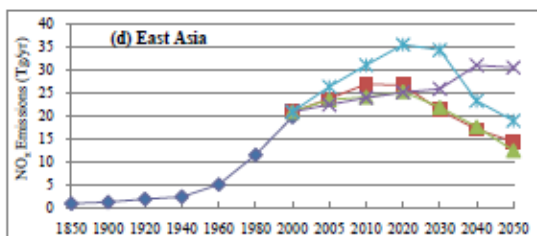
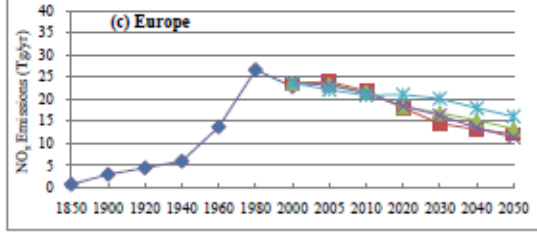
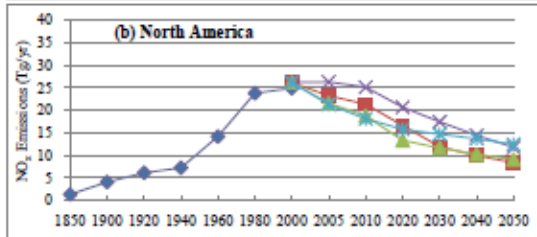
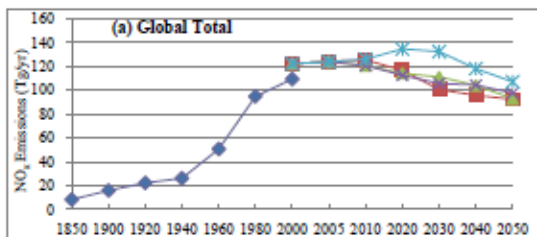
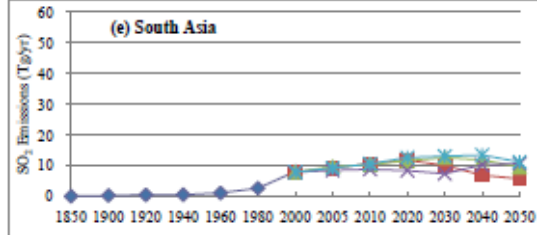
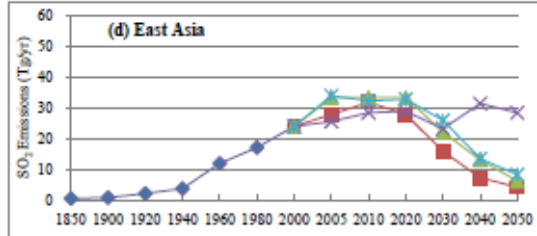
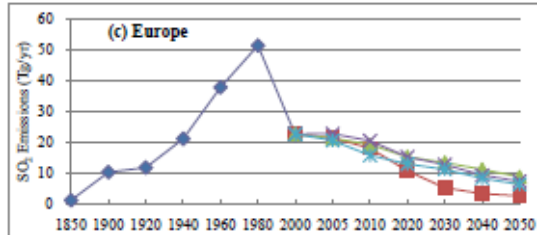
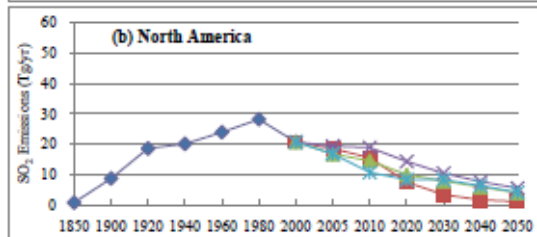
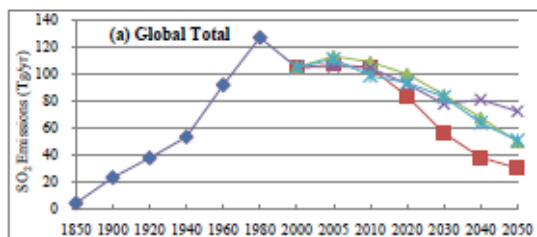


# Globális higany (Hg) kibocsátás

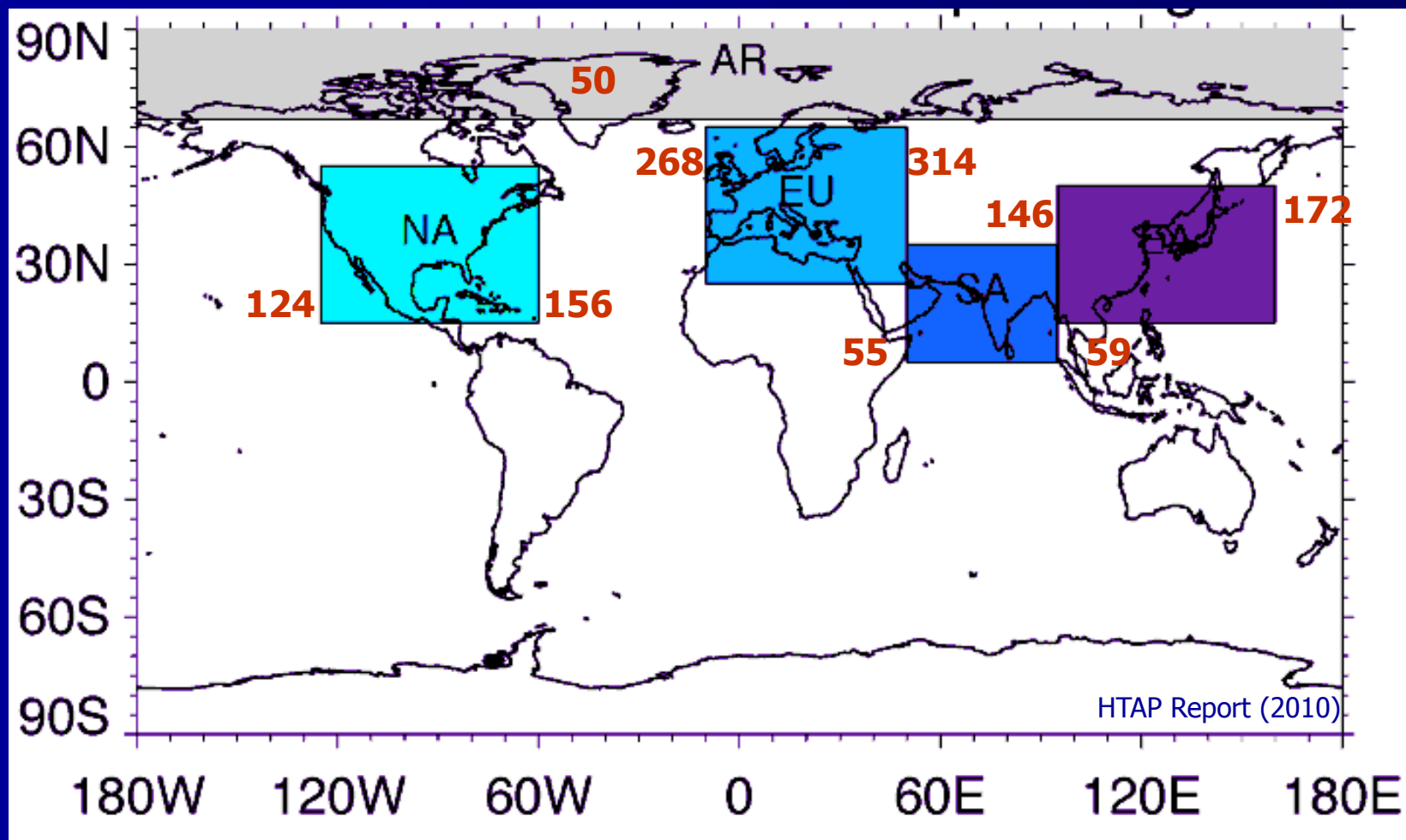


*Pacyna et al. (2010)*

# Globális kén-dioxid, nitrogén-oxid és VOC kibocsátás (HTAP Report, 2010)

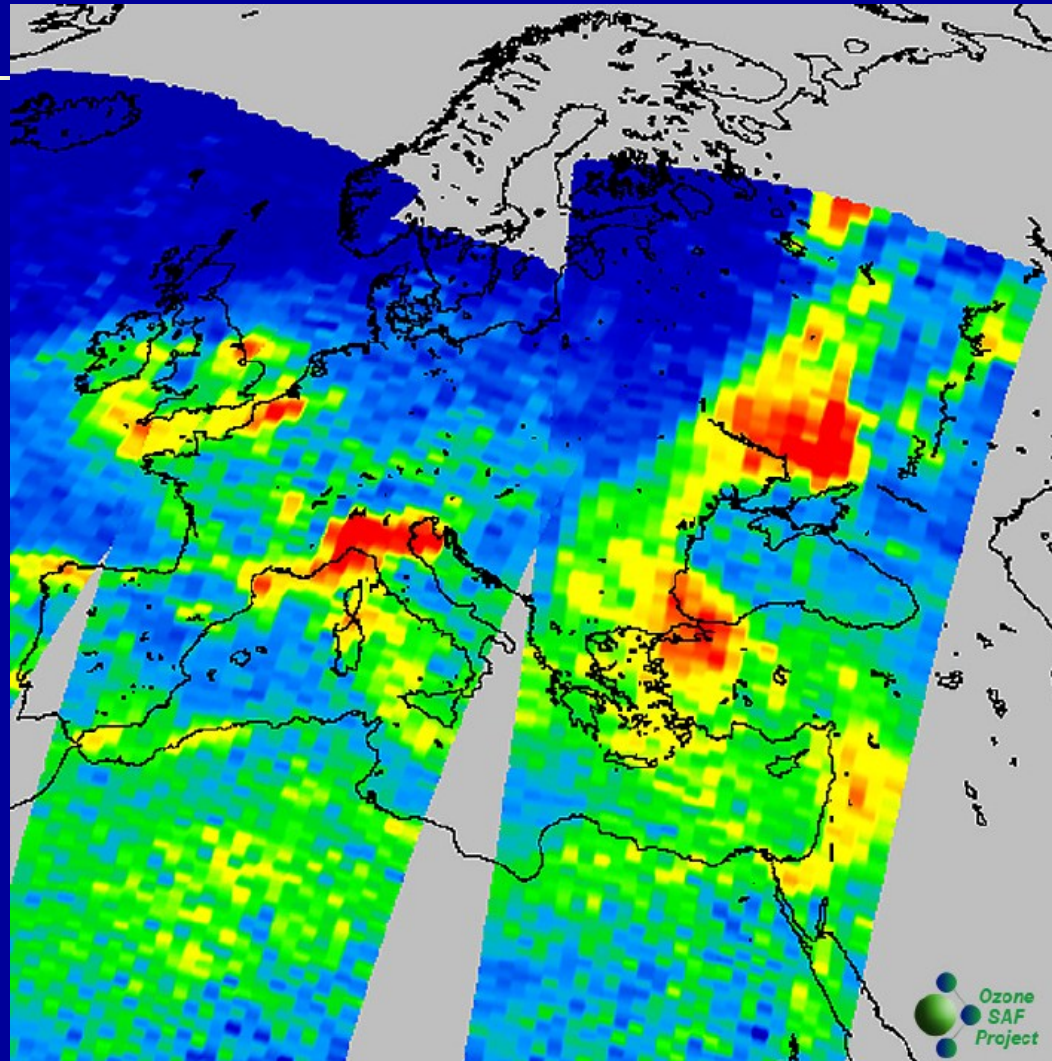


# PM10 évi átlagos zonális import/export fluxusok a HTAP régiókban (Tg)





# A műholdas távérzékelés fejlődése



NO<sub>2</sub> over Europe  
on 04.02.2007

MetOp / GOME-2



**MetOp A: 2006**  
**MetOp B: 2012**  
**MetOp C: 2015**

 **EUMETSAT**

 Ozone  
SAF  
Project

 **DLR**

# A részterületek integrációja

## GEOSS: Global Earth Observation System of Systems

- **Emissziós kataszterek**
  - kibocsátási forgatókönyvek
  - regionális/szektoriális jellemzők
- **Modellezés**
  - forrás-receptor kapcsolatok
  - jövőre vonatkozó forgatókönyvek
- **Monitoring**
  - forrás azonosítás
  - trend elemzés
- **Műholdas mérések**
  - nagytávolságú transzport események detektálása
  - nyomanyagok vertikális légköri profiljai
- **Mérési/modellezési kampányok**
  - folyamatok elemzése
  - regionális szintézis

**Köszönöm a figyelmet!**