

# Hodnocení účinků látek znečišťujících ovzduší na ekosystémy dle metodologie EHK OSN

---

**Obsah přednášky:**

**Doc. Ing. Miloš Zapletal, Dr.**

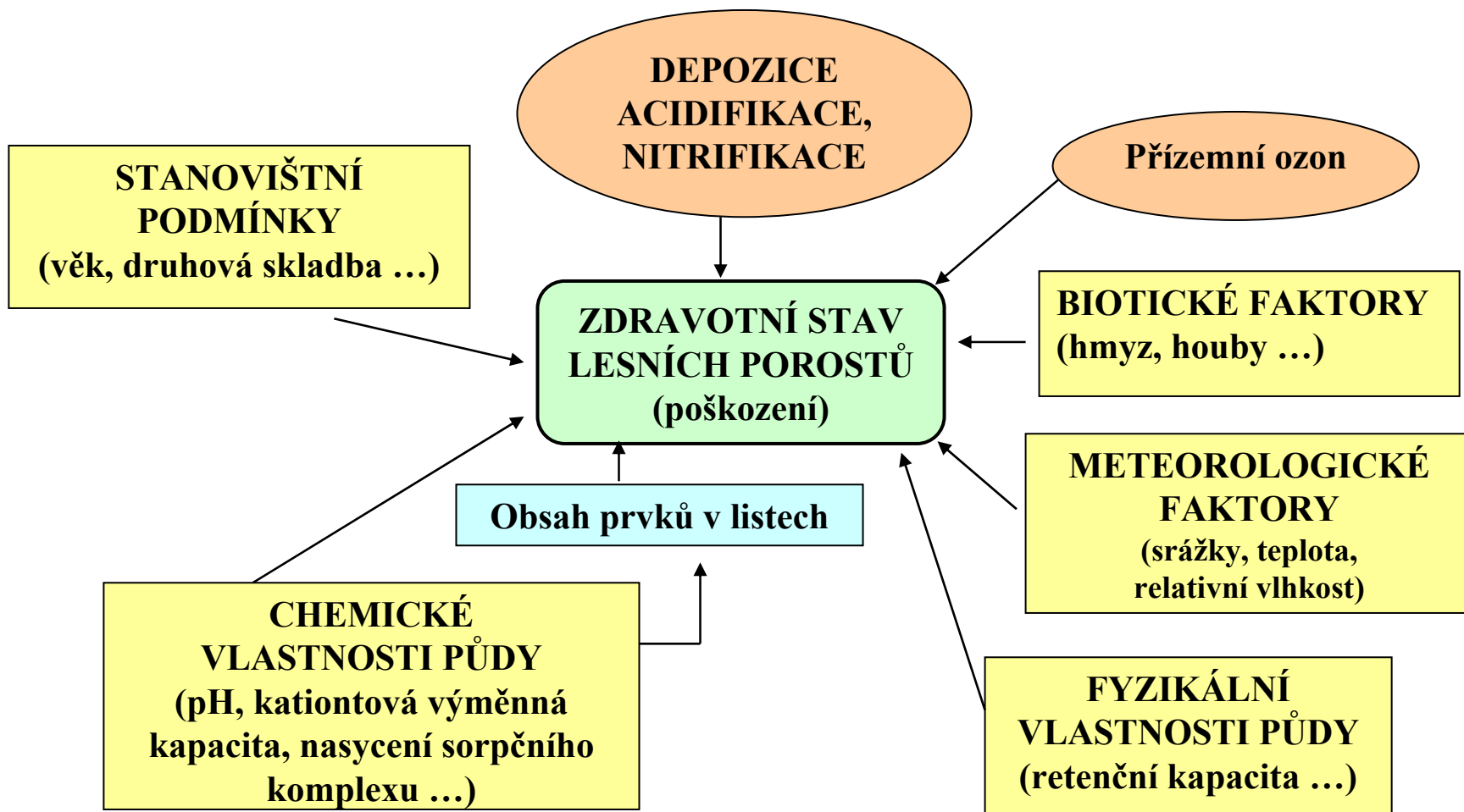
- **Procesy**
- **Účinky**
- **Kritéria pro hodnocení účinků**
- **Opatření a legislativa**
- **Imisní koncentrace a depoziční tok přízemního ozonu**
- **Kritické zátěže těžkých kovů**
- **Hodnocení účinnosti opatření**
  - **Kritické zátěže síry a dusíku**
  - **Kritické koncentrace a depoziční tok přízemního ozonu**
  - **Kritické zátěže těžkých kovů**
- **Aplikace na hodnocení stavu životního prostředí**

## Procesy



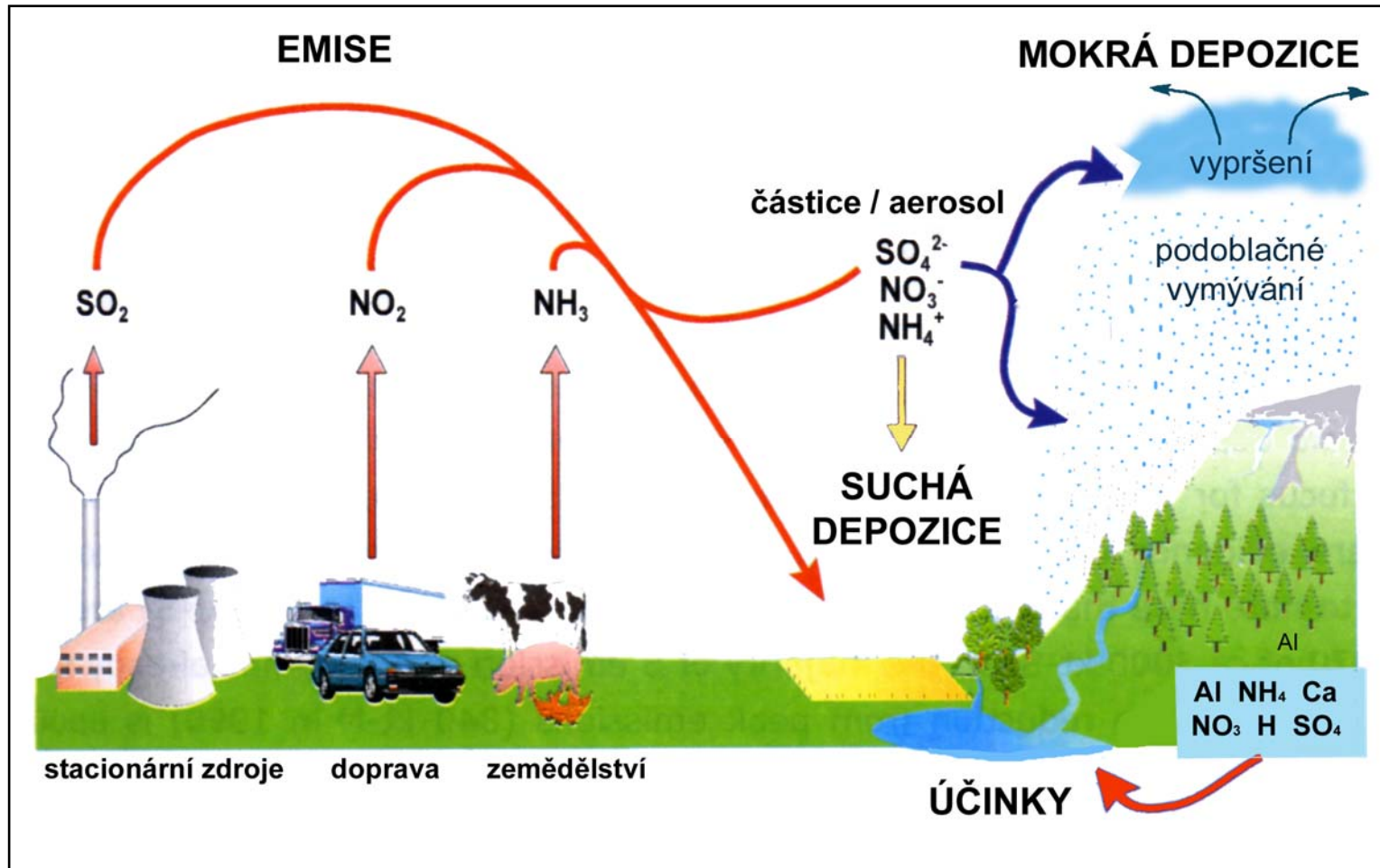
- Do procesů vedoucích k chřadnutí a odumírání lesa je zapojeno velké množství fyzikálních, biologických a chemických faktorů.
- Změna zdravotního stavu lesních porostů může být důsledkem lidské činnosti, přírodních procesů nebo kombinací obou těchto faktorů. Odborná literatura 80. a 90. let 20. století poskytuje rozsáhlý materiál zabývající se popisem hypotéz o poškozování a úhynu lesa.
- Existuje několik základních hypotéz mechanismu odumírání stromů a konkrétní příčina na konkrétním místě je obvykle kombinací více mechanismů.

# Faktory, které se mohou podílet na zhoršování zdravotního stavu lesních porostů



Podrobný přehled studií popisujících aplikaci **faktorových a regresních analýz** na zkoumání vlivu abiotických a biotických faktorů na zdravotní stav lesních porostů uvádí Seidling (2000, 2001).

# Vztah mezi procesy emise, přenosu, depozice a účinků acidifikačních látek



# Účinky depozice acidifikačních látek v životním prostředí

Kyselá depozice, na níž se značnou měrou podílí antropogenní emise  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  a  $\text{NH}_3$ , poškozují citlivé sladkovodní ekosystémy, lesy, půdy, přirozené ekosystémy a materiály (kulturní a historické památky).

## Účinky se projevují mnoha způsoby např:

- ochuzením lesních půd o biogenní prvky (vápník, hořčík, draslík, sodík)
- zvýšením koncentrace toxických prvků (hliník) v lesních půdách
- akumulací síry a dusíku v lesní půdě
- defoliací a snížením vitality stromů
  
- degradací kvality vody, která se projevuje :
  - snížením pH
  - poklesem kyselé neutralizační kapacity
  - nárůstem koncentrace hliníku
  - redukcí diverzity a hojnosti vodních organismů v jezerech, řekách a potocích

Jednou z příčin zhoršování zdravotního stavu lesních porostů je **dlouhodobá pomalá půdní acidifikace** vedoucí k:

ochuzení lesních půd o významné biogenní prvky  
(vápník, hořčík, draslík, sodík)

okyselení lesních půd a následné zvýšení koncentrace  
toxických prvků (hliník)

akumulaci síry a dusíku v lesní půdě

Acidifikační procesy jsou kombinovány s dalšími procesy, jako je **nadměrný příjem dusíku (eutrofizace)**, který se projevuje např. změnami živinových poměrů v půdě, úbytkem některých skupin organismů v půdě (např. mykorhizních hub).

Acidifikaci lesních půd a nadměrný příjem dusíku lesními půdami způsobuje **atmosférická depozice síry a dusíku**.

## Vztah emisí oxidu siřičitého a oxidů dusíku k jiným environmetálním problémům

| Důsledek           | Vztah k emisím  |
|--------------------|---|
| Eutrofizace půd    | Depozice dusíku obohacuje dusíkem půdu (změny živinových poměrů v půdě, úbytek organismů atd.)            |
| Eutrofizace vod    | Depozice dusíku obohacuje dusíkem povrchové vody  |
| Rtuť               | Acidifikace vodního povrchu zvyšuje akumulaci rtuti v rybách  |
| Změna klimatu      | Sírany v aerosolu mohou krátkodobě vyrovnat globální oteplování, ale oxid dusný je účinný skleníkový plyn |
| Troposférický ozon | Emise oxidů dusíku přispívají k tvorbě ozonu  |

# Kritéria pro hodnocení účinků

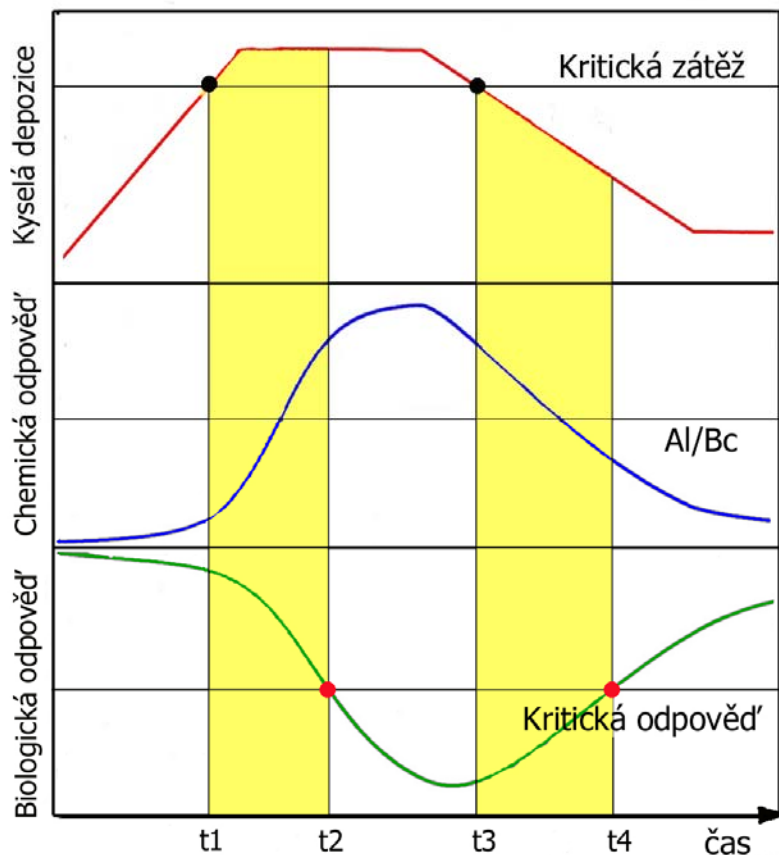
V druhé polovině 80. let byl v Norsku poprvé formulován koncept kritických zátěží okyselujících látek pocházejících z atmosféry, který byl formálně dopracován ve spolupráci s Evropskou hospodářskou komisí OSN v roce 1988.

**Kritická zátěž je nejvyšší dávka znečišťující látky, která ještě nezpůsobí chemické změny vedoucí k dlouhotrvajícím škodlivým účinkům na strukturu a funkci ekosystému.**

**Princip výpočtu** kritických zátěží síry a dusíku je založen na hmotové bilanci vodíkových iontů v lesních půdách za předpokladu ustáleného stavu chemických prvků (steady-state mass balance), které způsobují okyselování, a které vzniklé okyselení neutralizují.



**„Typická“ minulost a budoucnost vývoje působení kyselé atmosférické depozice síry a dusíku a odpovídající chemická a biologická „odpověď“ lesního ekosystému.**



Existuje **časové zpoždění** mezi překročením kritické zátěže atmosférickou depozicí a chemickou „odpovědí“ (např. změna poměru Al/BC v lesní půdě) a biologickou „odpovědí“ (např. poškozením stromů v lesním ekosystému).

**Kritická zátěž** je nejvyšší dávka znečišťující látky, která ještě nezpůsobí chemické změny, které by měly dlouhodobé škodlivé účinky na nejcitlivější ekosystémy.

# Opatření a legislativa

Koncept kritických úrovní a zátěží se stal základem pro mezinárodní program Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) **Mapování kritických zátěží**.

Cílem tohoto programu je na základě porovnání zmapovaných kritických zátěží vybraných sloučenin a zmapované atmosférické depozice vybraných sloučenin v Evropě stanovit úrovně snížení emisí látek znečišťujících ovzduší pro jednotlivé země, které jsou signatáři Úmluvy o dálkovém znečišťování ovzduší přecházejícím hranice států (CLRTAP).

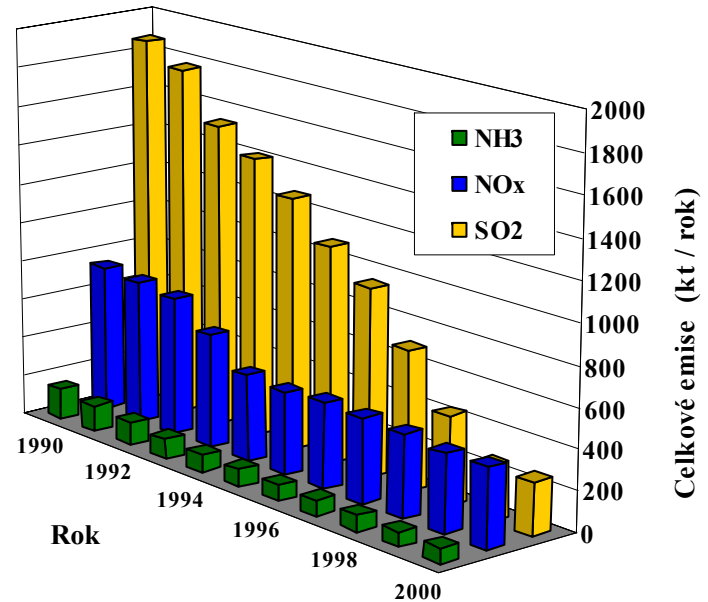
Úroveň redukce emisí je administrativně upravována protokoly. Dosud přijaté protokoly se týkají monitorování emisí, omezení emisí oxidů síry, oxidů dusíku, emisí těkavých látek, těžkých kovů a perzistentních organických látek.

Podle **Protokolu o omezení acidifikace, eutrofizace a přízemního ozonu** je komplexním způsobem hodnoceno působení imisních koncentrací a atmosférické depozice vybraných látek znečišťujících ovzduší na vegetaci a ekosystémy s ohledem na kritické koncentrace a kritické zátěže.

**Celková emise oxidu siřičitého  
mezi roky 1990 a 2000  
poklesla z 1850 na 264 kt/rok  
(tj. o 86 %).**

**Celková emise oxidů dusíku  
mezi roky 1990 a 2000  
poklesla z 551 na 321 kt/rok  
(tj. o 42 %).**

**Celková emise amoniaku  
mezi roky 1990 a 2000  
poklesla ze 156 na 74 kt/rok  
(tj. o 53 %).**



**V České republice byly mezi lety 1990 a 2000 sníženy emise oxidu siřičitého a amoniaku pod úroveň emisních stropů pro rok 2010. Emisní strop pro emise oxidů dusíku je zatím překračován.**

# Imisní koncentrace a depoziční tok přízemního ozonu

V souladu s požadavky zvláštní skupiny pro mapování ustanovené Výkonným orgánem Úmluvy CLRTAP při EHK OSN jsou používány dva stupně vyhodnocení vlivu ozonu na ekosystémy a vegetaci:

## I. stupeň vyhodnocení

**Expoziční index AOT 40**  
pro ozon: Suma diferencí mezi hod. koncentracemi ozonu v ppb a 40 ppb pro každou denní hodinu v období duben až září, kdy koncentrace překročí hodnotu 40 ppb.

Kritická úroveň  
pro vegetaci:  
10000 ppbh

## II. stupeň vyhodnocení

**Depoziční tok ozonu**  
Metodika je založena na hodnocení příjmu ozonu vegetačním povrchem. Působení ozonu je více vztaženo k absorbovaným dávkám.

\* Kritický práh  
pro buk lesní  
0,07  $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$

\* arbitrárně stanovený kritický práh pro depoziční tok přízemního ozonu

**MPOC – maximální přípustná koncentrace ozonu pro lesní ekosystémy**

Průměrná koncentrace ve vegetačním období (duben až září):

50  $\mu\text{g m}^{-3}$  až 86  $\mu\text{g m}^{-3}$   
(dostatečná ochrana)

86  $\mu\text{g m}^{-3}$  až 148  $\mu\text{g m}^{-3}$   
(potenciální riziko)

## Kritické zátěže těžkých kovů

Jeden z moderních přístupů v hodnocení přípustné zátěže půd těžkými kovy představují **kritické zátěže těžkých kovů**, které jsou definovány jako maximální přípustná zátěž, která nevyvolává žádná ekologická rizika, a to jak s ohledem na lidské zdraví (rostlinná produkce, pitné vody), tak i na ekosystémy (mikroorganismy, vegetace, povrchové a podzemní vody).

Zdrojem těžkých kovů v půdách není pouze zemědělství, ale významnou měrou se na kontaminaci půd a životního prostředí rovněž podílí atmosférická depozice.

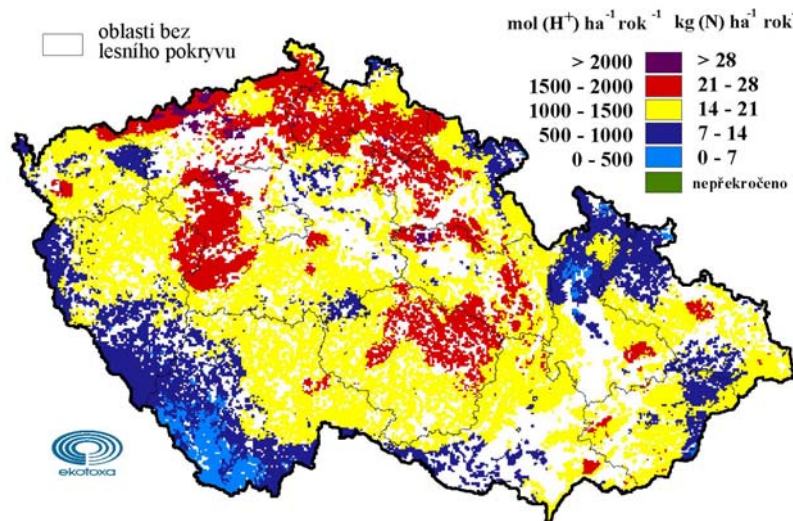
### **Jsou rozvíjeny dvě metodiky výpočtu kritických zátěží těžkých kovů**

Stacionární modely jsou založeny na aktuální hmotové bilanci polutantů v daném ekosystému. Tyto modely nezohledňují minulý a budoucí vývoj této bilance v čase. Výhodou těchto modelů je však jednoduchost a skutečnost, že vycházejí z konkrétních naměřených veličin.

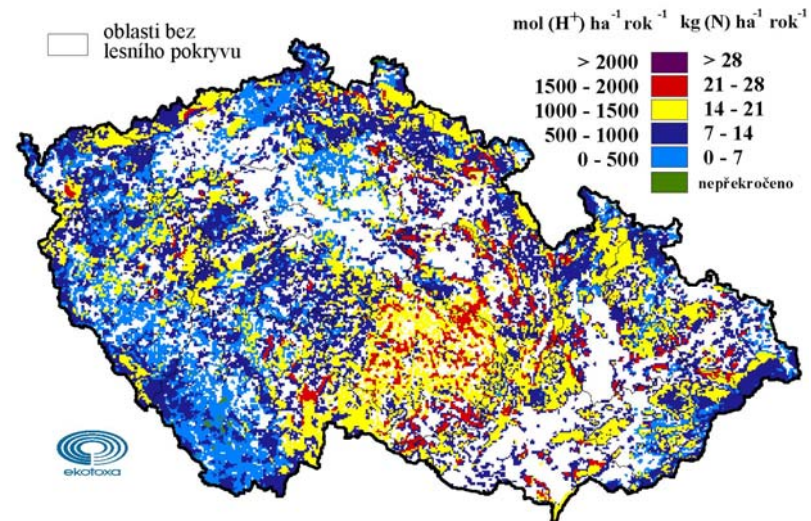
Dynamické modely zohledňují přírodní a antropogenní procesy, které na hmotovou bilanci polutantů v ekosystému působí. V těchto modelech jde o kombinaci hmotové bilance a kinetiky procesů. V úvahu jsou brány nejvýznamnější procesy rizikových prvků v půdách.

# Hodnocení účinnosti opatření – kritické zátěže dusíku

Překročení kritických zátěží nutričního dusíku celkovou depozicí dusíku v mol ( $H^+$ )  $ha^{-1} rok^{-1}$  (v kg (N)  $ha^{-1} rok^{-1}$ ) v síti 1x1 km na území České republiky pro lesní ekosystémy v letech 1994 a 2000.



1994



2000

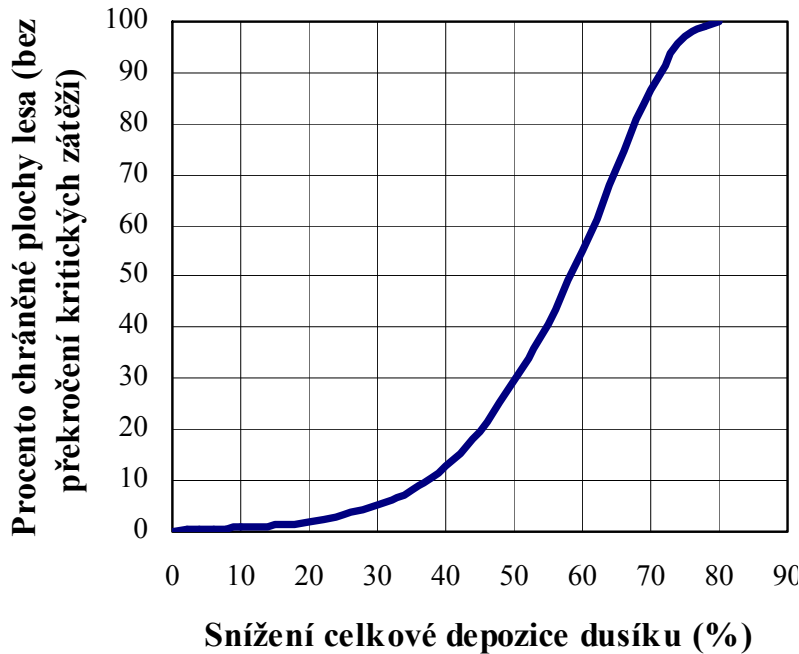
celková depozice dusíku ( $NO_y + NH_x$ )  
překračovala kritické zátěže nutričního dusíku

- v roce 1994 na celé ploše lesních ekosystémů (tj. 2 631 000 ha lesa)
- v roce 2000 na 99 % plochy lesních ekosystémů (cca 2 611 000 ha lesa).

# Predikce podílu chráněné plochy lesa (%) při snížení celkové depozice dusíku o 50% (vzhledem k roku 2000).

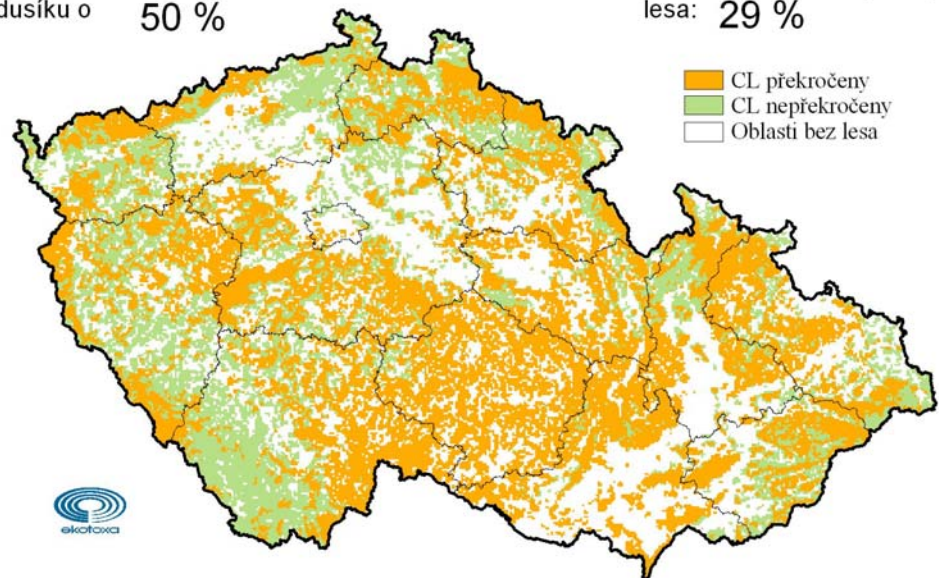
**Snížení celkové depozice dusíku o 50% chrání 29 % plochy lesa.**

**Chráněná plocha lesa označuje území lesních ekosystémů, na němž celková depozice dusíku (NO<sub>y</sub>+NH<sub>x</sub>) nepřekračuje kritické zátěže nutričního dusíku.**



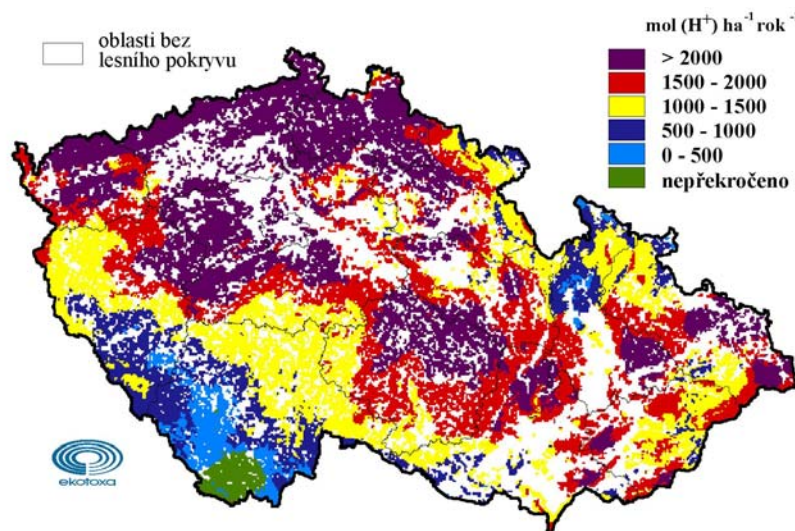
Snížení celkové depozice dusíku o 50 %

Procento chráněné plochy lesa: 29 %

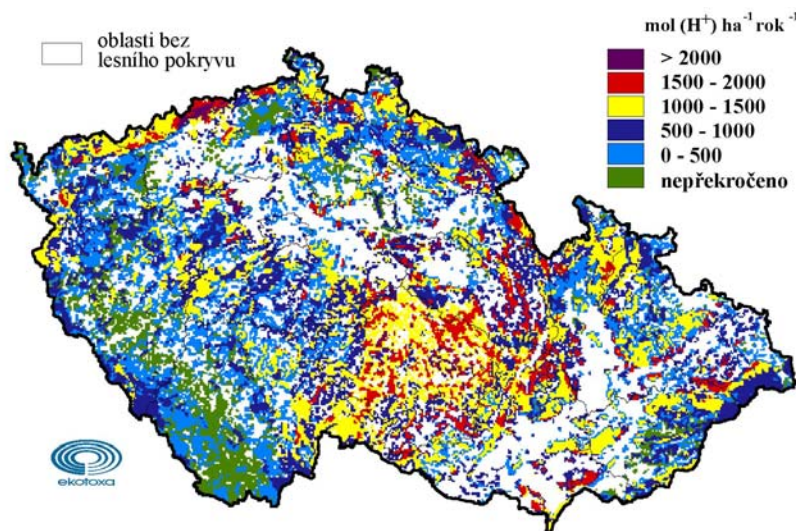


## Hodnocení účinnosti opatření – kritické zátěže síry a dusíku

Překročení kritických zátěží acidity celkovou potenciální kyselou depozicí v mol ( $H^+$ )  $ha^{-1}$  rok $^{-1}$  v síti 1x1 km na území České republiky pro lesní ekosystémy v letech 1994 a 2000.



1994



2000

### **celková potenciální kyselá depozice**

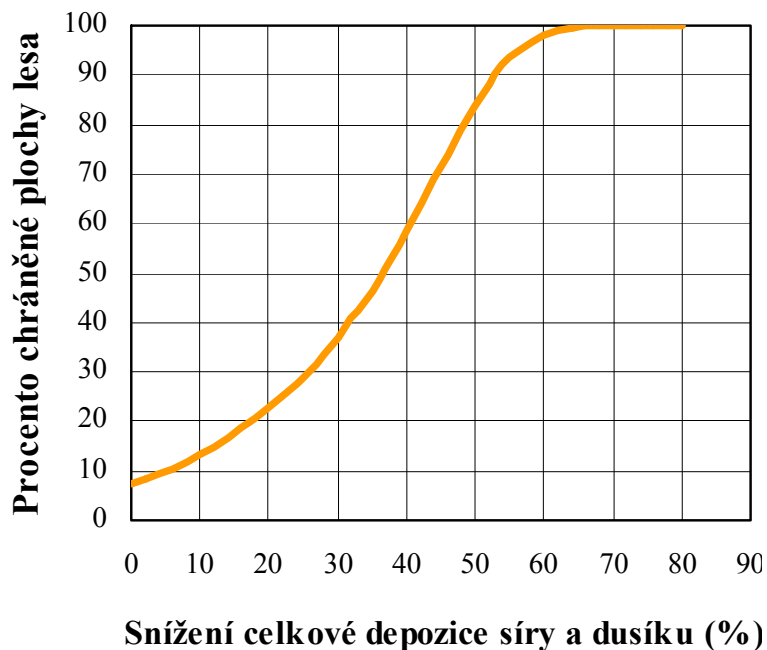
překračovala kritické zátěže síry a dusíku

- v roce 1994 na 98,5 % plochy lesních ekosystémů (cca 2 590 609 ha lesa)
- v roce 2000 na 90 % plochy lesních ekosystémů (cca 2 373 000 ha lesa).



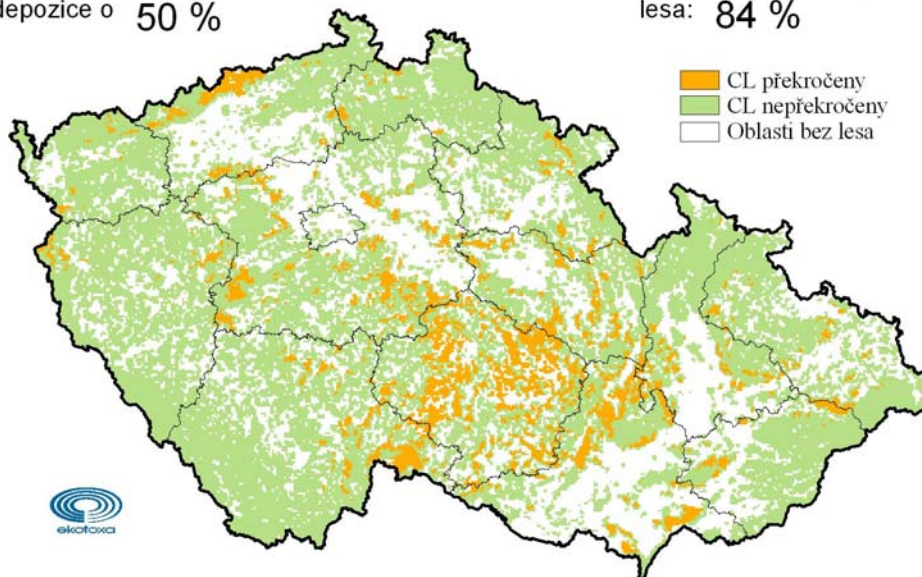
## Predikce podílu chráněné plochy lesa (%) při snížení celkové potenciální kyselé depozice o 50 % (vzhledem k roku 2000).

**Snížení celkové potenciální kyselé depozice o 50 % chrání 84 % plochy lesa. Chráněná plocha lesa označuje území lesních ekosystémů, na němž celková potenciální kyselá depozice nepřekračuje kritické zátěže acidity.**



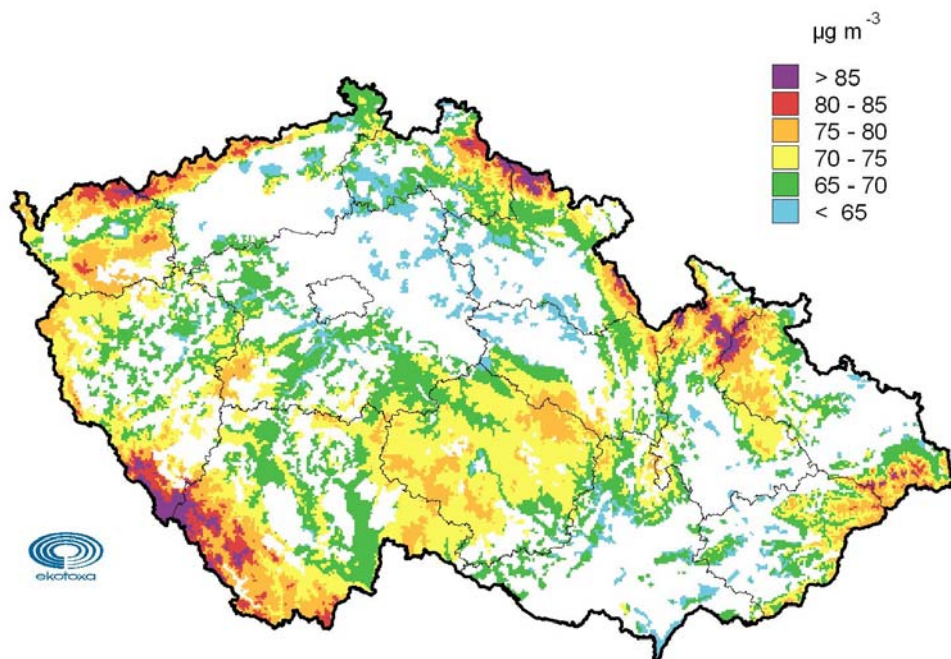
Snížení celkové potenciální kyselé depozice o 50 %

Procento chráněné plochy lesa: 84 %



# Hodnocení účinnosti opatření - koncentrace přízemního ozonu

Průměrná imisní koncentrace přízemního ozonu v lesních ekosystémech ČR v síti 1x1 km v průběhu vegetačního období (duben-září) 2001.



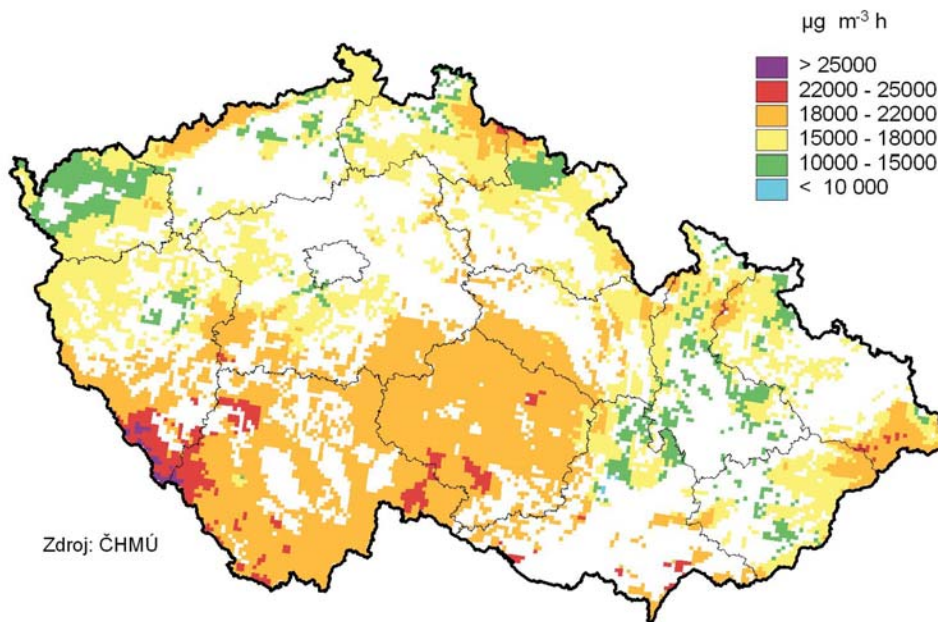
Průměrné imisní koncentrace přízemního ozonu byly porovnány s MPOC (Maximální přípustná koncentrace ozonu).

Podle uvedené metodologie je před účinky přízemního ozonu chráněno 97.5% území lesních ekosystémů (50 µg m<sup>-3</sup> až 86 µg m<sup>-3</sup>).

Ekosystémy s potenciálním ohrožením je možno identifikovat na 2.5% území lesních ekosystémů (86 µg m<sup>-3</sup> až 148 µg m<sup>-3</sup>).

## Hodnocení účinnosti opatření – expoziční index AOT40

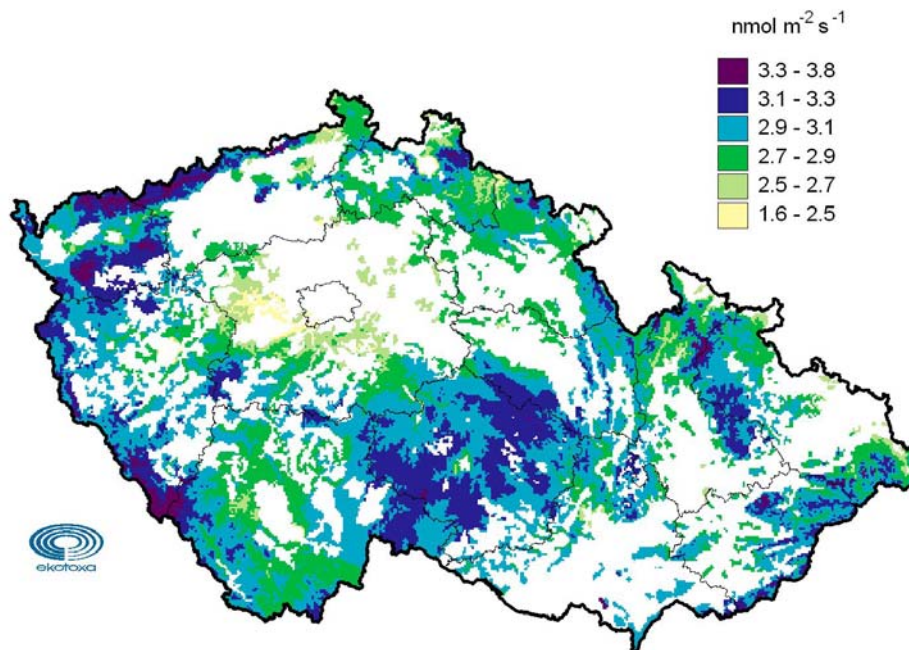
Expoziční index AOT40 pro ozon na území lesní ekosystémů ČR v průběhu vegetačního období (duben-září) 2001 (zdroj ČHMÚ).



**Kritický práh pro lesní ekosystémy (expoziční index AOT40 v hodnotě 10 000 ppbh) je překračován na většině území lesních ekosystémů České republiky.**

## Hodnocení účinnosti opatření - depoziční tok přízemního ozonu

Průměrný depoziční tok přízemního ozonu v lesních ekosystémech ČR v průběhu vegetačního období (duben-září) 2001.



**Modelované hodnoty depozičního toku přízemního ozonu se pohybují v rozmezí od 1.9 do 3.7  $\text{nmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , přičemž vyšší hodnoty je možno lokalizovat v horských oblastech.**

## Hodnocení účinnosti opatření - kritické zátěže těžkých kovů

Z výsledků modelování kritických zátěží těžkých kovů na území České republiky vyplývá, že na zemědělské půdě dochází k vyššímu překročení kritických zátěží **kadmia, mědi a zinku** než na půdě lesní.

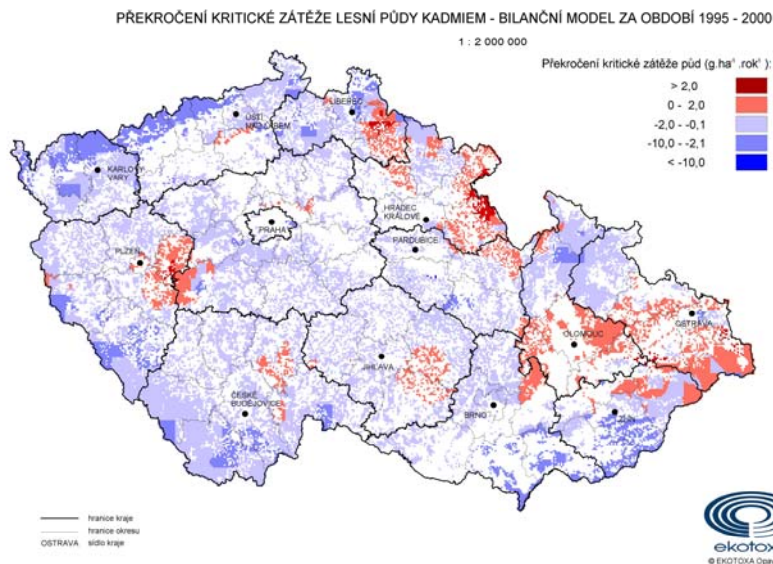
Na tomto překročení se plošně podílejí zemědělské vstupy hnojivy, lokálně pak zemědělské vstupy aplikací kalů ČOV a regionálně zvýšená atmosférická depozice.

Atmosférická depozice těžkých kovů je dominantním vstupem na lesní půdě. Nižší překročení kritických zátěží na lesní půdě lze vysvětlit zvýšeným odtokem a jeho příjmem biomasou za současné absence zemědělských vstupů. V případě **olova** naopak lesní půda vykazuje vyšší úroveň překročení kritické zátěže než zemědělská půda.

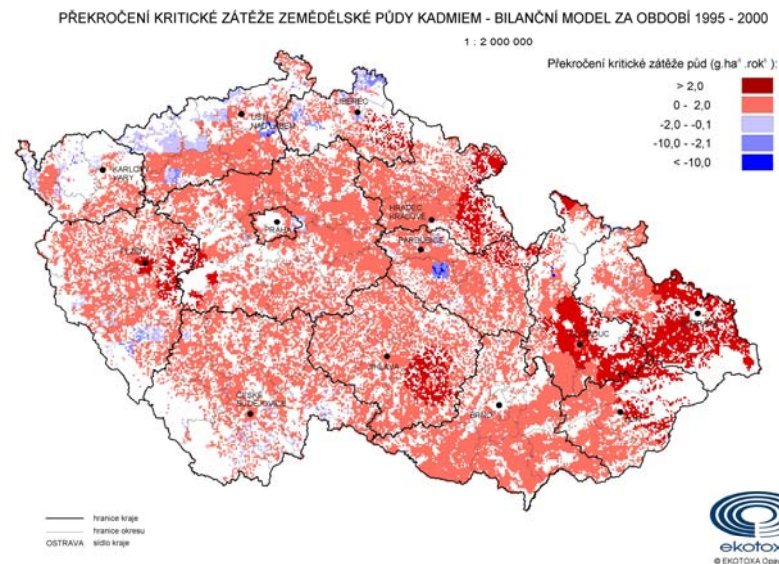
# Překročení kritických zátěží těžkých kovů

Překročení kritických zátěží **kadmiem** na lesních a zemědělských půdách České republiky za období let 1995 až 2000

## lesní půda



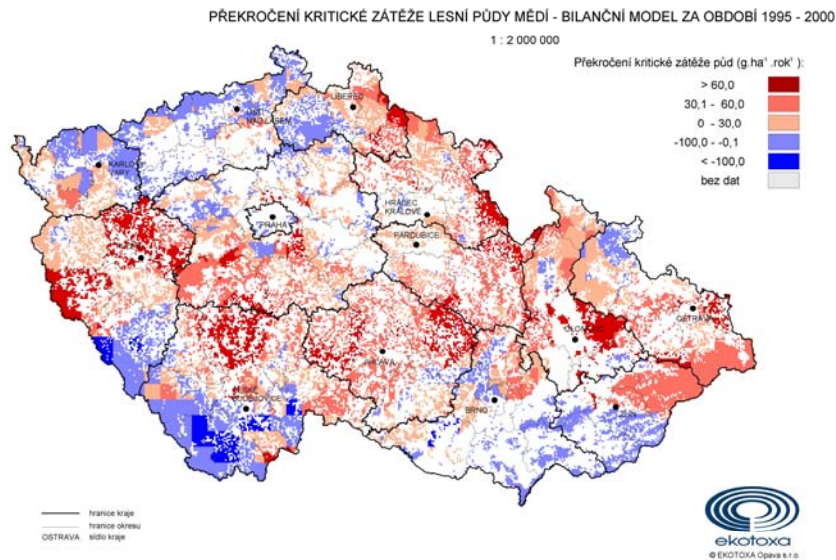
## zemědělská půda



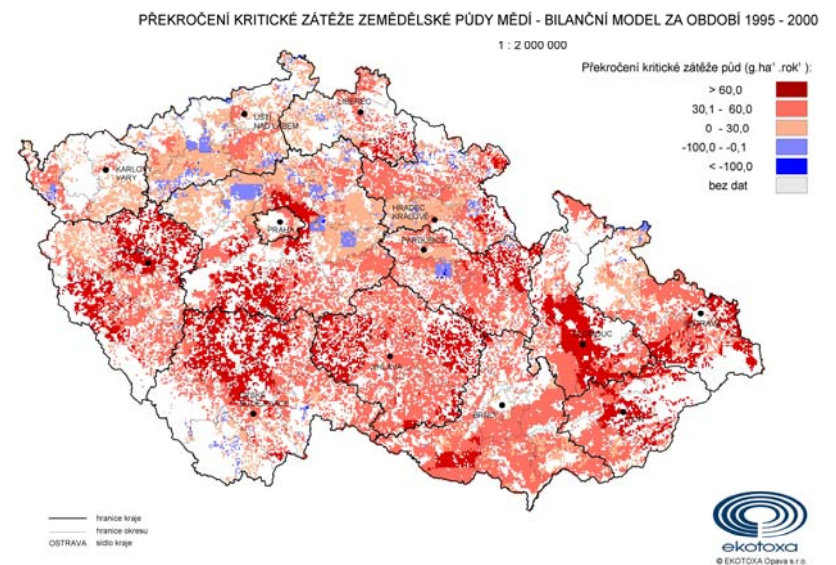
# Překročení kritických zátěží těžkých kovů

Překročení kritických zátěží **mědi** na lesních a zemědělských půdách České republiky za období let 1995 až 2000

## lesní půda



## zemědělská půda

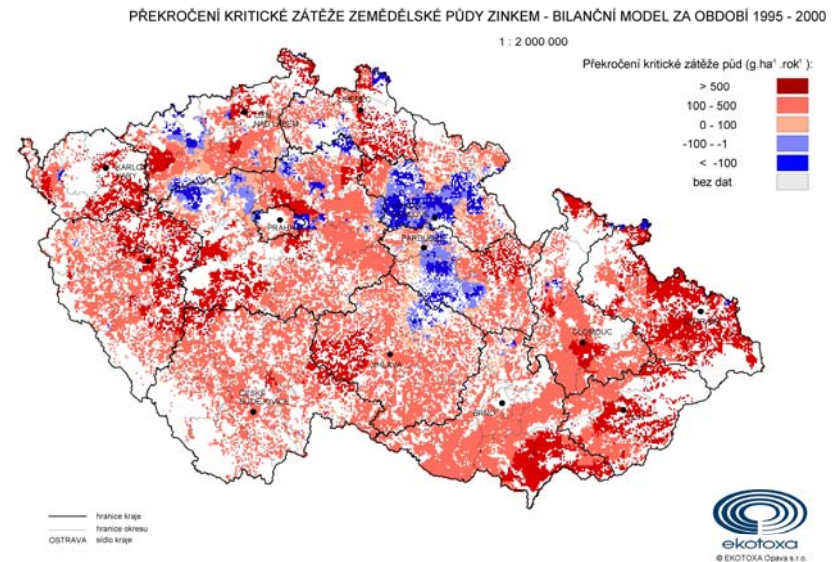
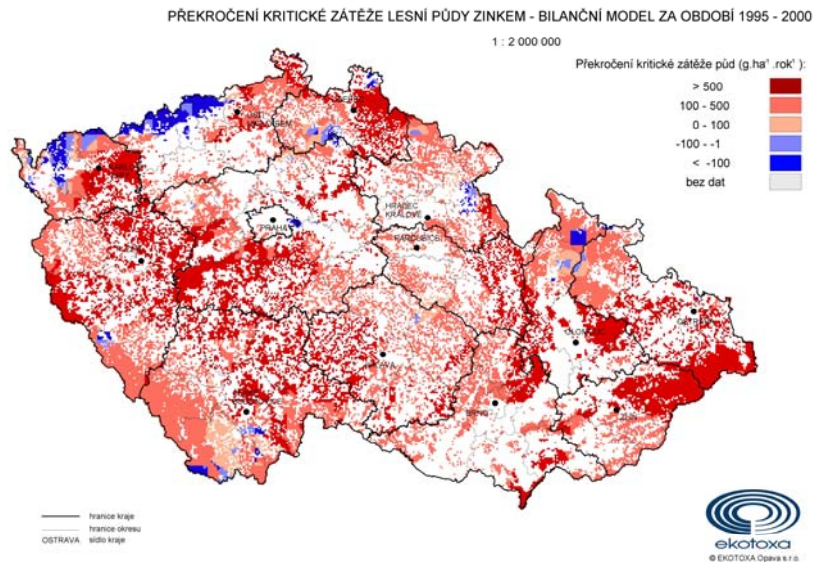


# Překročení kritických zátěží těžkých kovů

Překročení kritických zátěží **zinkem** na lesních a zemědělských půdách České republiky za období let 1995 až 2000

## lesní půda

## zemědělská půda

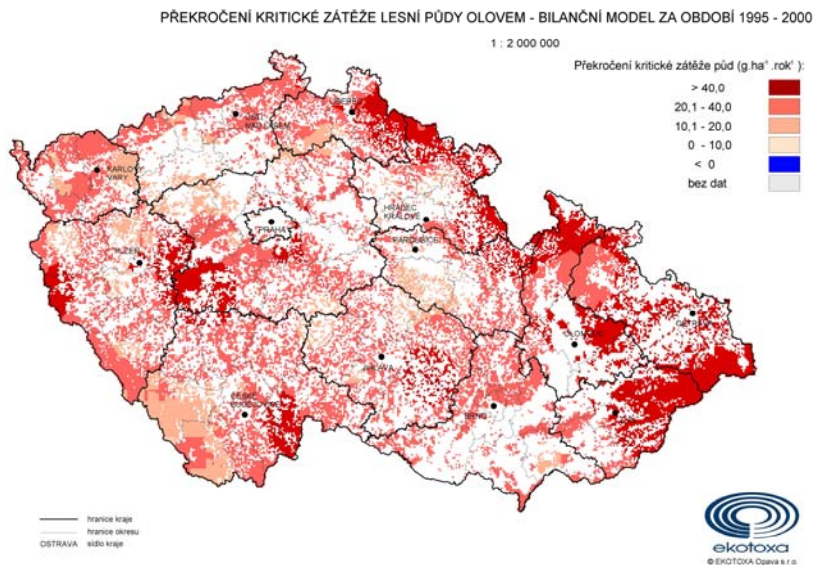




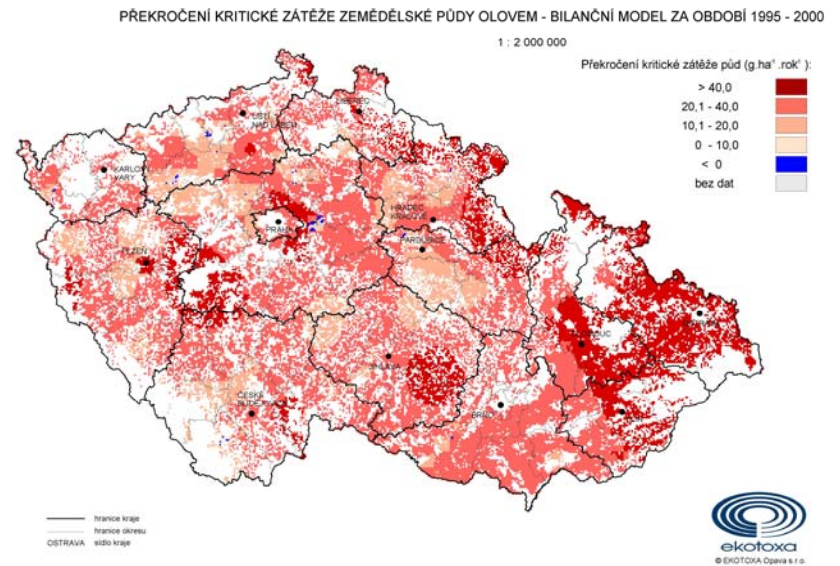
# Překročení kritických zátěží těžkých kovů

Překročení kritických zátěží **olovem** na lesních a zemědělských půdách České republiky za období let 1995 až 2000

## lesní půda



## zemědělská půda



## **Aplikace metod EHK OSN při hodnocení stavu životního prostředí**

Tyto metody jsou aplikovatelné v oblastech se zájmem o danou problematiku (kraje, regiony, mikroregiony, obce s rozšířenou působností, obce s pověřeným obecním úřadem atd.) např. pro:

- **hodnocení vlivu snižování emisí látek znečišťujících ovzduší na aktuální stav ekosystémů**
- **stanovení trendu zdravotního stavu ekosystémů (zlepšení, zhoršení)**
- **určování oblastí s celkovým zlepšením, respektive zhoršením stavu ekosystémů**
- **vyhodnocení trendu vývoje atmosférické depozice látek znečišťujících ovzduší s možností predikce podílu plochy ekosystémů s překročením kritických zátěží při snížení atmosférické depozice v různých časových horizontech v detailním prostorovém měřítku dle volby, například v pravidelné síti čtverců 1x1 km.**