



**Geologický ústav AV ČR, v. v. i.**

Badatelské centrum střední velikosti, jehož hlavním cílem je získávat, interpretovat a integrovat znalost zemského systému.



# Biogeochemie rtuti v životním prostředí

Tomáš Navrátil

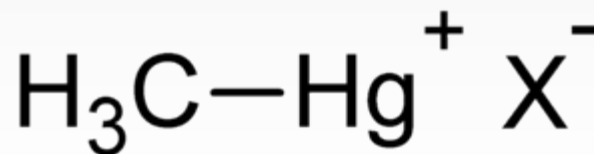
# Rtuť

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
III	VIII	I B	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	0
<p>nekovy alkalické kovy alkalické zemní kovy vzácné plyny halogeny metalloidy přechodné kovy jiné kovy vzácné zemní prvky</p>									<p>Helium 2 <b>He</b> 4,002602(2)</p>
	Bor 5 <b>B</b> 10,811(7)	Uhlík 6 <b>C</b> 12,0107(8)	Dusík 7 <b>N</b> 14,0064(7)	Kyslík 8 <b>O</b> 15,9994(3)	Fluor 9 <b>F</b> 18,9984032(5)	Neon 10 <b>Ne</b> 20,1797(8)			
	Hliník 13 <b>Al</b> 26,9815386(2)	Křemík 14 <b>Si</b> 28,0855(3)	Fosfor 15 <b>P</b> 30,973761(2)	Síra 16 <b>S</b> 32,066(6)	Chlor 17 <b>Cl</b> 35,4527(8)	Argon 18 <b>Ar</b> 39,948(1)			
Scandium 21 <b>Sc</b> 44,955912(2)	Nikl 28 <b>Ni</b> 58,6934(2)	Měď 29 <b>Cu</b> 63,546(3)	Zinek 30 <b>Zn</b> 65,39(2)	Gallium 31 <b>Ga</b> 69,723(1)	Germanium 32 <b>Ge</b> 72,61(2)	Arsen 33 <b>As</b> 74,92160(2)	Selen 34 <b>Se</b> 78,96(3)	Brom 35 <b>Br</b> 79,904(1)	Krypton 36 <b>Kr</b> 83,80(1)
Yttrium 39 <b>Y</b> 88,90584(2)	Palladium 46 <b>Pd</b> 106,42(1)	Stříbro 47 <b>Ag</b> 107,8682(4)	Kadmium 48 <b>Cd</b> 112,411(8)	Indium 49 <b>In</b> 114,818(3)	Cin 50 <b>Sn</b> 118,710(7)	Antimon 51 <b>Sb</b> 121,760(1)	Tellur 52 <b>Te</b> 127,60(3)	Jod 53 <b>I</b> 126,90447(3)	Xenon 54 <b>Xe</b> 131,29(2)
Itanium 72 <b>It</b> 140,9076(2)	Rtut 78 <b>Pt</b> 195,078(2)	Zlato 79 <b>Au</b> 196,966569(4)	Rtuť 80 <b>Hg</b> 200,59(2)	Thalium 81 <b>Tl</b> 204,3833(2)	Olovo 82 <b>Pb</b> 207,2(1)	Bismut 83 <b>Bi</b> 208,98038(2)	Polonium 84 <b>Po</b> (209,9824)	Astat 85 <b>At</b> (209,9871)	Radon 86 <b>Rn</b> (222,0176)
Francium 87 <b>Fr</b> (223,0186832)	Ununnilium 110 <b>Uun</b> (289)	Unununium 111 <b>Uuu</b> (272)	Ununbium 112 <b>Uub</b> (277)						

⚠️ toxický prvek

⚠️ formy rtuti

- elementární Hg (kovová) Hg<sup>0</sup>
- anorganické sloučeniny Hg resp. Hg soli  
rtuťnaté (HgS, HgO, HgCl<sub>2</sub>)
- organické sloučeniny Hg (MeHg) ?



# Rtuť - specifika

- kapalný prvek (RT)
- vysoká hustota ( $13,534 \text{ kg/m}^3$ )
- ušlechtilý prvek
- vysoká tense par
- povrchové napětí, elektrická vodivost
- spektroskopické chování
- lipofilní charakter



elektrody, spínače (důlní)



LED

NEON

Hg

Al

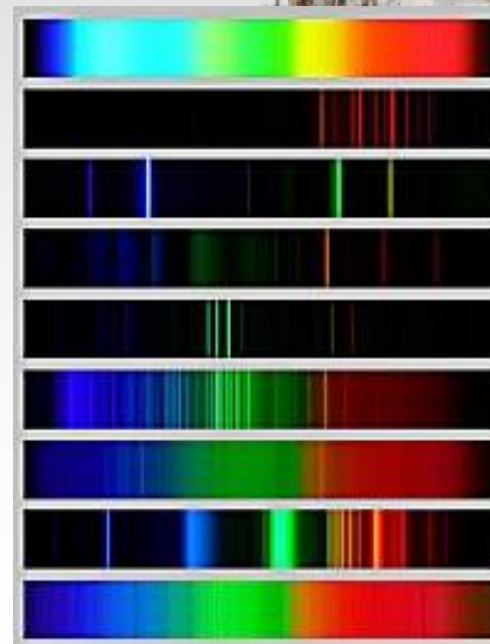
Cu

Fe

C

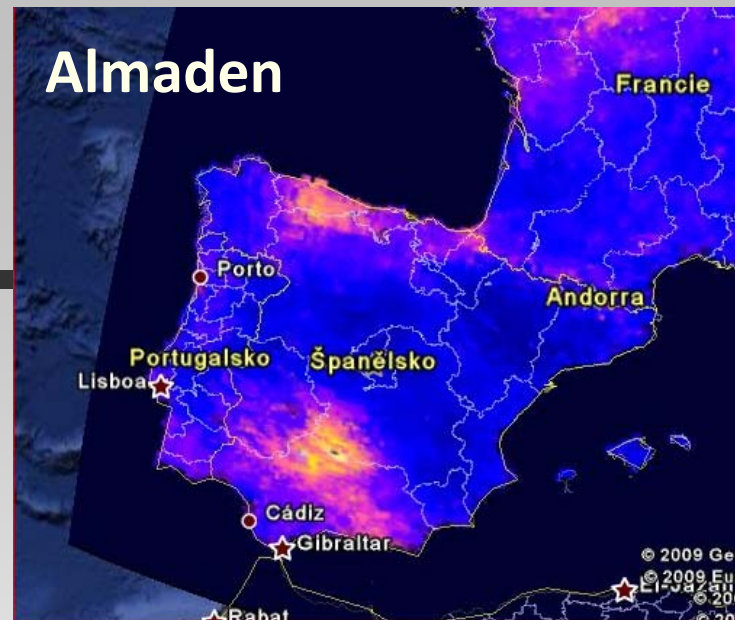
zářivka

slunce



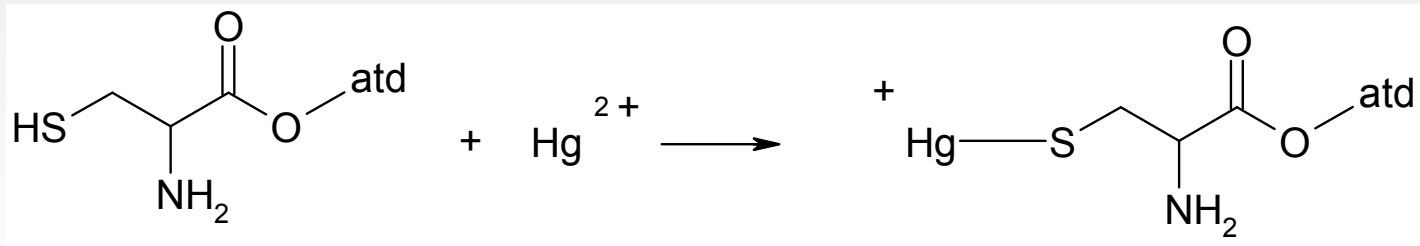
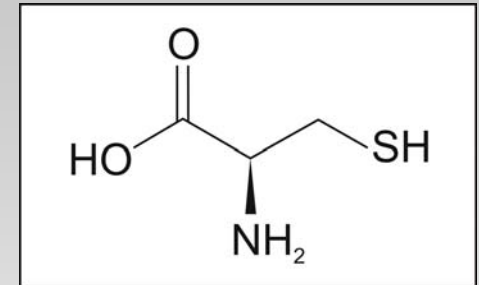
# Rtuť - specifika

- kapalný prvek (RT)
  - vysoká hustota (13,534 kg/m<sup>3</sup>)
  - ušlechtilý prvek
  - vysoká tense par
  - povrchové napětí, elektrická vodivost
  - spektroskopické chování
  - lipofilní charakter
- 
- Hg ve sloučeninách: oxidační číslo 2+
  - tvorba kovalentních vazeb
  - neochota k iontovým interakcím
  - vazby výhradně jednoduché
  - Hg-S .....>
  - nápadná ochota ke tvorbě Hg-C vazeb



# Proč jsou sloučeniny Hg tak toxické?

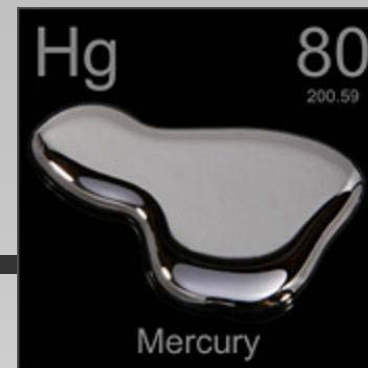
MERKAPTANY R-SH



Narušení látkové výměny...

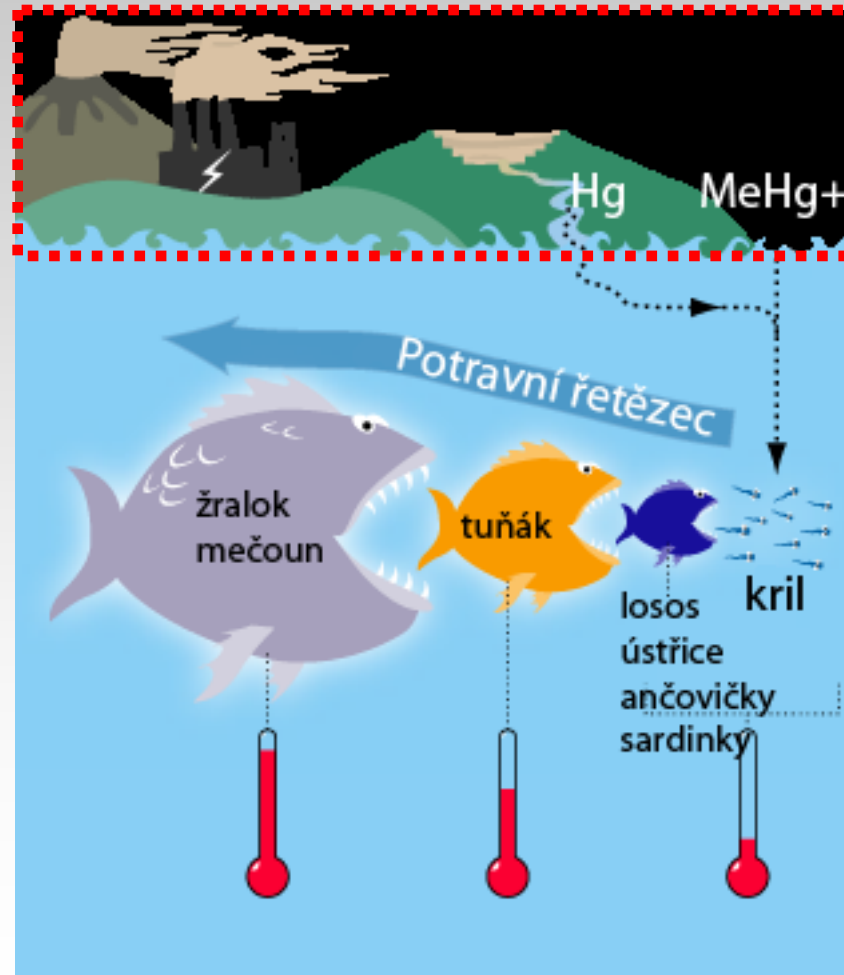


# Rtuť - toxicita?



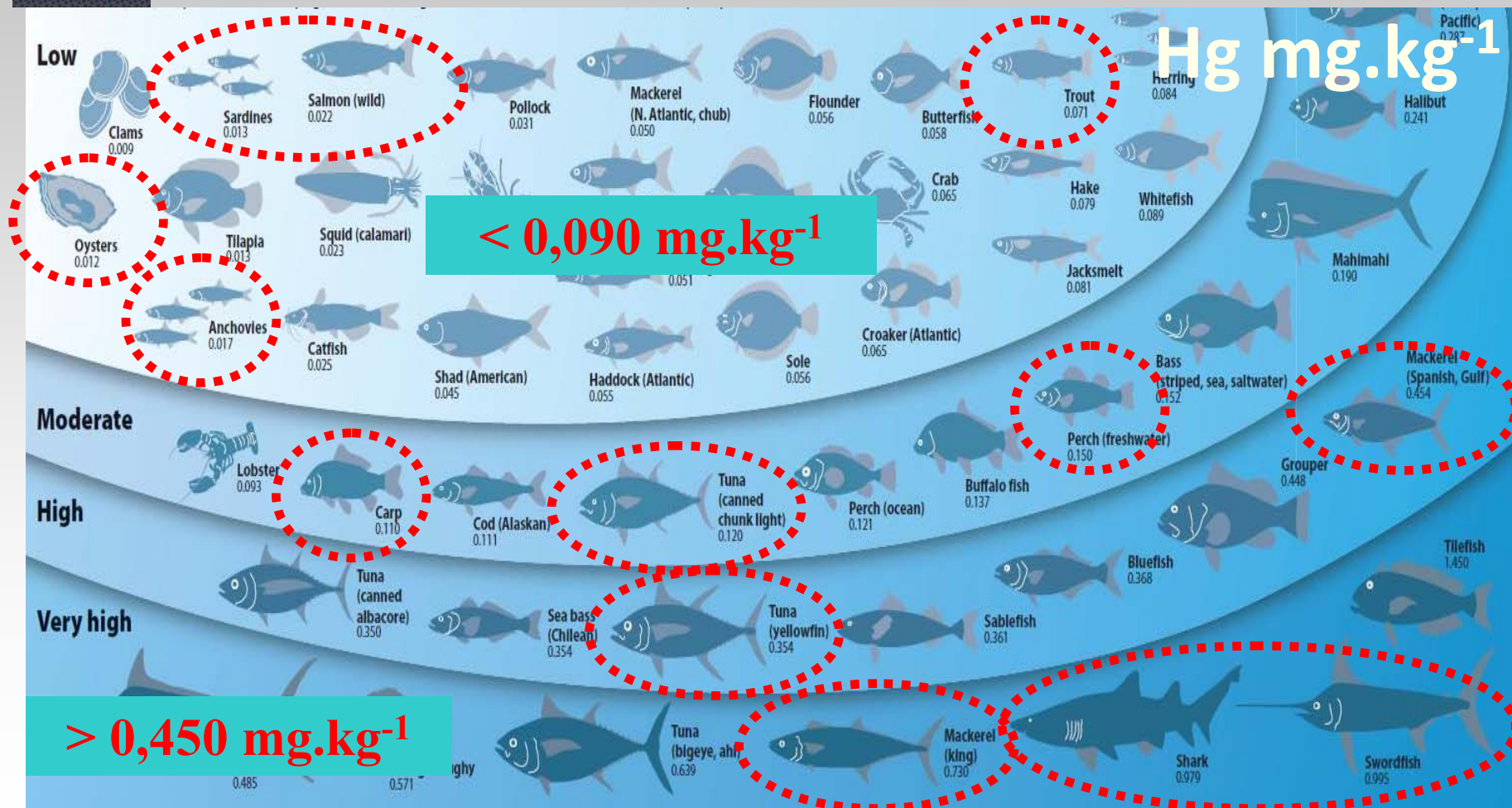
- zjevná toxicita Hg – **Minamata, Niigata** 50-60.léta 20. století; **Irák** 70.léta 20.století
- klinické studie na obyvatelstvu Nového Zélandu, Faerských ostrovů a Seychel (1997 a 1998)
- v USA >90% expozice MeHg<sup>+</sup> prostřednictvím konzumace mořských i sladkovodních ryb (2004 a 2007)
- **recentní výsledky - Hg (zejména MeHg<sup>+</sup>) může být toxická pro člověka či živočichy i na územích, kde kontaminace není zcela zjevná!**

# Princip bioakumulace...



MeHg<sup>+</sup>

# Obsah Hg (MeHg) v rybím mase





# Obsah THg a MeHg v rybím mase



0,039 – 0,384 mg.kg<sup>-1</sup>  
(z toho MeHg 82%)

Labe, Obříství

THg 0,263 ± 0,086 mg.kg<sup>-1</sup>

MeHg 0,256 ± 0,084 mg.kg<sup>-1</sup>

KRUŽÍKOVÁ et al.

MERCURY AND METHYLMERCURY CONCENTRATIONS IN MUSCLE TISSUE OF FISH CAUGHT IN MAJOR RIVERS OF THE CZECH REPUBLIC  
Acta Veterinaria Brno 77, 2008



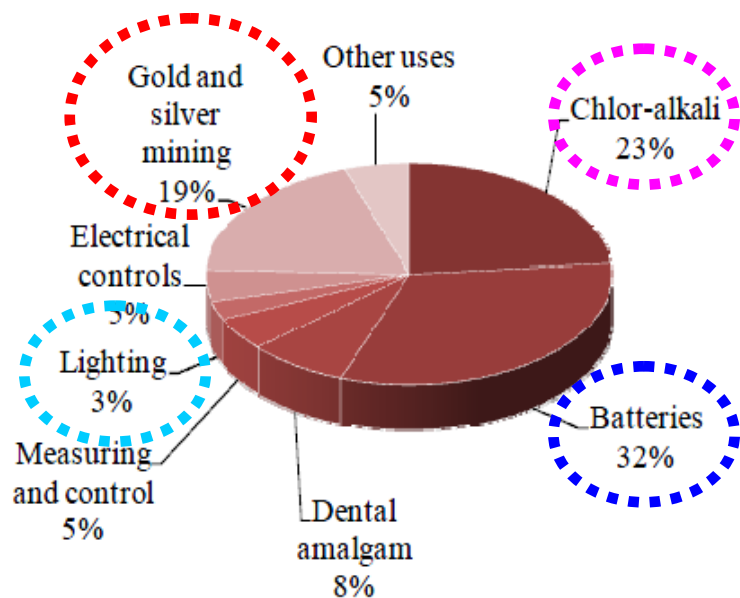
0,018 – 0,063 mg.kg<sup>-1</sup>  
(z toho MeHg 90-100%)

MARŠÁLEK et al.

THE CONTENT OF TOTAL MERCURY AND METHYLMERCURY IN COMMON CARP FROM SELECTED CZECH PONDS  
Aquaculture International 15, 2007

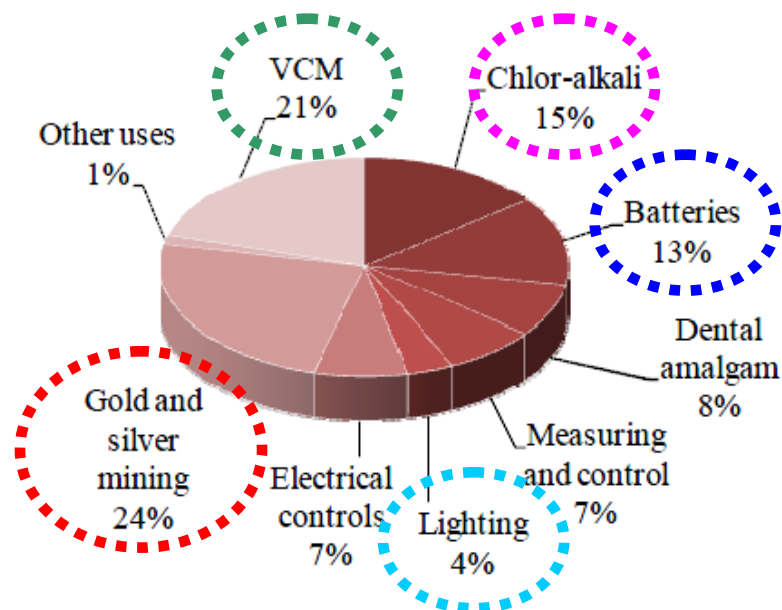
# Použití rtuti podle oboru

2000



3386 t

2005



3415 t

# Řemeslná těžba zlata



- # 10-20 milionů lidí, 12% světové produkce Au
- # 10 miliard dolarů/rok
- # emise tisíce tun Hg rok...

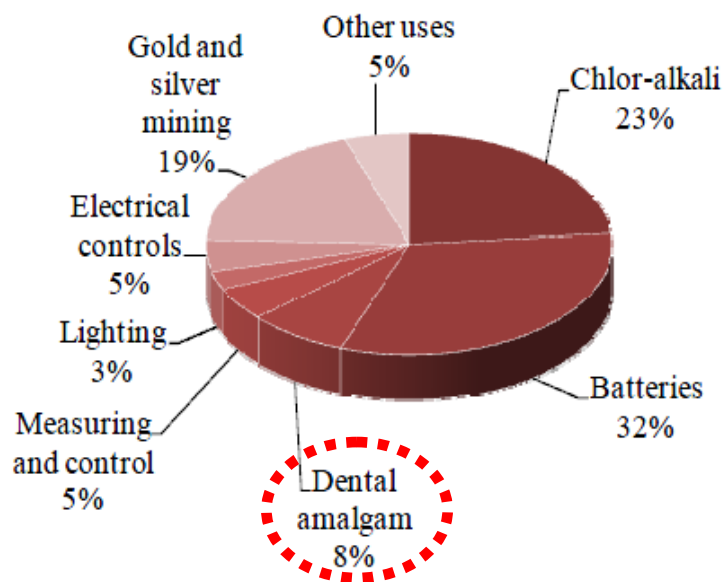


# Řemeslná těžba zlata



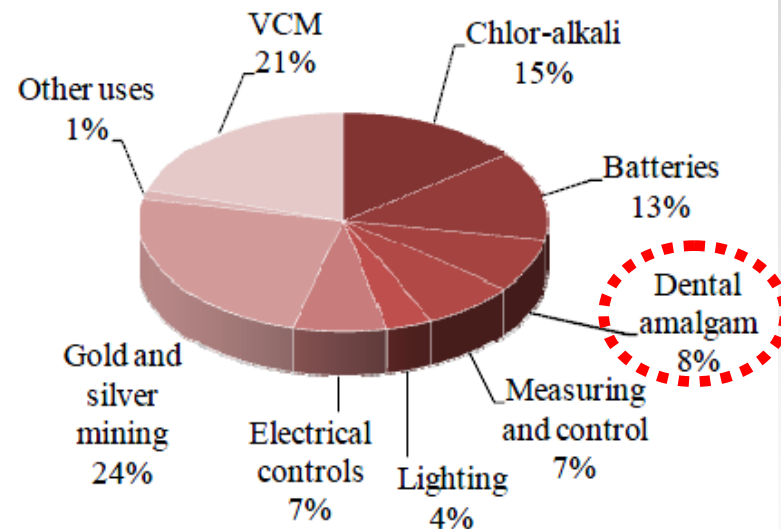
# Použití rtuti podle oboru

2000



3386 t

2005



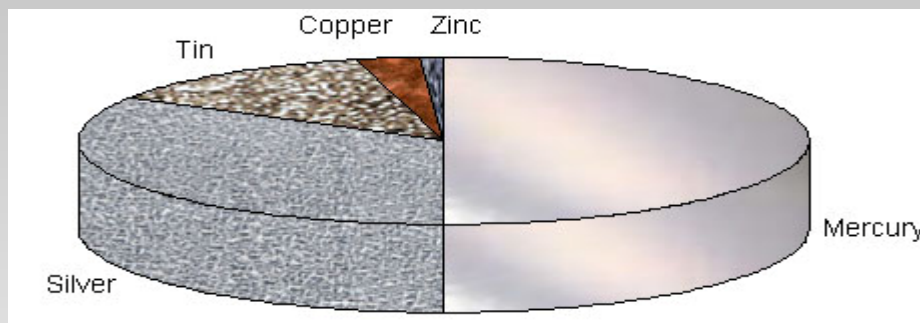
3415 t

# Zubní amalgamy

FOR IMMEDIATE RELEASE

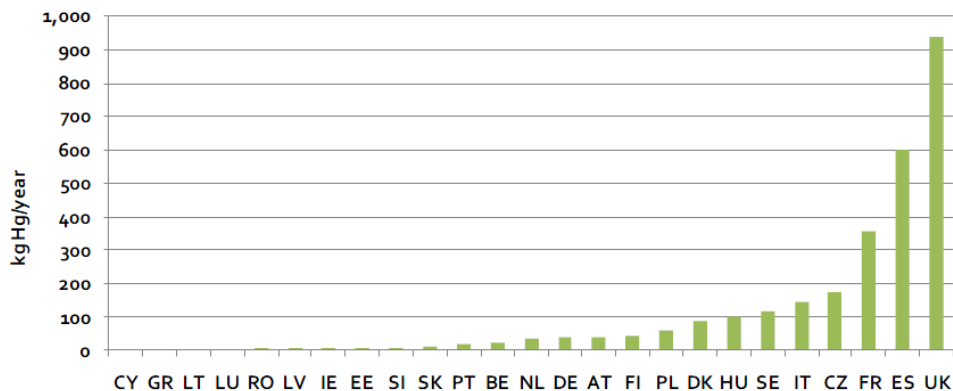
Orthomolecular Medicine News Service, November 20, 2008

**Mercury Dental Amalgams Banned in 3 Countries**  
FDA, EPA, ADA Still Allow and Encourage Heavy-Metal Fillings



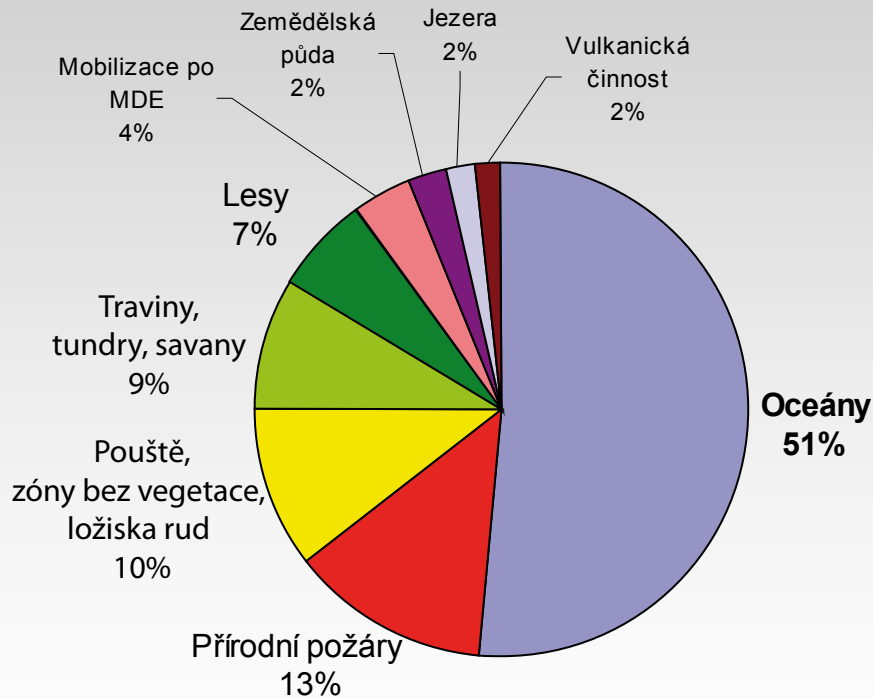
- spotřeba Hg na zubní amalgámy v zemích EU **70 tun/rok (2002)**
- v rámci ČR **5,8 tun/rok**

Figure 14: Estimated annual Hg emissions from crematoria in 25 MS



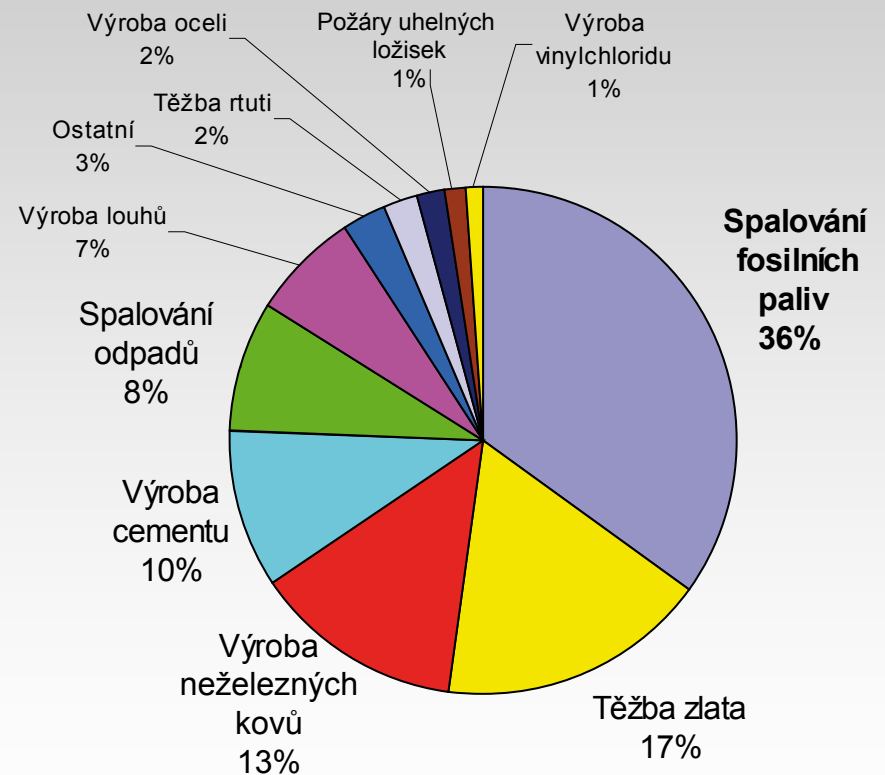
# Zdroje emisí Hg pro životní prostředí

## Přirozené



Suma: 5 207 t.rok<sup>-1</sup>

## Antropogenní



Suma: 2 320 t.rok<sup>-1</sup>

# Antropogenní emise Hg v EU

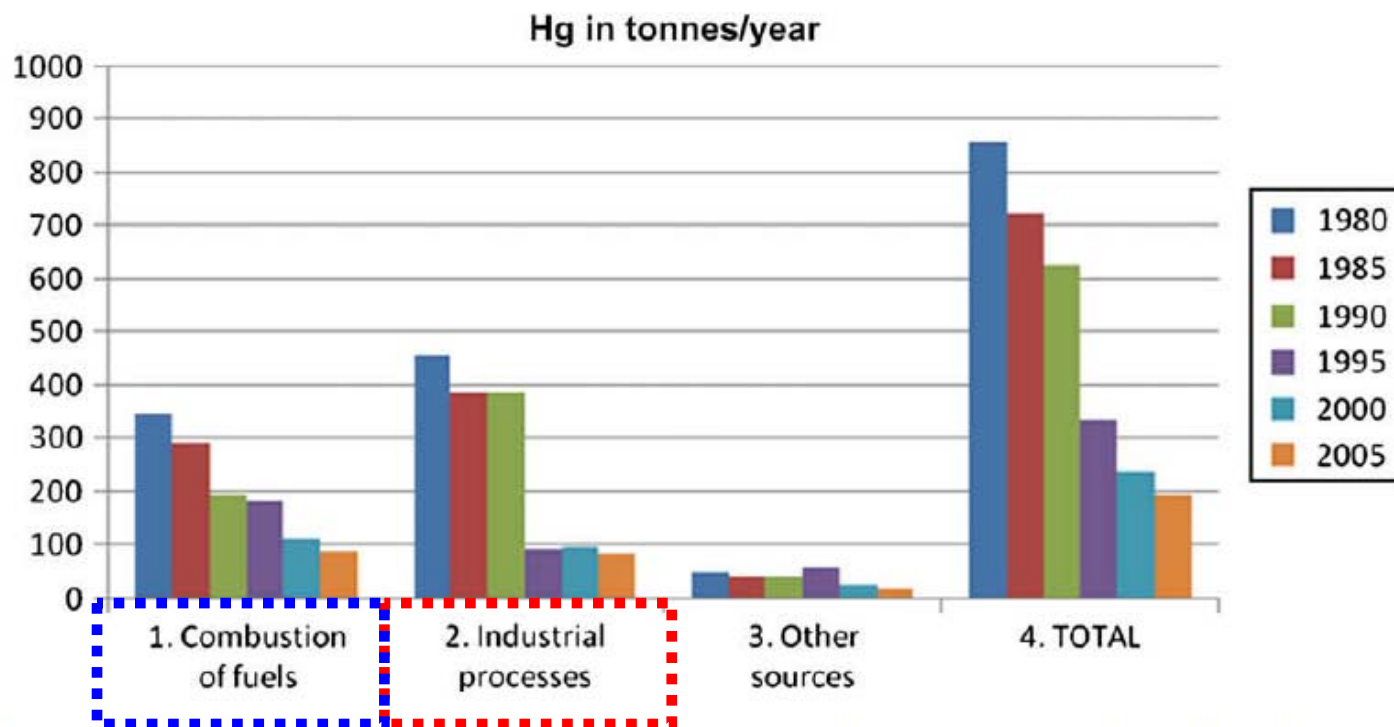


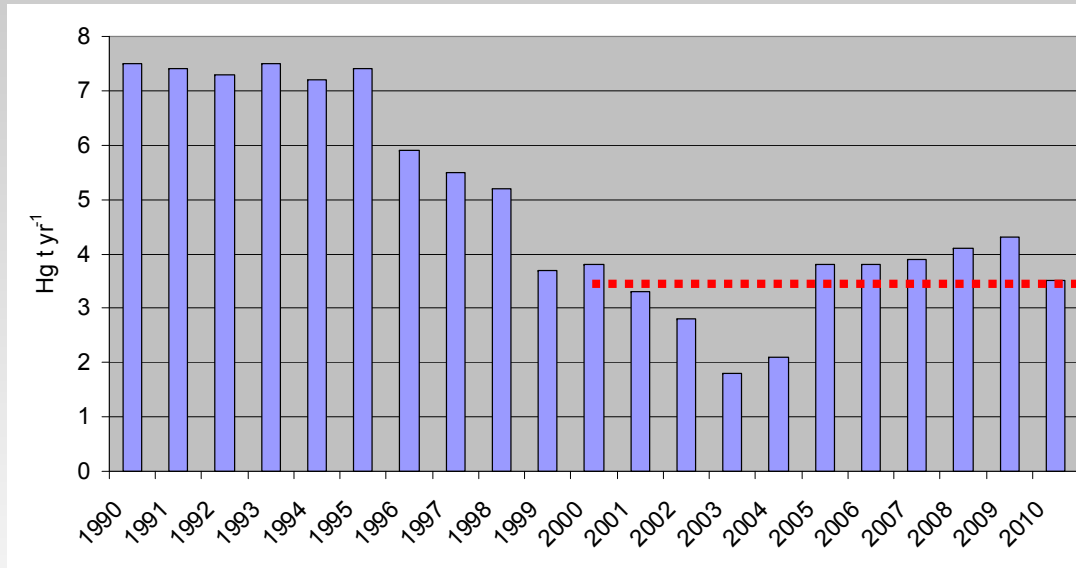
Fig. 1. Change of atmospheric emissions of Cd, Pb and Hg in Europe in the period from 1980 through 2005 (in t year<sup>-1</sup>).



Čína+Indie - 850 t za rok!

Asie – 2400 t za rok!

# Emise v ČR, data o kontaminaci ŽP?



ZDROJ: <http://www.emep.int/>, Ročenky životního prostředí ČR

## • emise Hg za rok 2010

Elektrárna Ledvice	70 kg
Elektrárna Počerady	234 kg
Elektrárna Prunéřov I	44 kg
Elektrárna Prunéřov II	143 kg
Elektrárna Tušimice	22 kg
Elektrárna Tisová	52 kg

	Emise Hg (tun za rok)	2008
1	Russia	23.0
2	Turkey	22.0
3	Poland	16.0
4	Greece	13.0
5	Romania	12.0
6	Italy	11.0
7	Spain	7.8
8	Ukraine	6.8
9	UK	6.2
10	Serbia	5.4
11	Czech	4.1
12	Slovakia	4.1
13	France	4.0
14	Germany	3.8
...		
	<b>Celkem, t/rok</b>	<b>165</b>

ZDROJ: <http://www.emep.int/>

# Emise Hg z SHP – modelový výpočet

V ČR bylo do konce roku 2010 vytěženo přes pět miliard tun hnědého uhlí

PRAHA / 14:00, 02. 02. 2012

Celkem bylo dosud v ČR do konce roku 2010 vytěženo 5,168 miliard tun hnědého uhlí, na sokolovskou hnědouhelnou pánev připadlo 1,119 mld. tun a severočeskou hnědouhelnou pánev 4,049 mld. tun. Vyplyvá to ze studie Výzkumného ústavu hnědého uhlí (VÚHU) zveřejněné ve čtvrtek.

V roce 2010 představovala celková těžba v obou pánevích 43,899 milionu tun oproti 45,369 milionům tun v roce předchozím. Meziročně tak v tomto období poklesla celková těžba o 1,47 milionu tun, což je 3,24 procenta. Větší pokles zaznamenala těžba v severočeské hnědouhelné pánevi (SHP) celkem o 3,56 procenta - z 36,788 milionu tun v roce 2009 na 35,479 milionu tun v roce 2010. Pokles těžby v sokolovské hnědouhelné pánevi (SP) pak představoval 1,88 procenta - z 8,581 na 8,420 milionu tun.



## obsah Hg v uhlí SHP

- dle Doly Bílina a.s. 0,17-0,25 mg.kg<sup>-1</sup>
- dle měření GLÚ 0,17-0,19 mg.kg<sup>-1</sup>
- světový průměr (Bouška et al.) 0,13 mg.kg<sup>-1</sup>

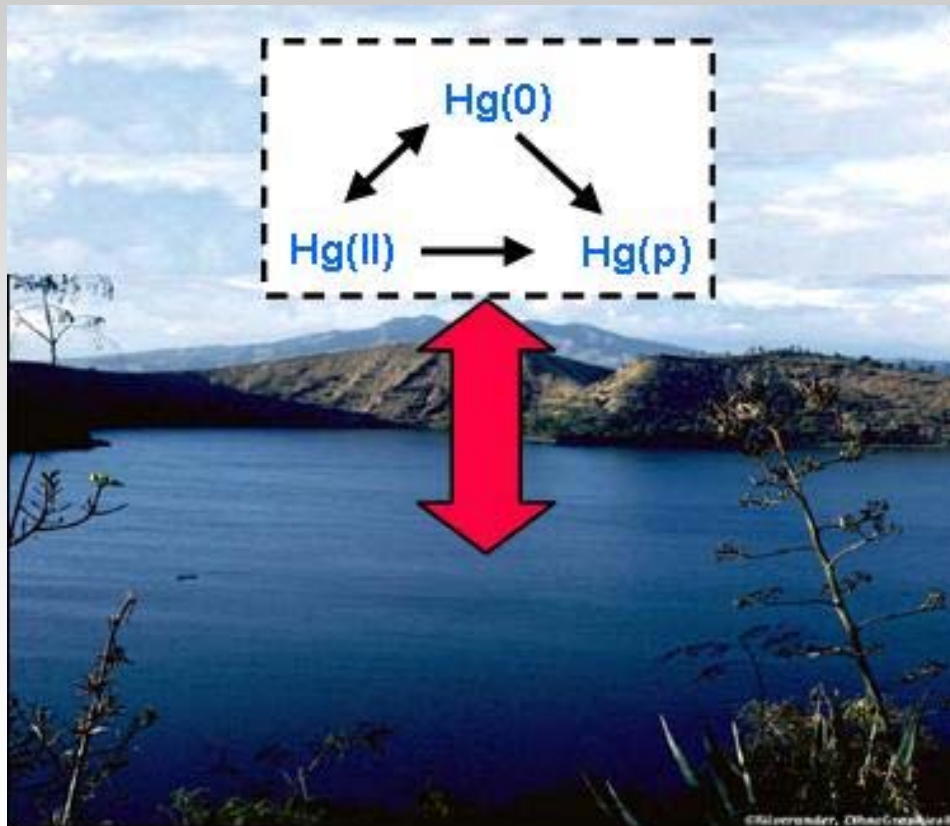
- 1 kg obsahuje 0,20 mg Hg
- 1 tuna 200 mg Hg tj. 0,2 g Hg
- 5 miliard tun 5 x 10<sup>9</sup> x 0,2 g tj. 1 000 000 000 g Hg  
tj. 1 000 t Hg

- emisní faktor pro Hg je 65-75%

Zdroj:  
WWW.MEDIAFAX.CZ

- tzn. při emisním faktoru 70% a předpokladu, že všechno vytěžené uhlí bylo použito v tepelných elektrárnách – by emise Hg do atmosféry dosáhly **700 t Hg** za období od počátku těžby v SHP cca rok 1880 (počátek industrializace) do 2010

# Rtuť v atmosféře, depozice



- elementární  $\text{Hg}(0)$  – málo rozpustná
  - anorganická  $\text{Hg}(\text{II})$  – rozpustná
  - adsorbovaná  $\text{Hg}(\text{p})$
- 
- 15 -20% emitované anorg. Hg je deponováno do 50km od zdroje
- 
- element. Hg má mnohem delší dobu setrvání v atmosféře – proto ji můžeme najít např. i na Antarktidě apod.
  - doba setrvání  $\text{Hg}(0)$  v atmosféře je 1-1,5 roku !  
(98% emisí)

# Depozice, vstup do ekosystémů

**mokrá depozice**

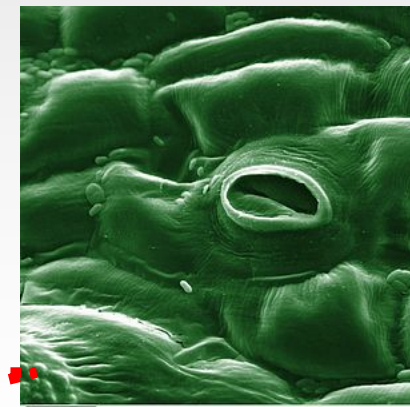
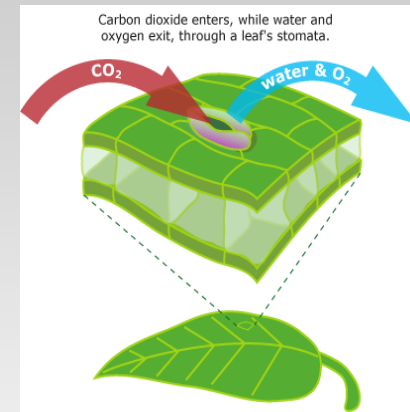
**suchá depozice**

45  
 $\text{mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$

65  
 $\text{mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$

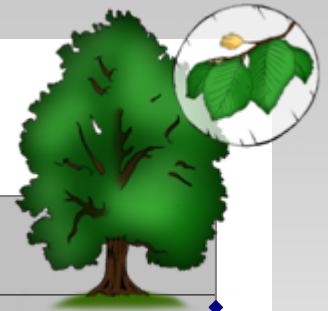
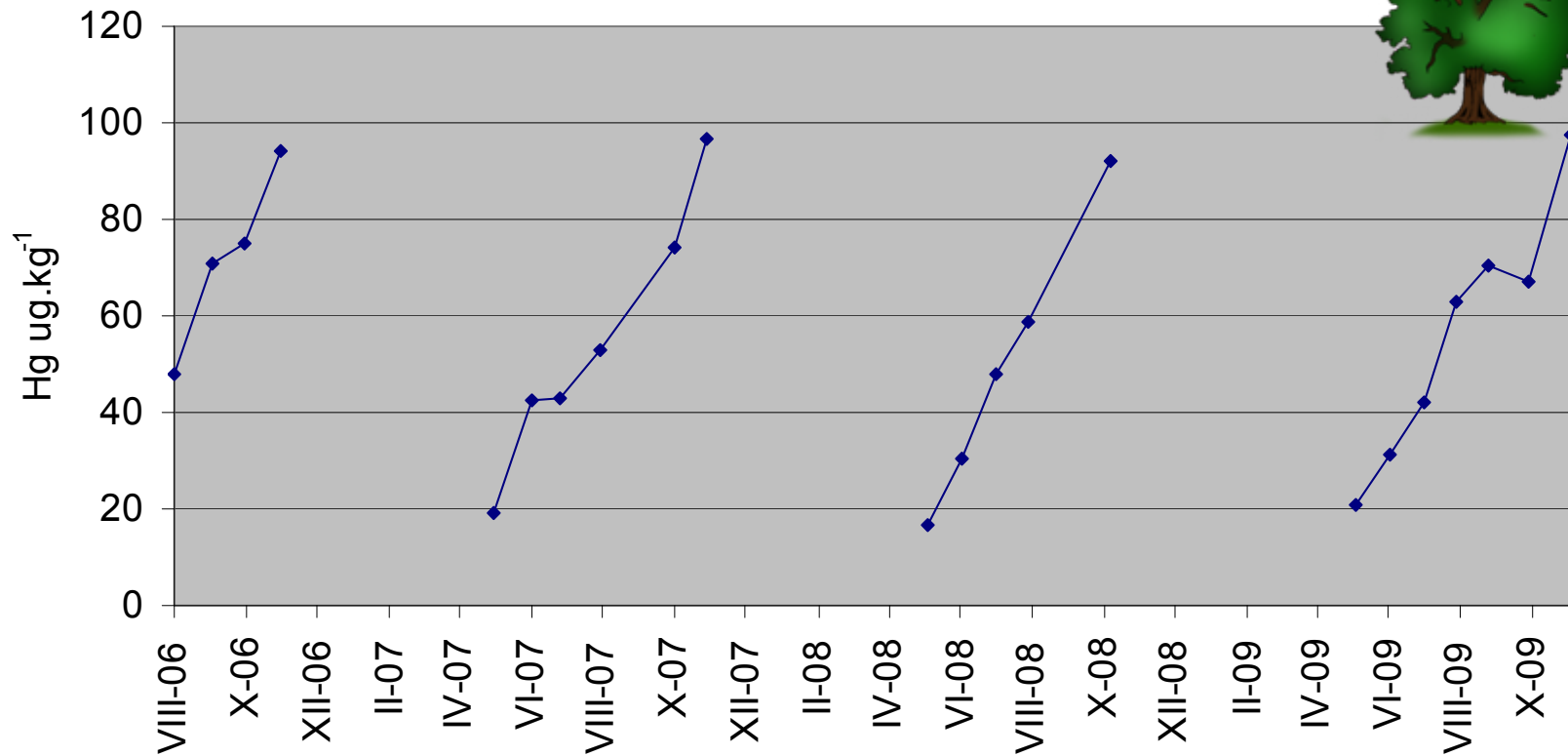
226  
 $\text{mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$

**stomata**



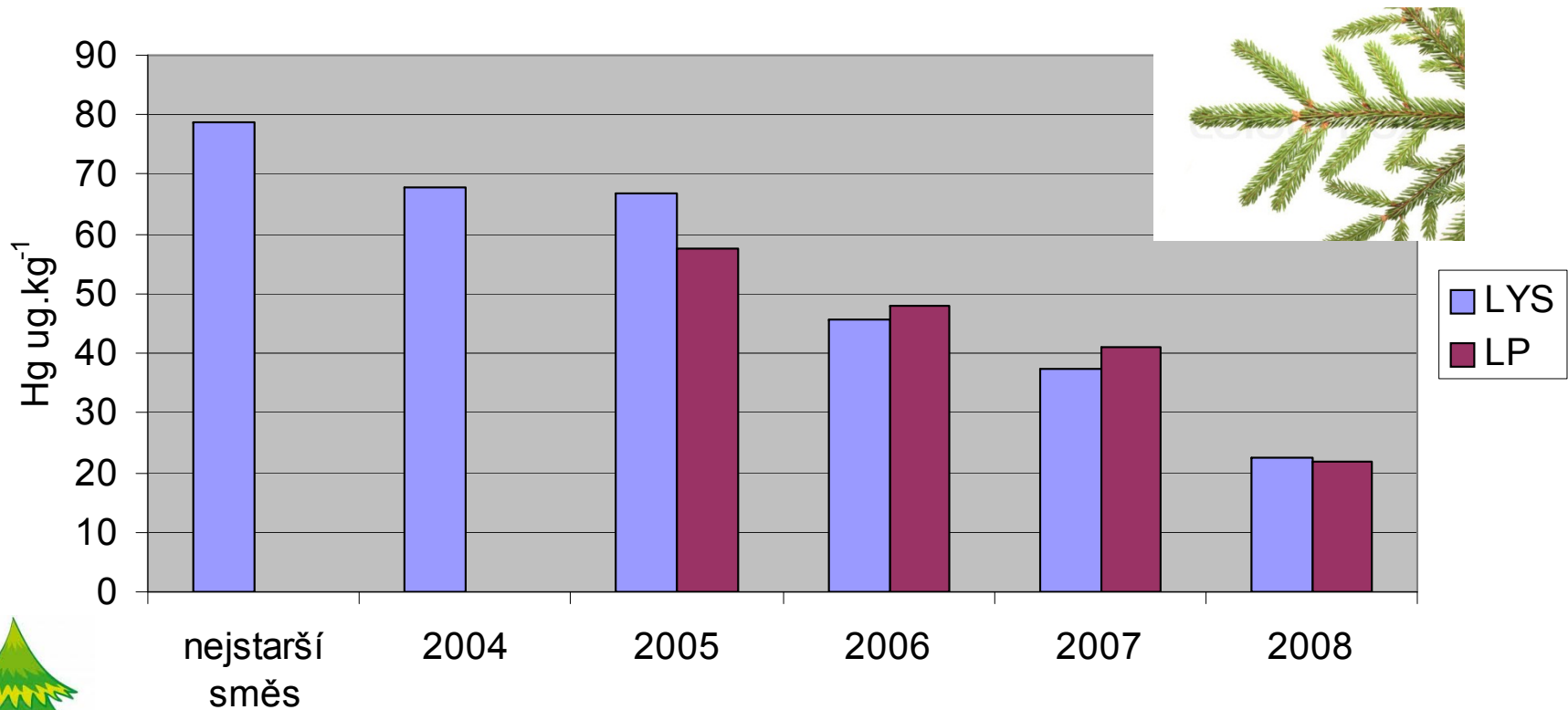
# Hg v respiračních orgánech dřevin

Změny koncentrace Hg v bukovém listí - povodí LP



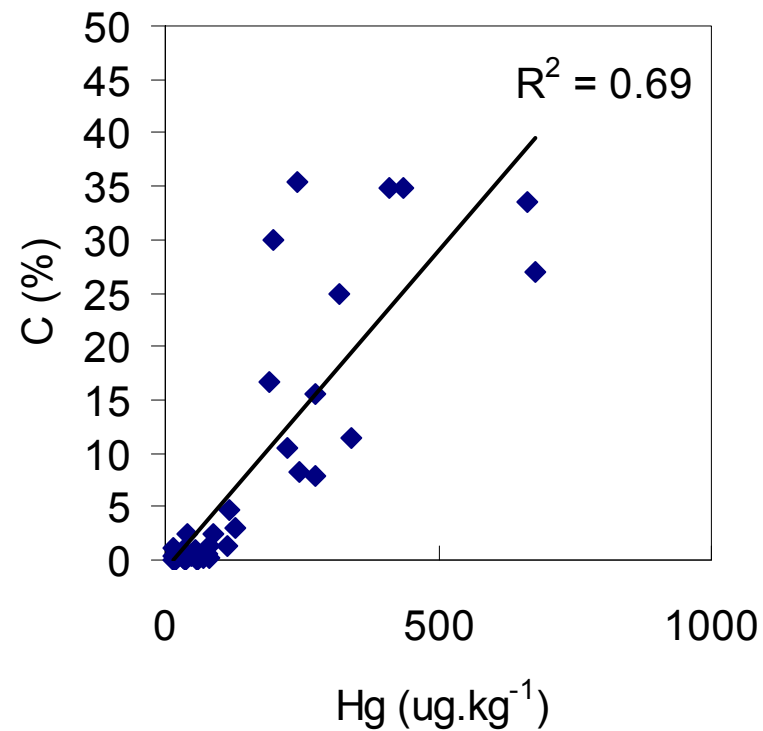
# Hg v respiračních orgánech dřevin

## Změny koncentrace Hg v jehlicích smrku - povodí LYS a LP

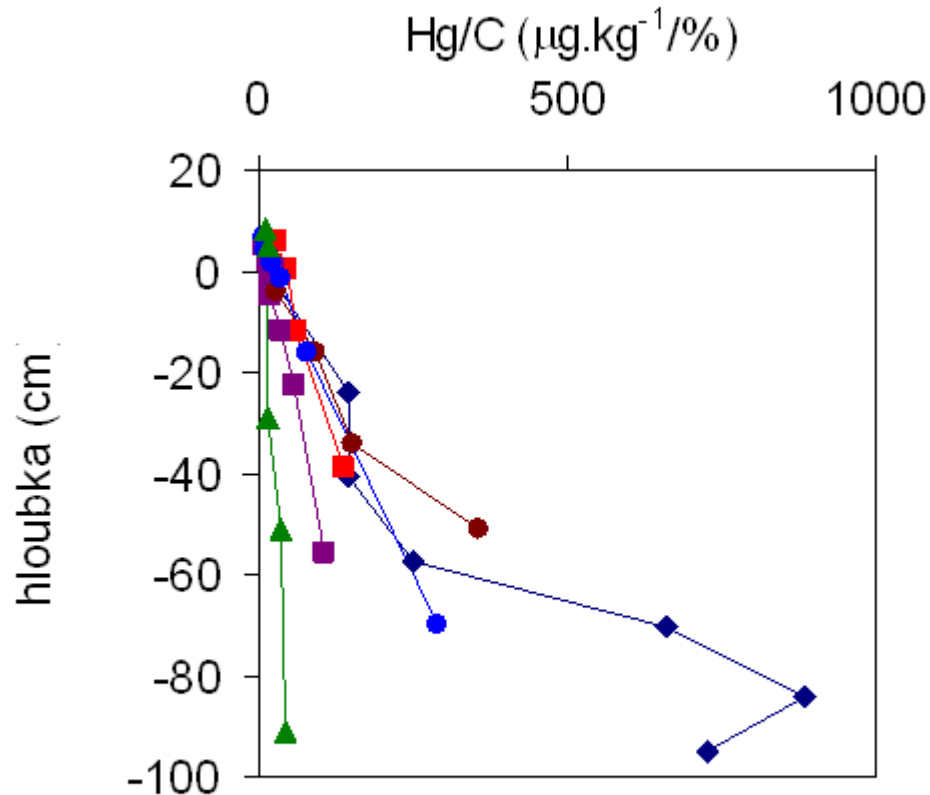


# Rtuť v půdách

- distribuce Hg v půdách na neznečištěných lokalitách se řídí zejména distribucí organické hmoty (C%)

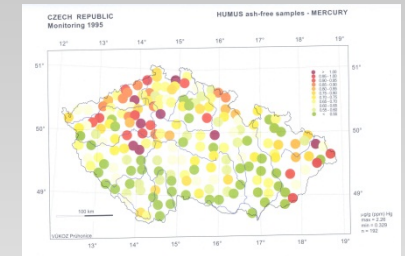
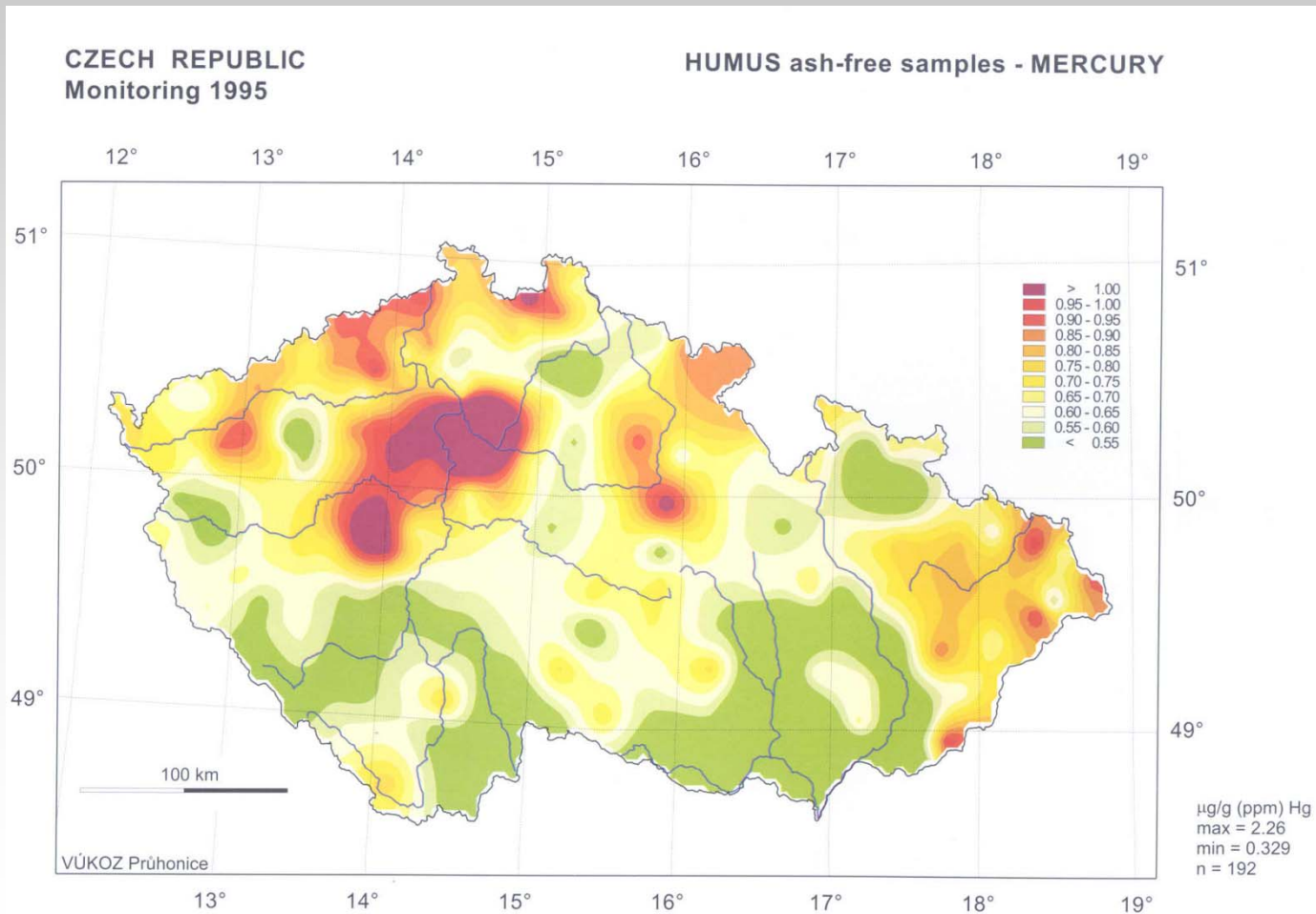


# Koncentrace Hg v půdě

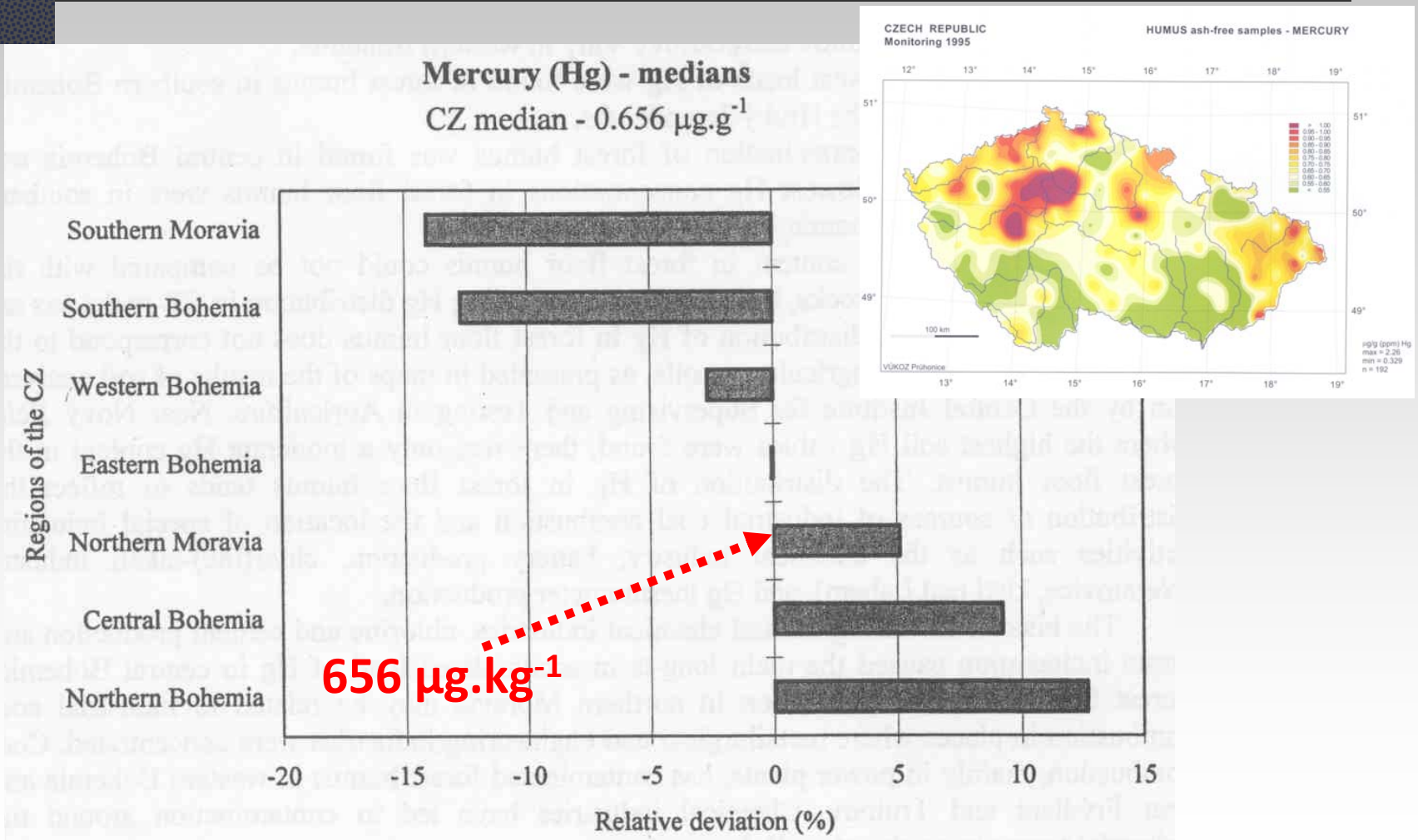




# Hg v lesním humusu

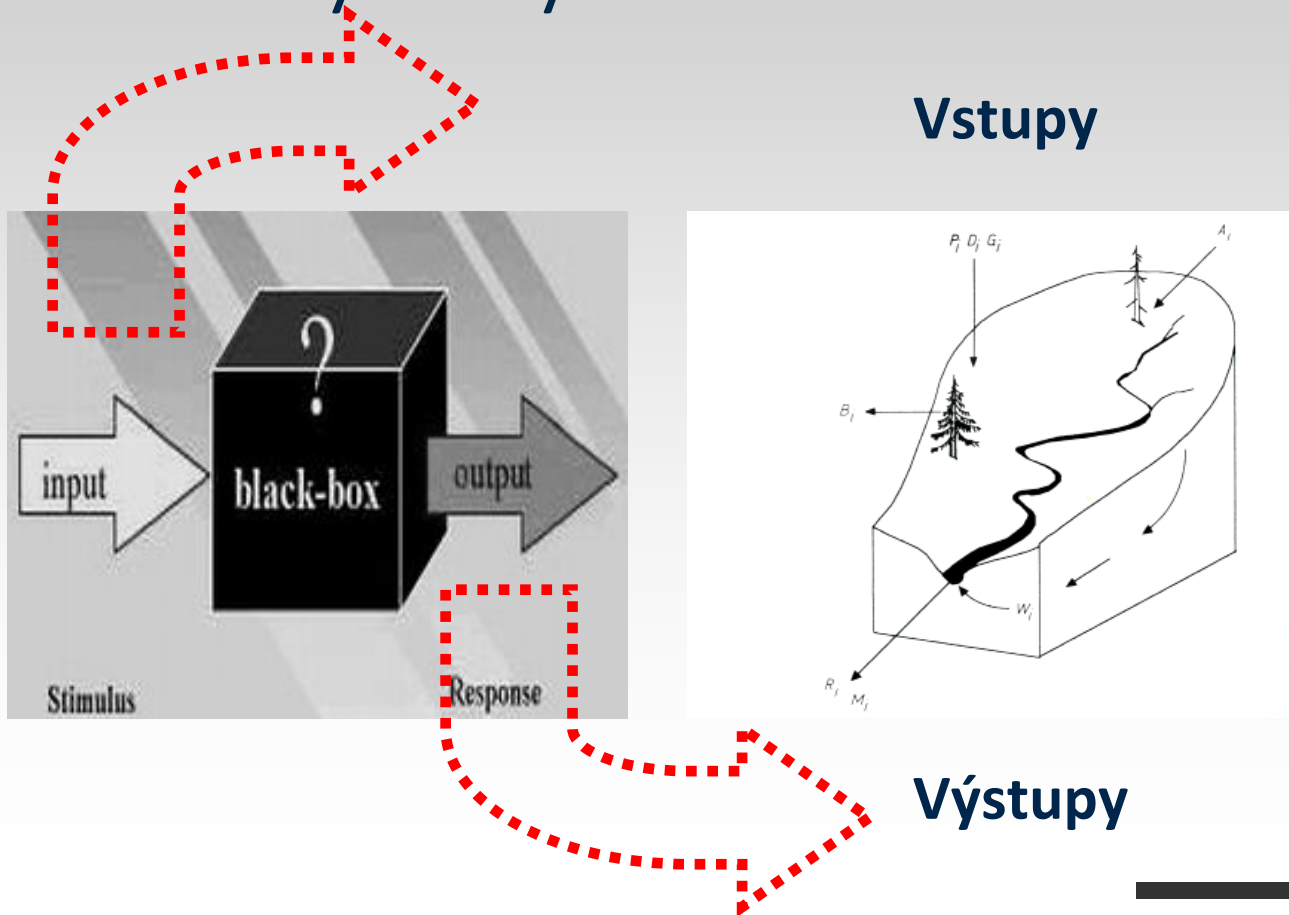


# Hg v lesním humusu



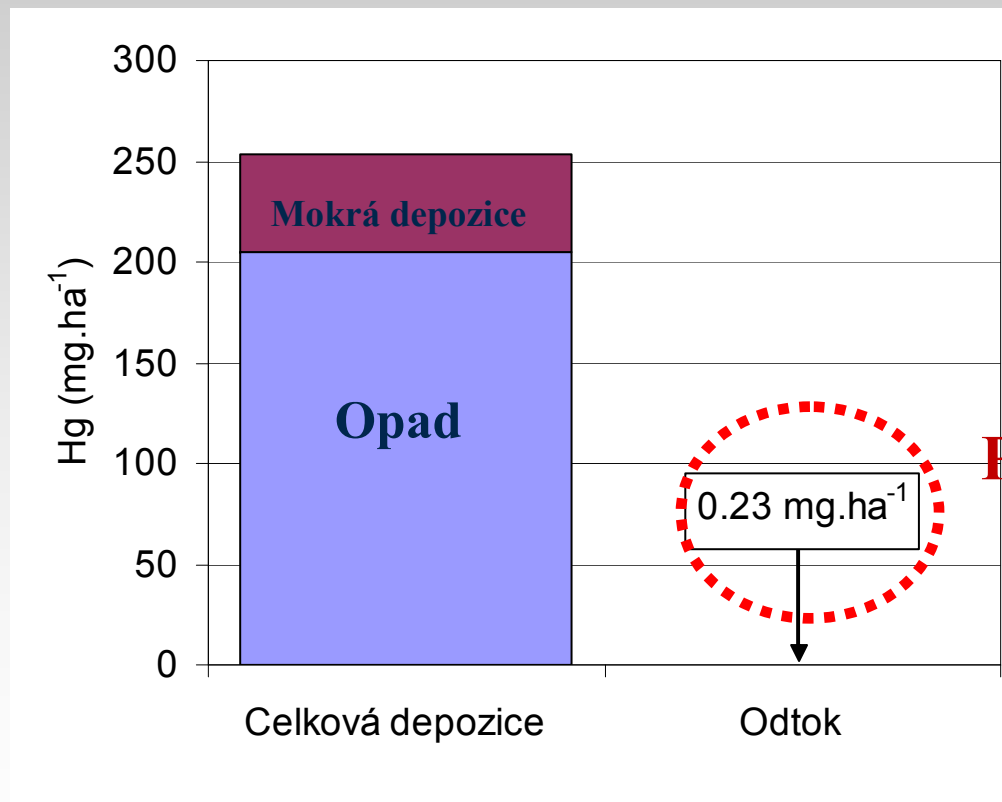
# Sledování malých povodí

- lesní ekosystémy – látková bilance



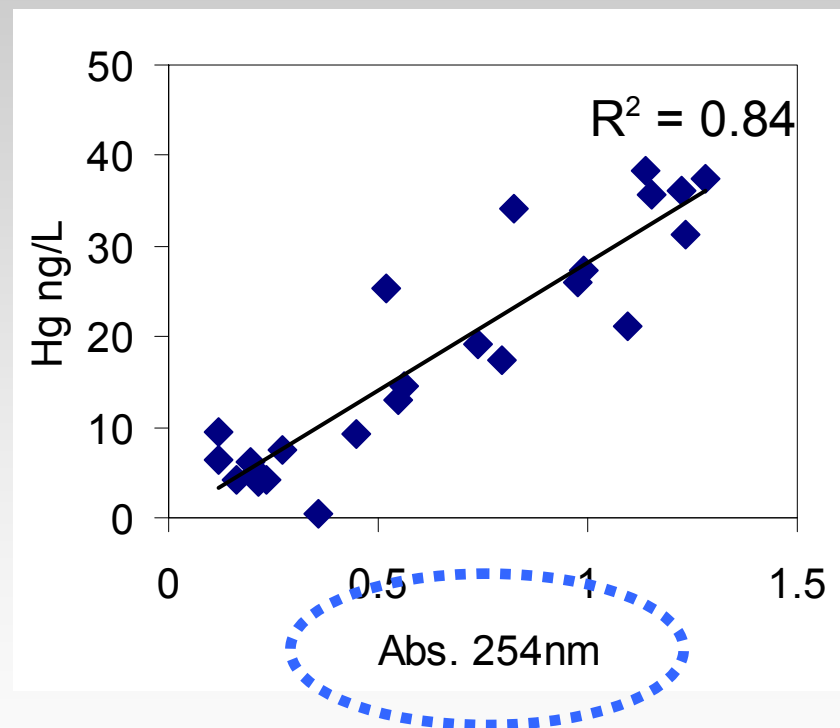
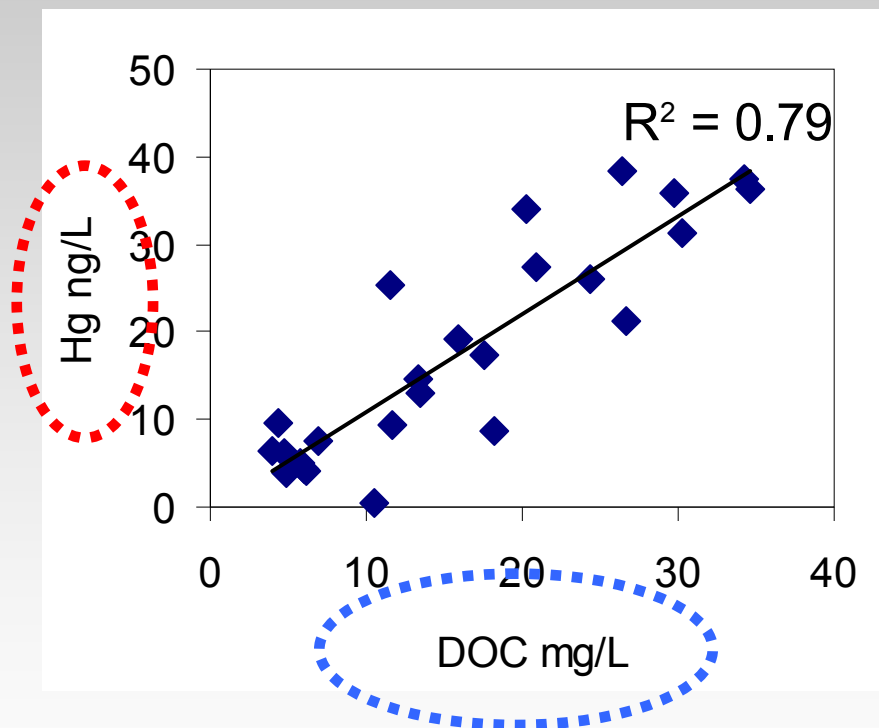
# Hmotnostní bilance Hg v lesním ekosystému

- monitoring látkových toků Hg, monitoring malých povodí



- dominantní látkový vstup - opad „litterfall“

# Vody – koncentrace Hg vs DOC



- DOC – dissolved organic carbon
- mobilita organických látek – determinuje mobilitu Hg

# Závěr

---

- # emise Hg v Evropě významně poklesly od 80.tých let 20.století
- # značná množství Hg byla deponována v životním prostředí a mají potenciál figurovat v potravním řetězci
- # lesní ekosystémy (zejména půdy a jejich organické složky) zadržují Hg, která se z nich bude uvolňovat až stovky let