

METODIKA HODNOCENÍ ATMOSFÉRICKÉ DEPOZICE ACIDIFIKAČNÍCH LÁTEK

Ing. Miloš Zapletal, Dr.

Cílem přednášky je popis metodiky hodnocení složitého komplexního procesu, který vzniká ve středoevropských zeměpisných podmínkách především v důsledku antropogenních aktivit a vede k řadě nepříznivých účinků na životní prostředí.

OBSAH PŘEDNÁŠKY

- **Úvod do problematiky hodnocení atmosférické depozice acidifikačních látek**
- **Stručná historie výzkumu atmosférické depozice acidifikačních látek**
- **Procesy suché a mokré depozice acidifikačních látek**
- **Metodika měření a výpočtu celkové potenciální kyselé depozice**
- **Hodnocení vývoje atmosférické depozice acidifikačních látek v ČR**
- **Závěr**
- **Literatura**

ÚVOD DO PROBLEMATIKY HODNOCENÍ ATMOSFÉRICKÉ DEPOZICE ACIDIFIKAČNÍCH LÁTEK

Termín kyselá atmosférická depozice v sobě zahrnuje celý okruh fyzikálních, chemických a biologických procesů spojených s problematikou acidifikace (okyselování) životního prostředí.

Od druhé poloviny 20. století v některých oblastech Evropy a Severní Ameriky dlouhodobě pozorujeme zvýšené koncentrace látek znečišťujících ovzduší, které způsobují a urychlují acidifikaci životního prostředí (*Driscoll et al., 2001; Erisman, Draaijers, 1995*).

Hodnoty pH kyselého deště v průmyslových oblastech světa se pohybují v rozpětí od 4.0 ve střední Evropě a Severní Americe do 6.3 v Indii a Austrálii (*Sisteron et al., 1989*).

Rozložení pH dešťových srážek ve světě (Podle: Erisman, Draaijers, 1995)

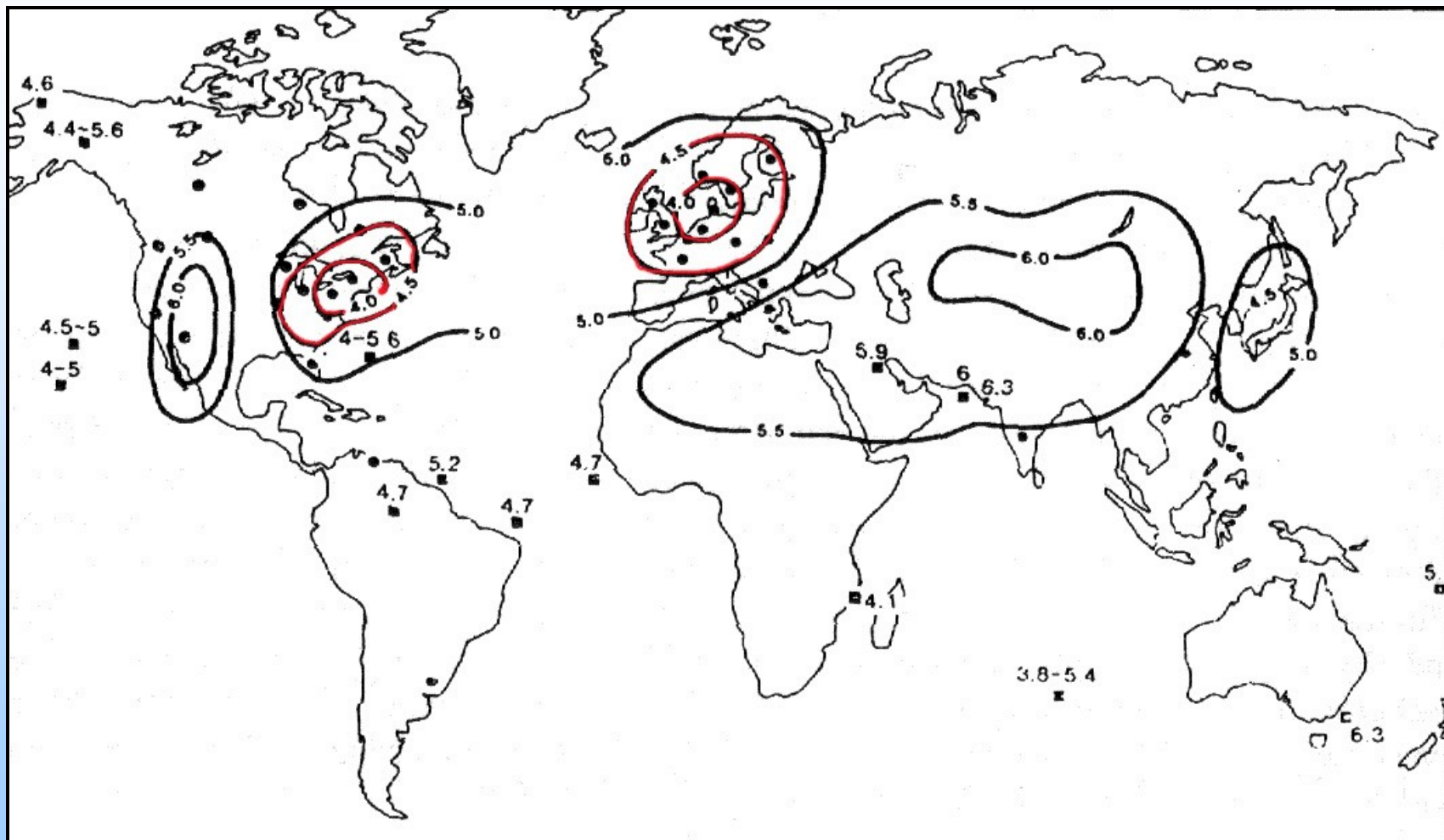
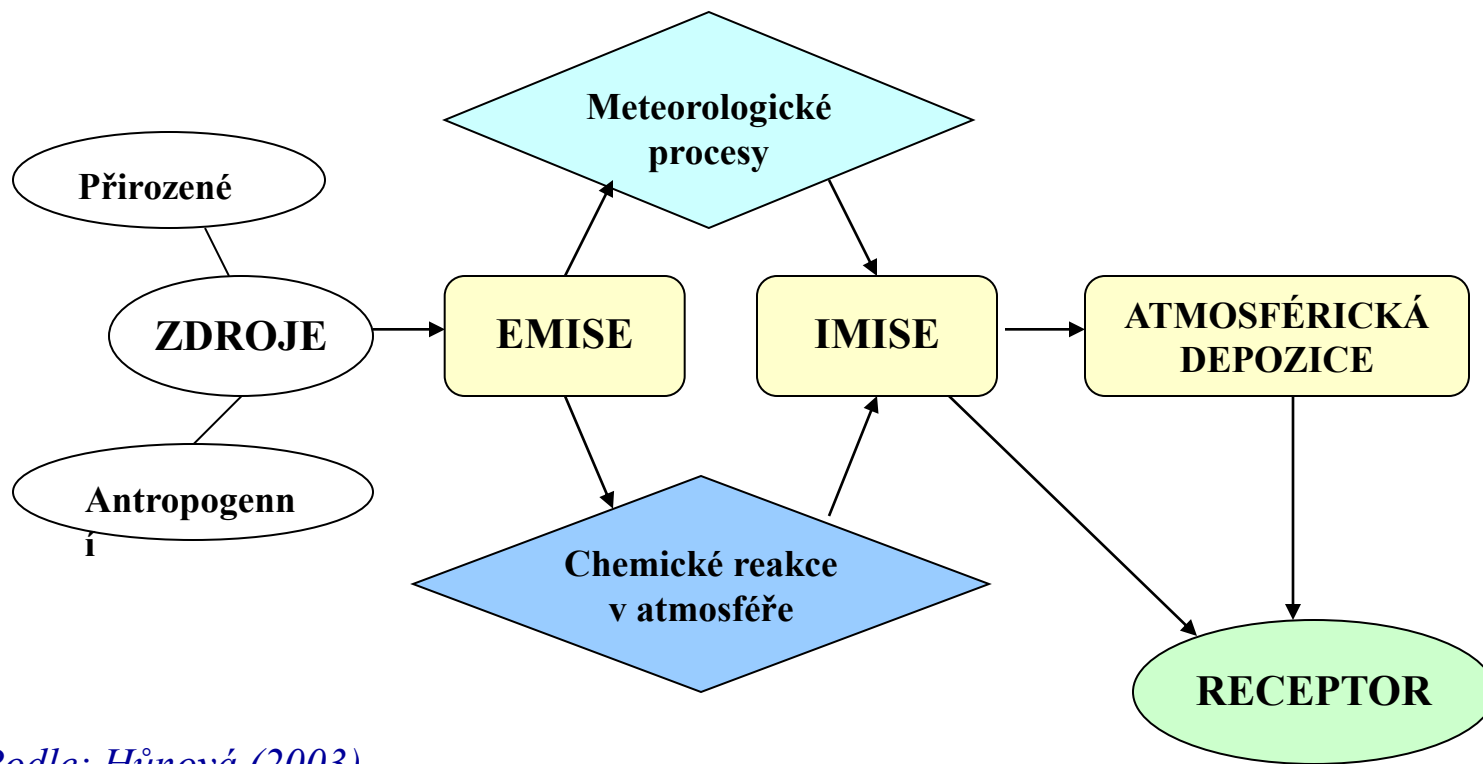
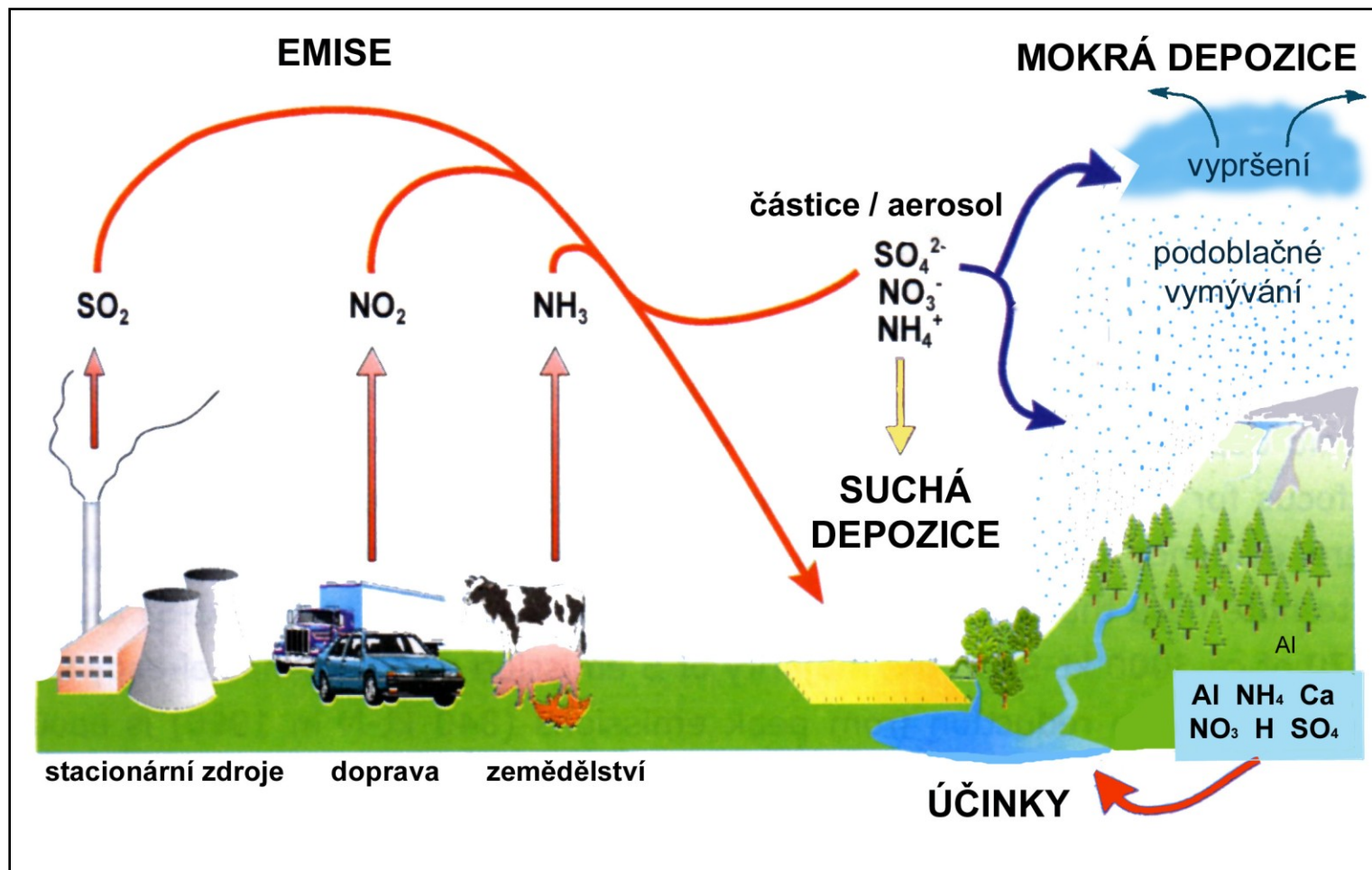


Schéma procesů, kterým podléhají znečišťující látky v ovzduší



Podle: Hůnová (2003)

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

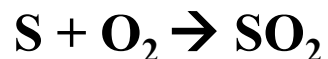


Podle: NEGTA (2001), Driscoll et al. (2001)

Důležité chemické reakce vedoucí ke vzniku acidifikačních látek

Síra (podle Warfvinge, Sverdrup, 1995)

Spalování



Atmosférická oxidace

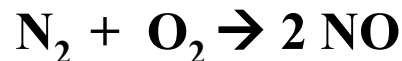


Rozpouštění v kapičkách

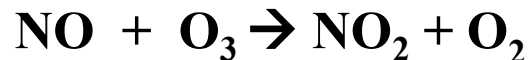


Oxidovaný dusík (podle Warfvinge, Sverdrup, 1995)

Spalování



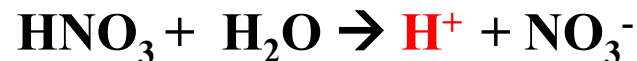
Oxidace I



Oxidace II



Rozpouštění v kapičkách



Redukovaný dusík (podle Van Breemen et al., 1982)

Nitrifikace v půdě



Účinky depozice acidifikačních látek v životním prostředí

Kyselá depozice, na níž se značnou měrou podílí antropogenní emise SO_2 , NO_x a NH_3 , poškozují citlivé sladkovodní ekosystémy, lesy, půdy, přirozené ekosystémy (*EEA, 1998*) a materiály (kulturní a historické památky) (*UBA, 1996*).

Účinky se projevují mnoha způsoby (*Warfvinge, Sverdrup, 1995*) 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 (*Driscoll et al., 2001*) :
 - snížením pH
 - poklesem kyselé neutralizační kapacity
 - nárůstem koncentrace hliníku
 - redukcí diverzity a hojnosti vodních organismů v jezerech, řekách a potocích

Zhoršení zdravotního stavu lesů ve střední Evropě, zejména v České republice, Polsku, Slovenské republice a v Německu bylo pozorováno již v šedesátých letech 20. století a bylo původně způsobeno přímými účinky průmyslových emisí (*Materna et al., 1969; Materna, 1985; Materna, Mejstřík, 1987*).

K tomu se v následujících desetiletích přidaly nebo zesílily další stresující vlivy, jako acidifikace půd, saturace N, zvýšené koncentrace fotochemických znečišťujících příměsí, klimatické změny, zvýšená frekvence ataků škůdců a nesprávné postupy pěstování lesa (*EEA, 1998*).

V důsledku kombinace působení výše uvedených faktorů se zdravotní stav lesů postupně zhoršoval (*EEA, 1998*).

Vztah emisí oxidu siřičitého a oxidů dusíku k jiným environmetálním problémům

Důsledek	Vztah k emisím	Literární odkaz
Eutrofizace půd	Depozice dusíku obohacuje dusíkem půdu (změny živinových poměrů v půdě, úbytek organismů atd.)	<i>Warfvinge, Sverdrup, 1995</i>
Eutrofizace vod	Depozice dusíku obohacuje dusíkem povrchové vody	<i>Jaworski et al., 1997</i> <i>Henriksen et al., 1998</i>
Rtuť	Acidifikace vodního povrchu zvyšuje akumulaci rtuti v rybách	<i>Driscoll et al., 1994</i>
Změna klimatu	Sírany v aerosolu mohou krátkodobě vyrovnat globální oteplování, ale oxid dusný je účinný skleníkový plyn	<i>Moore et al., 1997</i>
Troposférický ozon	Emise oxidů dusíku přispívají k tvorbě ozonu	<i>NEGTA, 2001</i>

STRUČNÁ HISTORIE VÝZKUMU ATMOSFÉRICKÉ DEPOZICE ACIDIFIKAČNÍCH LÁTEK

Na důležitost acidifikace prostředí upozornil již v 19. století Angličan Smith (*Smith, 1872*). Negativní působení oxidu siřičitého na vegetaci a půdu v blízkosti měst uvádí *Tiegs (1927)*.

Vědecký výzkum acidifikace řek a jezer začíná po roce 1920 (*Eriksson, 1954; Rossby, Egnér, 1955*).

Výrazný zájem o tuto problematiku se objevuje ve Skandinávii v šedesátých letech 20. století, kdy začalo sladkovodní okyselování a redukce populací ryb v oblastech s nízkou neutralizační kapacitou (*Odén, 1967*). Okyselování Skandinávských jezer bylo demonstrováno jako výsledek dálkového přenosu sloučenin síry a dusíku (*Brydges, Wilson, 1991*).

Souvislost mezi zvyšující se aciditou srážkových vod a emisemi SO₂ uvádí např. *Odén (1968) a Bolin (1972)*.

Souvislost mezi poškozováním lesních porostů a kyselou atmosférickou depozicí v USA uvádí např. *Binkley et al. (1989)*, v Evropě např. *Brydges, Wilson (1991), Sverdrup, Warfvinge (1993), Warfvinge, Sverdrup (1995)*.

Hodnocení atmosférické depozice acidifikačních látek v Československu je uváděno např. v pracích *Moldana (1980, 1991, 1992)*, *Šantrocha, Cerovského (1987)*, *Honzáka (1989)*, *Závodského (1985) a Závodského, Pukančíkové (1989)*.

Měření, modelování a hodnocení suché, mokré a celkové depozice acidifikačních látek v České republice je uváděno např. v práci *Šantrocha (1993, 1993a, 1994) a Zapletalová (1994, 1995, 1997, 1998, 2001)*.

Problematikou acidifikace malých povodí a půdy a s tím související problematikou kritických zátěží síry a dusíku na území České republiky se zabývají například práce *Pačese (1985, 1986, 1991, 1992)*, *Moldana a Černého (1994) a Skořepové et al. (2001)*.

Ve Slovenské republice jsou průmyslové imise znečišťujících látek významným faktorem zátěže krajiny, půdních zdrojů, vodních zdrojů, lesních zdrojů a městské zeleně (*Izakovičová, Miklós, Drdoš, 1997*).

K pochopení fungování krajiny, půdních zdrojů, lesních ekosystémů a městské zeleně ve Slovenské republice, které jsou vystaveny působení různých stresových faktorů včetně acidifikačních látek, přispěla celá řada slovenských autorů, např. *Ružička, Miklós (1990), Ružička (1996), Midriak (1993, 1994, 1994a, 1995), Drdoš (1996), Kontrišová et al. (1995), Supuka (2002), Stolina (2000), Samešová, Ladomerský (2003)*.

Hodnocením depozice síry a dusíku v lesních ekosystémech na Slovensku se zabývají např. práce *Bublince (1990), Bublince, Dubové (1989,1993,1998), Škvareniny (1990, 1993), Mind'áše, Škvareniny (1995)*.

Překročení kritické zátěže síry a dusíku atmosférickou depozicí síry a dusíku na Slovensku je uvedeno v pracích *Závodského et al. (1996), Závodského, Punkačikové, Mind'áše, Škvareniny (1999)*.

Česká republika (*Skořepová et al., 2003*) a Slovenská republika (*Závodský et al., 2003*) jsou aktivně zapojeny do Mezinárodního programu mapování kritických zátěží v Evropě, který probíhá v rámci Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (*Hettelingh et al., 1991*).

Jedním z cílů tohoto programu je na základě porovnání zmapované atmosférické depozice síry a dusíku a zmapovaných kritických zátěží síry a dusíku v Evropě stanovit úrovně snížení emisí sloučenin síry a dusíku do ovzduší pro jednotlivé země, které jsou signatáři Úmluvy o dálkovém znečištění ovzduší.

Použití konceptu kritických zátěží síry a dusíku vyžaduje znalost relevantních hodnot atmosférické depozice acidifikačních látek pro popis atmosférických vstupů těchto látek do půdy, lesního porostu a vody.

PROCESY SUCHÉ A MOKRÉ DEPOZICE ACIDIFIKAČNÍCH LÁTEK

Popis procesů suché depozice je diskutován v pracích *Thoma (1975)*, *Chamberlaina (1966)*, *Garlanda (1977)*, *Fowlera (1978)*, *Erismana (1992)*, *Erismana a Draaijse (1995)*. Popis procesů mokré depozice je diskutován v pracích *Moldana (1989, 1992)* a *Erismana a Draaijse (1995)*.

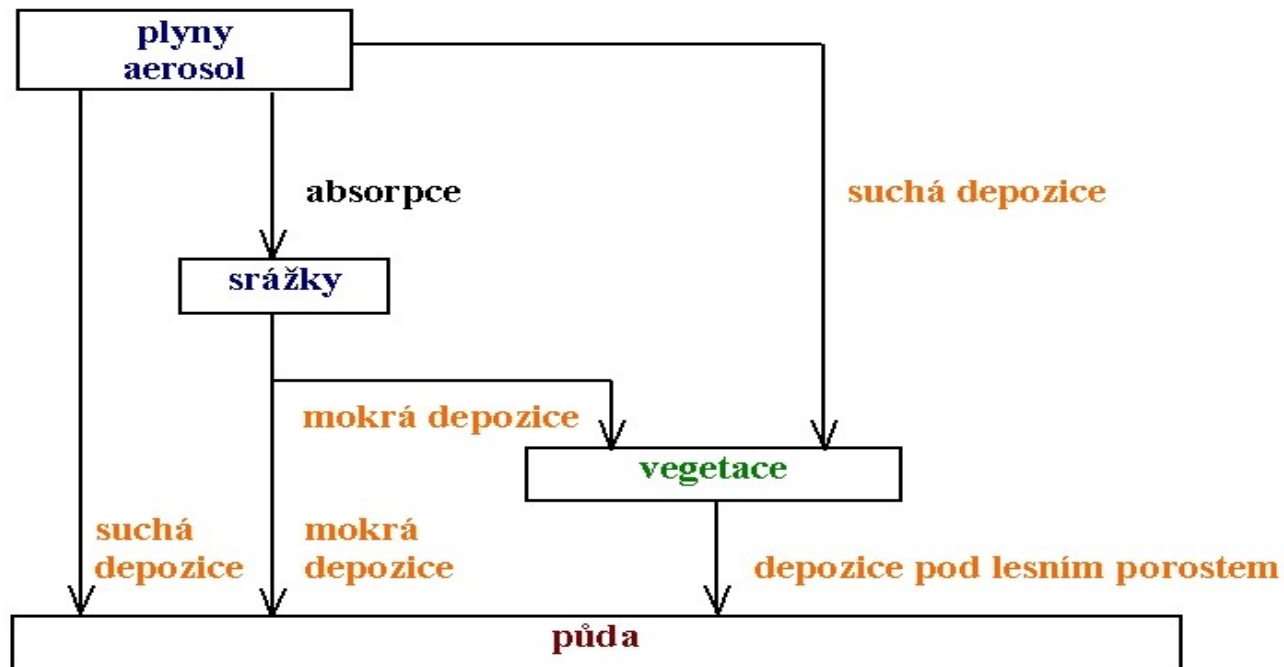
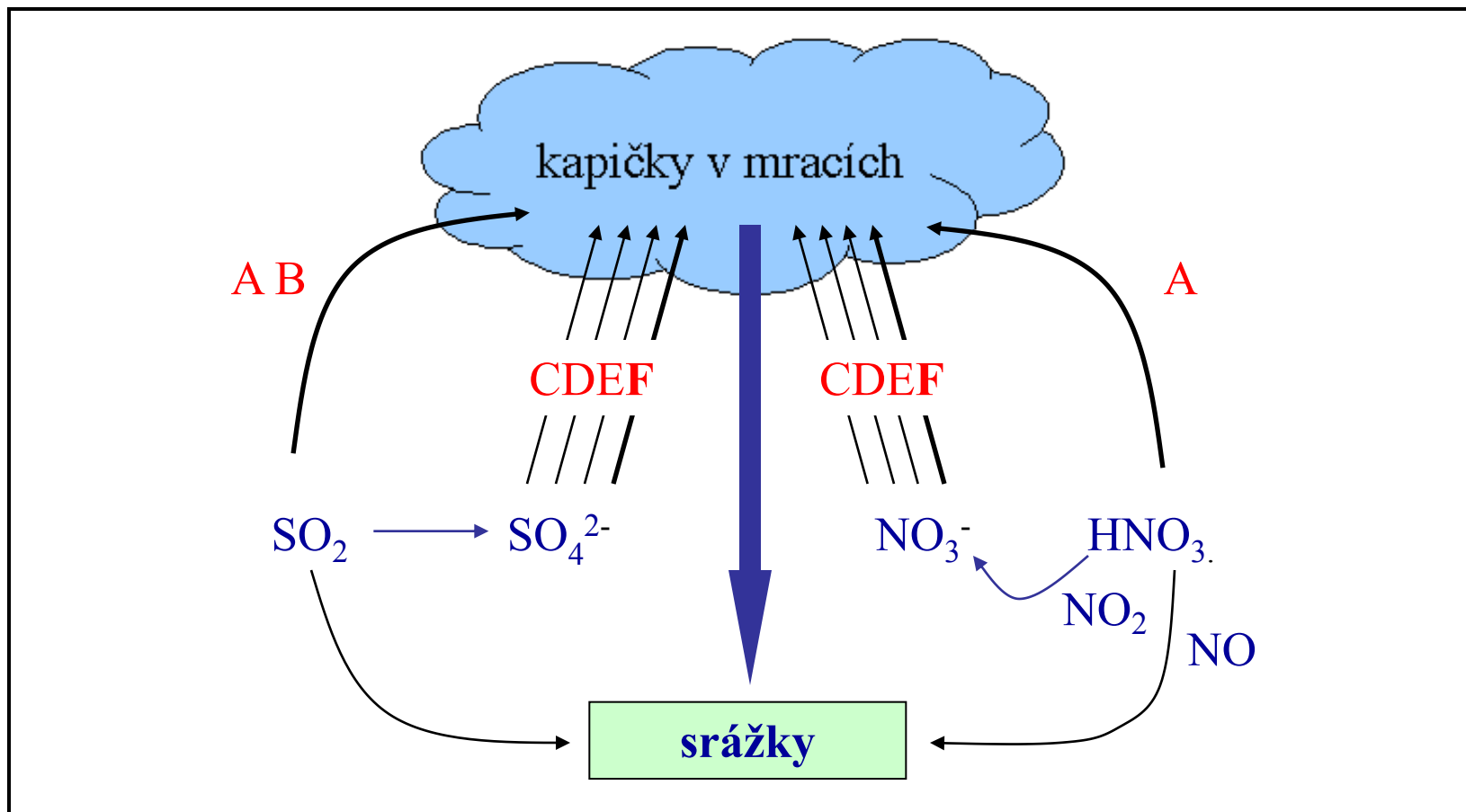


Schéma procesů depozice (Podle: *Erisman, 1992*).

Cesty a mechanismy přenosu acidifikačních látek ve srážkách



A-rozpuštění **B**-oxidace **C**-difuzoréza **D**-brownovská difuze **E**-impakce
F- kondenzace na kondenzačních jádrech uvnitř oblaků

podle: NEG TAP (2001)

METODIKA MĚŘENÍ A VÝPOČTU CELKOVÉ POTENCIÁLNÍ KYSELÉ DEPOZICE

Maximální množství kyselé depozice, zde nazývané celková potenciální kyselá depozice, je odhadováno takto (*Erisman, Leeuw, Aalst, 1989*):

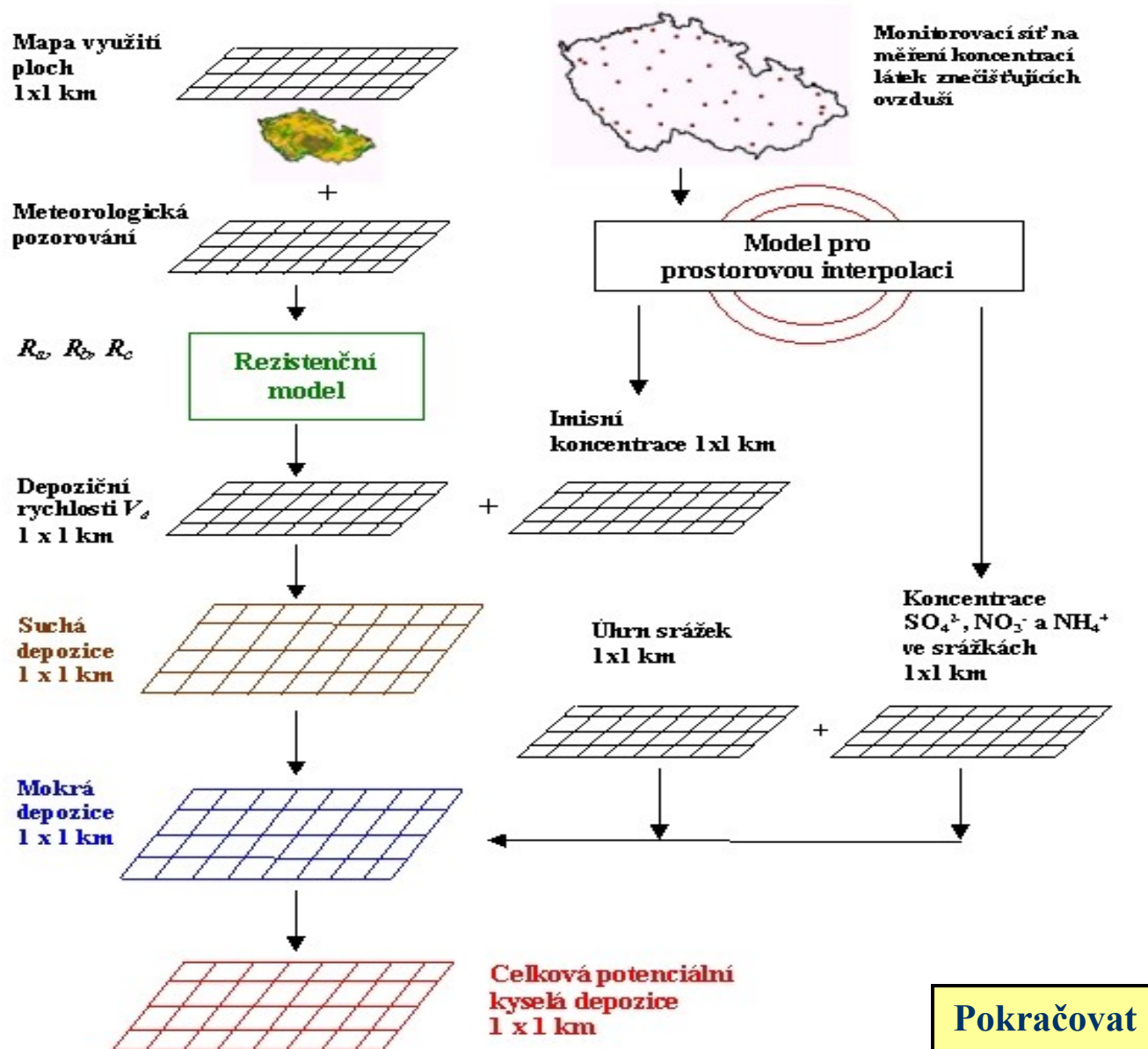
$$\textit{Celková potenciální kyselá depozice} = 2 SO_x + NO_y + NH_x$$

Celková depozice sloučenin síry SO_x = suchá depozice (SO_2) + suchá depozice síranů (SO_4^{2-}) + mokrá depozice síranů (SO_4^{2-})

Celková depozice oxidovaných sloučenin dusíku NO_y = suchá depozice oxidů dusíku (NO_x) + plynné depozice kyseliny dusičné (HNO_3) + suchá depozice dusičnanů (NO_3^-) + mokrá depozice dusičnanů (NO_3^-)

Celková depozice redukovaných sloučenin dusíku NH_x = suchá depozice amoniaku (NH_3) + suchá depozice amonných iontů (NH_4^+) + mokrá depozice amonných iontů (NH_4^+)

Výpočetní schéma pro výpočet celkové depozice



Měření a výpočet suché depozice

Suchá depozice plynů a aerosolových částic na povrch receptorů je určena na jedné straně jejich koncentrací v ovzduší a turbulentními přenosovými procesy v hraniční vrstvě atmosféry, na druhé straně jejich chemickými a fyzikálními vlastnostmi a schopností povrchu zachytit nebo absorbovat tyto plyny a částice.

Přímé měření nebo monitorování je velmi obtížné. K odhadu suché depozice plynů může být použita metoda, která odvozuje depoziční tok F z naměřených imisních koncentrací jednotlivých složek v ovzduší $C(z)$ (ve výšce z nad povrchem) a z jejich depozičních rychlostí V_d .

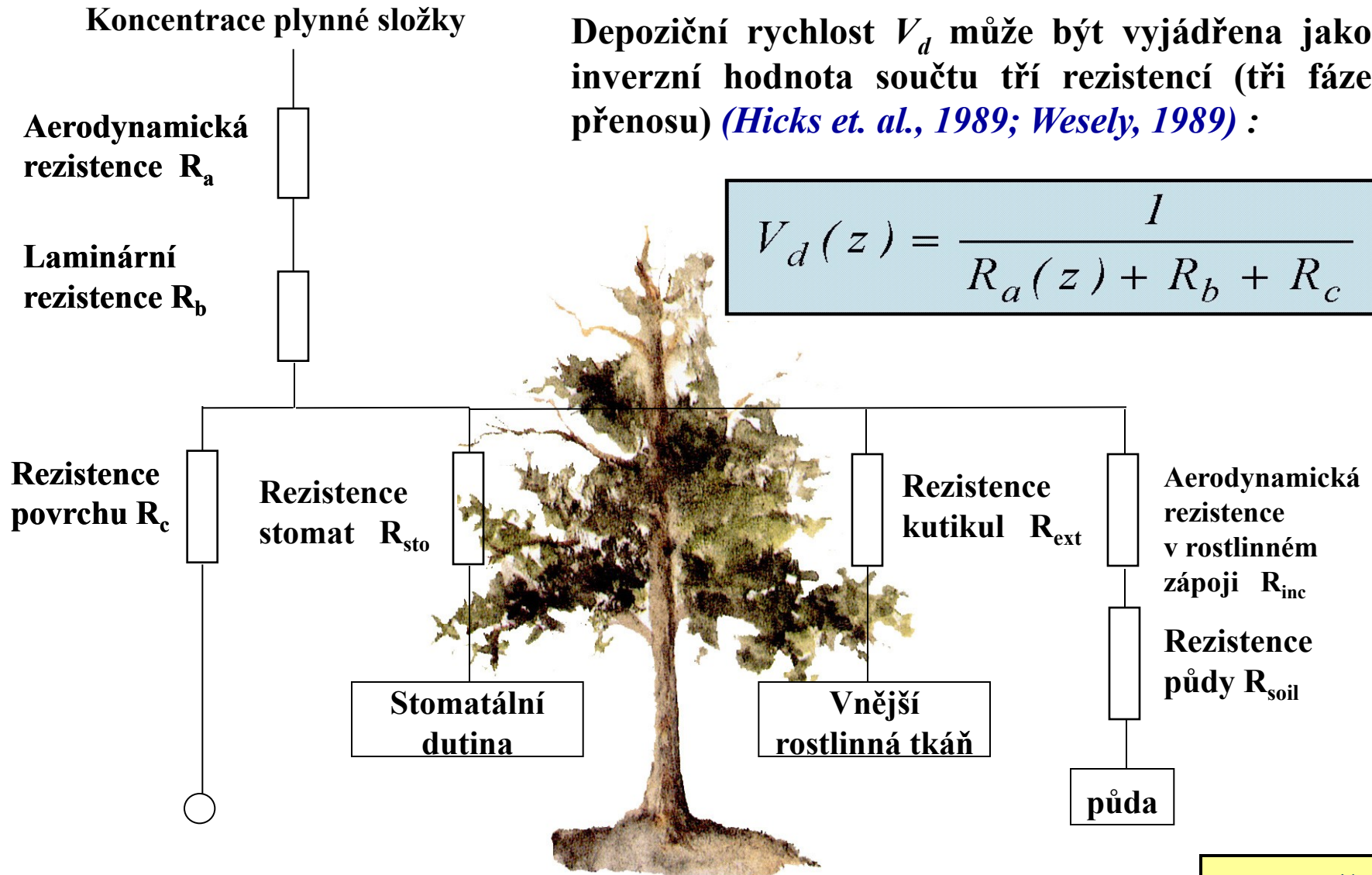
Suchá depozice $F = V_d(z) C(z)$.

V mnoha studiích je pro výpočet depozičních rychlostí plynů a částic uvedeno použití rezistenčních modelů (*Thom, 1975; Chamberlain, 1966; Garland, 1977; Fowler, 1978; Erisman et al., 1993; Fowler et al., 1993*).

Rezistenční model pro výpočet depozičních rychlostí

Depoziční rychlost V_d může být vyjádřena jako inverzní hodnota součtu tří rezistencí (tři fáze přenosu) (Hicks et al., 1989; Wesely, 1989) :

$$V_d(z) = \frac{I}{R_a(z) + R_b + R_c}$$



<< Zpět

Rezistence povrchu může být vypočtena následovně (*Erisman, Draaijers, 1995*):

$$R_c = \left(\frac{1}{R_{sto} + R_m} + \frac{1}{R_{inc} + R_{soil}} + \frac{1}{R_{ext}} \right)^{-1}$$

Rezistence povrchu R_c je funkcí:

R_{sto} rezistence stomat, která je odporem kladeným plynné složce při jejím příjmu stomaty

R_m rezistence mezofylu

R_{inc} aerodynamické rezistence v rostlinném zápoji, která je odporem kladeným plynné složce při jejím přenosu skrz vegetaci směrem k půdě a spodním částem rostlinného zápoje

R_{soil} rezistence půdy, která je odporem půdy při absorpci plynné složky půdním povrchem

R_{ext} rezistence kutikul nebo rezistence vnějšího povrchu rostliny, tj. povrchu listů, větví, kmene

R_c může být modelována v závislosti na globálním záření, teplotě, relativní vlhkosti, ročním období a charakteru vegetačního pokryvu.

Depoziční rychlost aerosolových částic může být odvozena z třecí rychlosti u_* a Monin-Obukhovovy délky L podle vztahů:

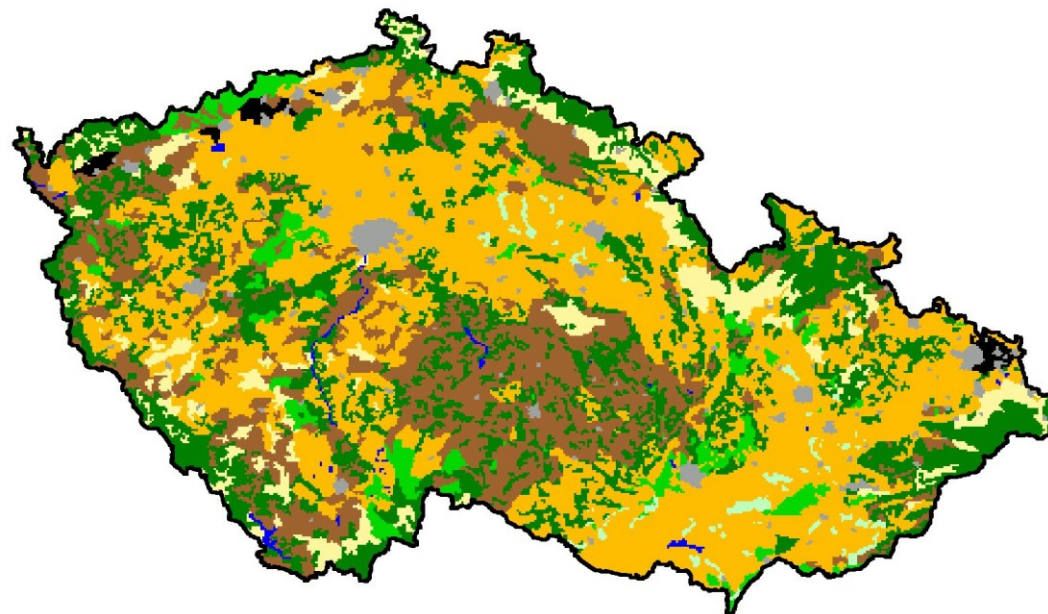
pro nízkou vegetaci (*Wesely, Cook, Hart, 1985*):

$$V_d = \frac{u_*}{500}, L > 0$$

pro lesy (*Erisman, 1992*):

$$V_d = \frac{u_*}{100}, L > 0$$

K odhadu aerodynamické, laminární a povrchové rezistence mohou být použity údaje o drsnosti povrchu, které mohou být vztaženy k odpovídajícím povrchovým charakteristikám na území České republiky podle mapy využití ploch (*GÚ ČSAV, 1992; Zapletal, 1994*).

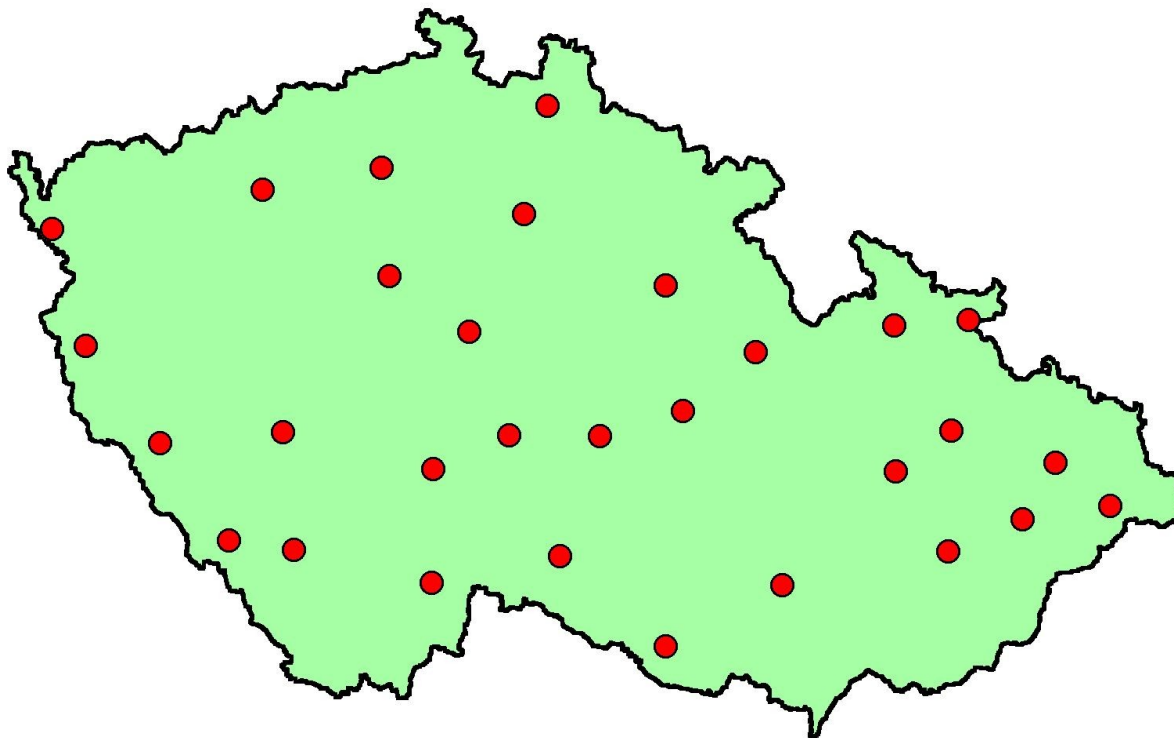


Kategorie

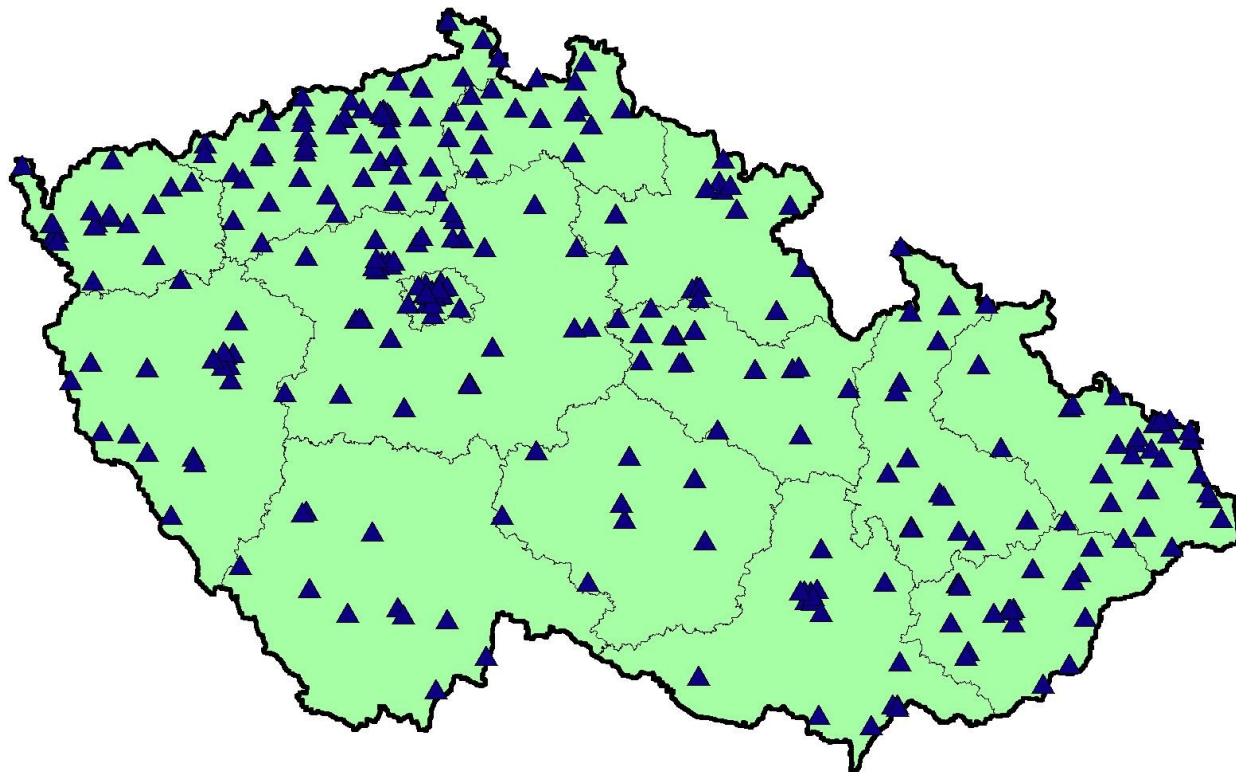
-  Listnatý les
-  Smíšený les
-  Jehličnatý les
-  Lesně-luční krajina
-  Lesně-polní krajina
-  Zemědělská krajina
-  Zastavěné plochy
-  Těžební plochy
-  Vodní plochy

<< Zpět

K odhadu aerodynamické, laminární a povrchové rezistence mohou být rovněž použity údaje o rychlosti a směru větru, teplotě, relativní vlhkosti a globálním záření, které jsou měřeny na klimatologických stanicích.



Údaje o imisních koncentracích plynů a aerosolových částic mohou být získány z monitorovací sítě kvality ovzduší a databáze EMEP.



Zpět

Měření a výpočet mokré depozice

Mokrá depozice se uskutečňuje srážkovou činností. Srážky mohou být odebírány dvojím způsobem. Odběrová zařízení mohou být kontinuálně exponována (metoda bulk) nebo jsou příslušná zařízení exponována pouze po dobu atmosférické depozice (metoda čisté srážky) (*Moldan, 1989, 1992; Erisman, Draaijers, 1995*). Odběrové nádoby mohou být umístěny rovněž pod kmenem stromu nebo pod korunou stromu - tzv. měření podkorunových srážek. Horizontální mokrá depozice může být měřena pasivními kolektory (*Mind'áš, Škvarenina, 1995*).

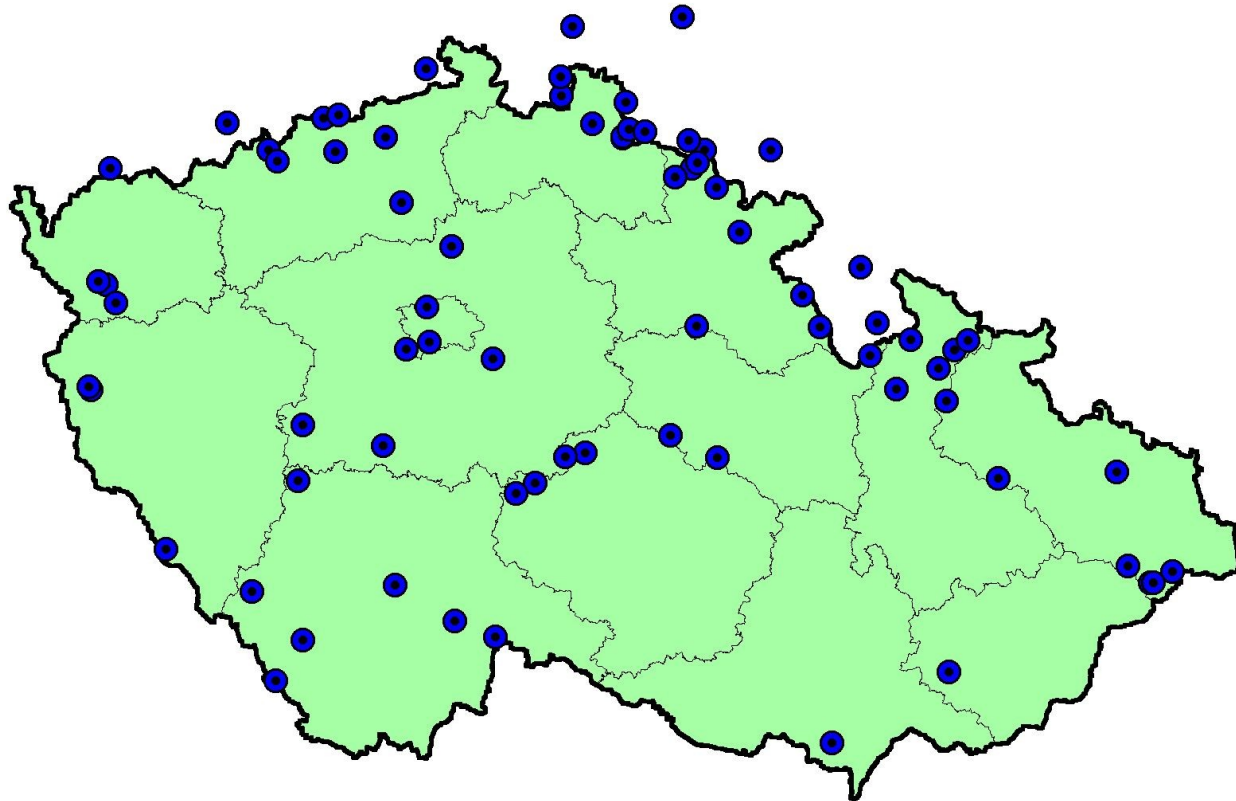
Průměrná mokrá depozice SO_4^{2-} , NO_3^- a NH_4^+ může být vypočtena z průměrných koncentrací SO_4^{2-} , NO_3^- a NH_4^+ ve srážkách (*c*) (vážené srážkovým úhrnem) a ze srážkového úhrnu (za časové období) (*P*).

Mokrá depozice $D = c P$

Celková potenciální mokrá depozice může být vypočtena podle *Erismana, Leeuweho, Aalsta (1989)*:

Celková mokrá depozice $= 2 \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$

Údaje o chemickém složení srážek, srážkových úhrnech a mokré atmosférické depozici mohou být získány z monitorovací sítě kvality ovzduší a databáze EMEP.

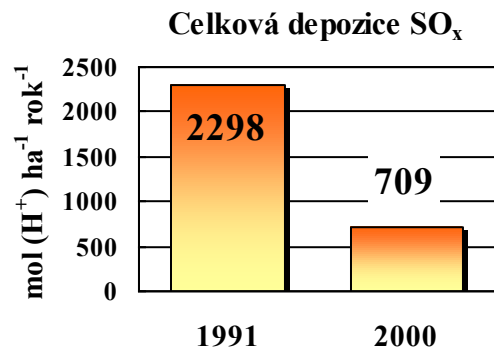


<< Zpět

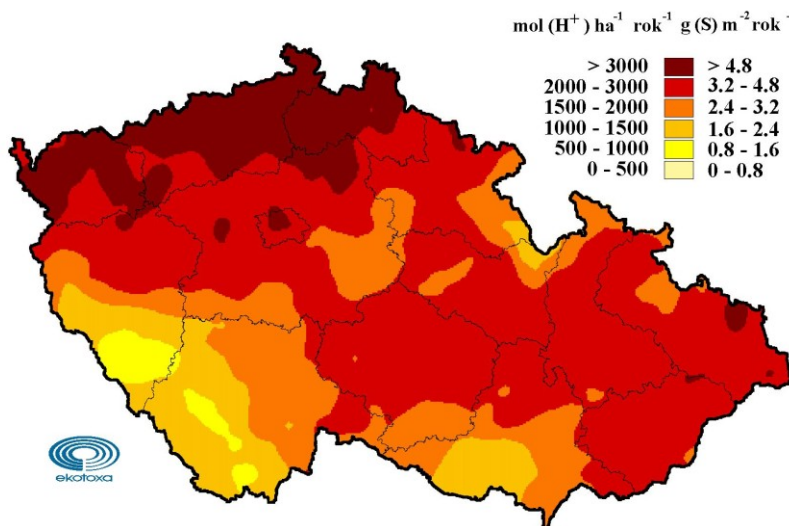
HODNOCENÍ VÝVOJE ATMOSFÉRICKÉ DEPOZICE ACIDIFIKAČNÍCH LÁTEK V ČR

Celková depozice SO_x v $\text{mol}(\text{H}^+) \text{ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$ ($\text{g}(\text{S}) \text{m}^{-2} \text{rok}^{-1}$) mezi roky 1991 a 2000
v síti 1x1 km

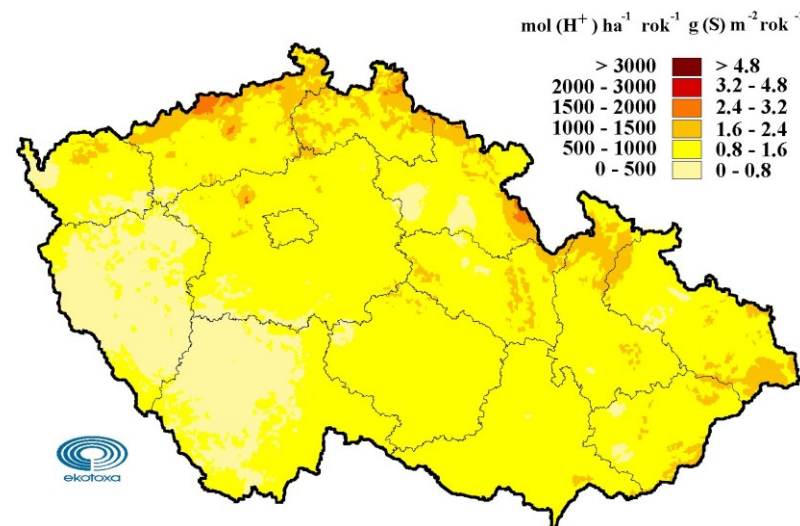
1991-2000
Pokles emise SO_2
o 85 %



1991-2000
Pokles depozice
 SO_x o 69 %



1991

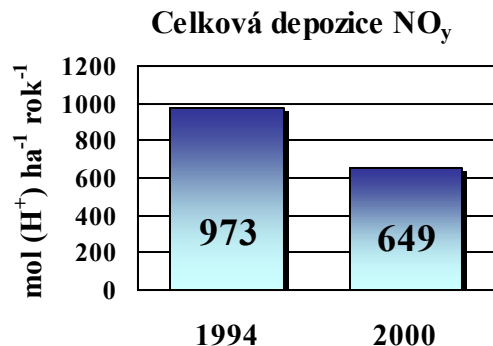


2000

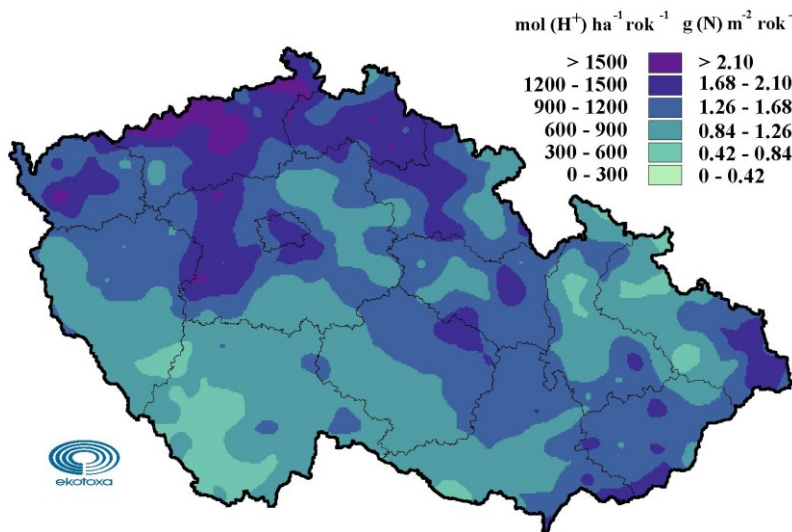


Celková depozice NO_y v mol (H⁺) ha⁻¹ rok⁻¹ (g(N) m⁻² rok⁻¹) mezi roky 1994 a 2000 v síti 1x1 km

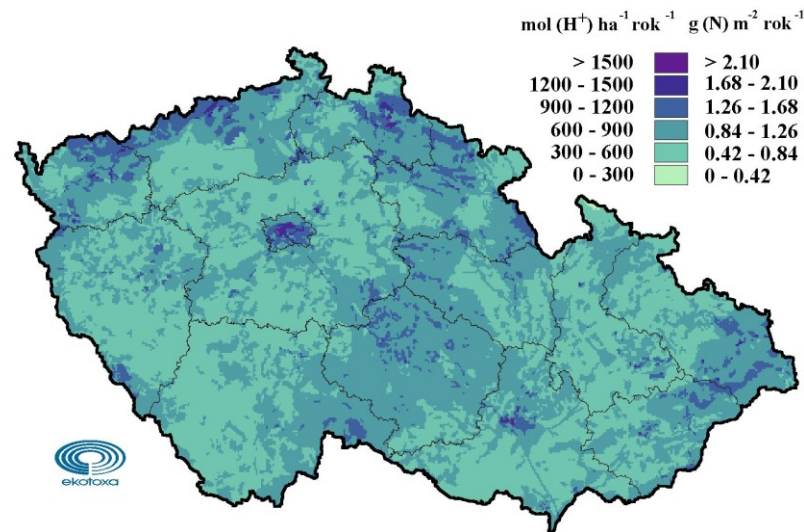
1994-2000
Pokles emise NO_x
o 15 %



1994-2000
Pokles depozice NO_y
o 33 %



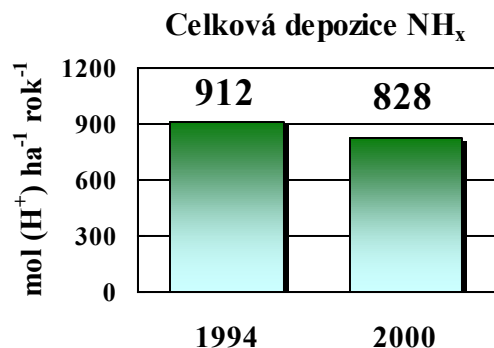
1994



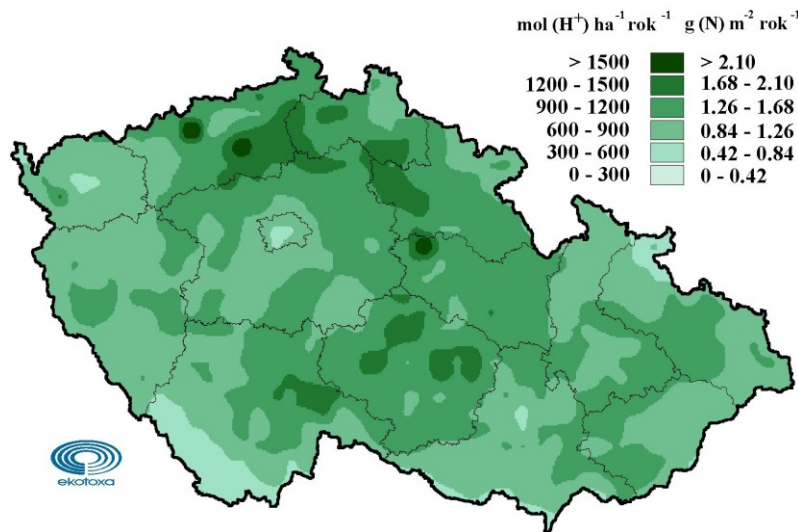
2000

Celková depozice NH_x v mol (H^+) ha^{-1} rok $^{-1}$ (g(N) m^{-2} rok $^{-1}$) mezi roky 1994 a 2000 v síti 1x1 km

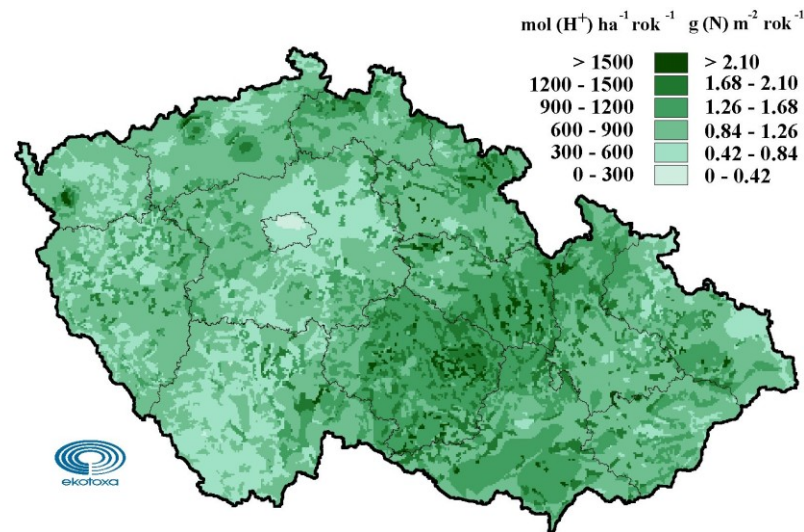
1994-2000
Pokles emise NH_3
o 18 %



1994-2000
Pokles depozice NH_x
o 7 %



1994

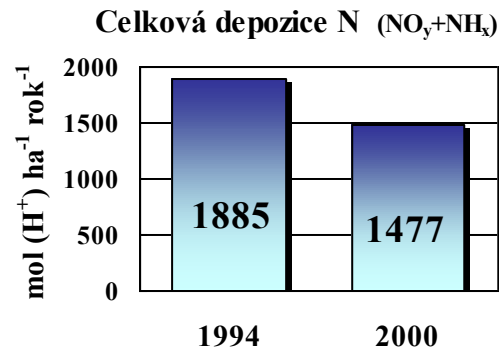


2000

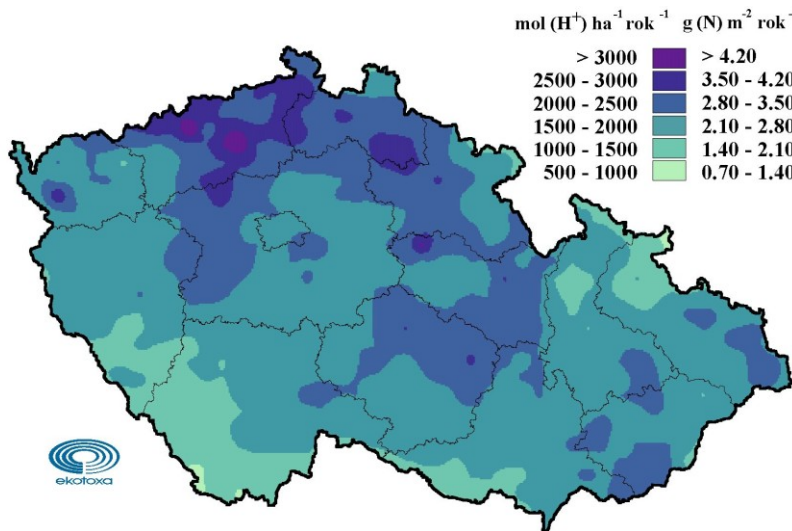
Celková depozice N ($\text{NO}_y + \text{NH}_x$) v mol (H^+) ha^{-1} rok $^{-1}$ ($\text{g(N)} \text{m}^{-2}$ rok $^{-1}$) mezi roky 1994 a 2000 v síti 1x1 km

1994-2000
Pokles emise NO_x
o 15 %

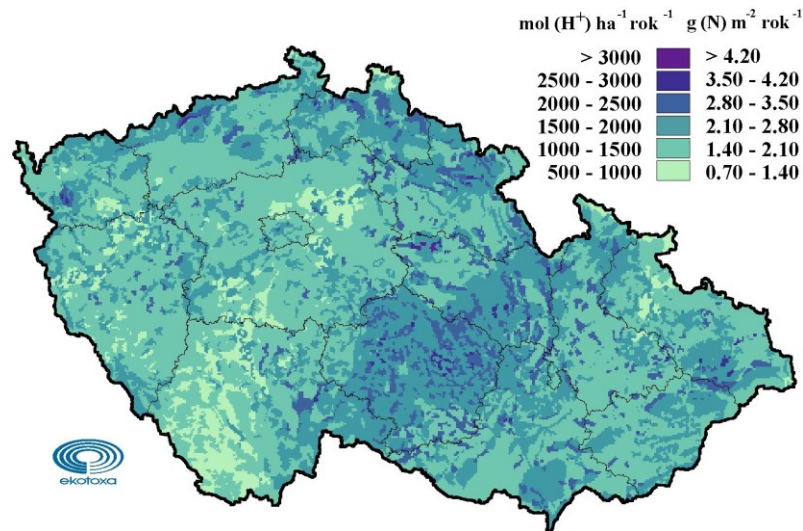
1994-2000
Pokles emise NH_3
o 18 %



1994-2000
Pokles depozice
dusíku o 21 %

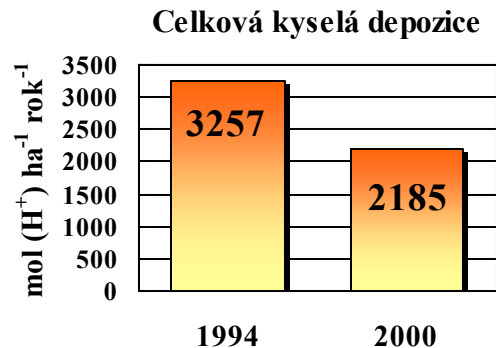


1994

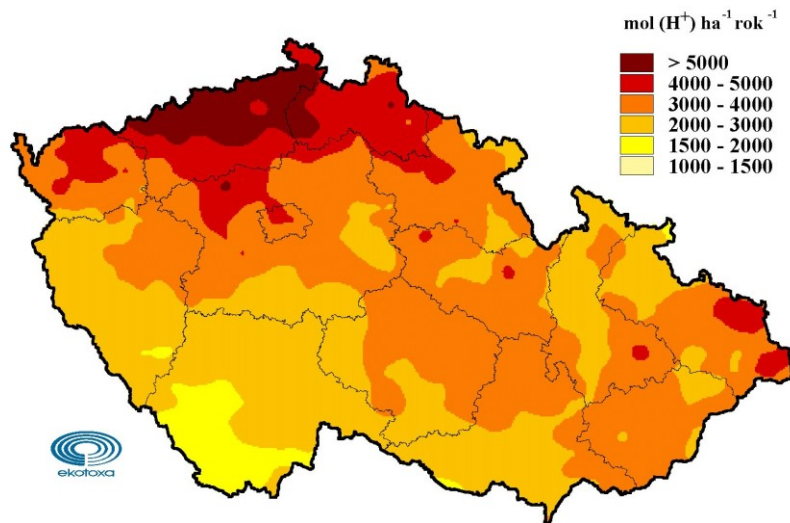


2000

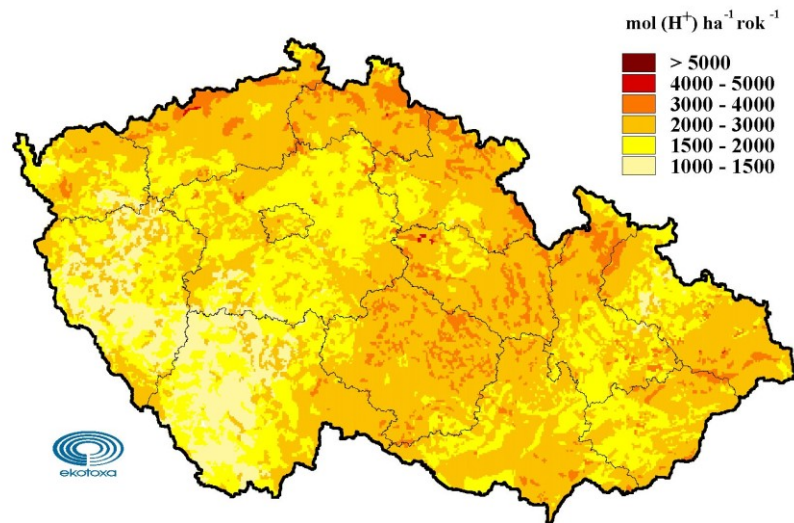
Celková potenciální kyselá depozice v mol (H⁺) ha⁻¹ rok⁻¹ mezi roky 1994 a 2000 v síti 1x1 km



1994-2000
Pokles celkové
depozice o 33 %



1994

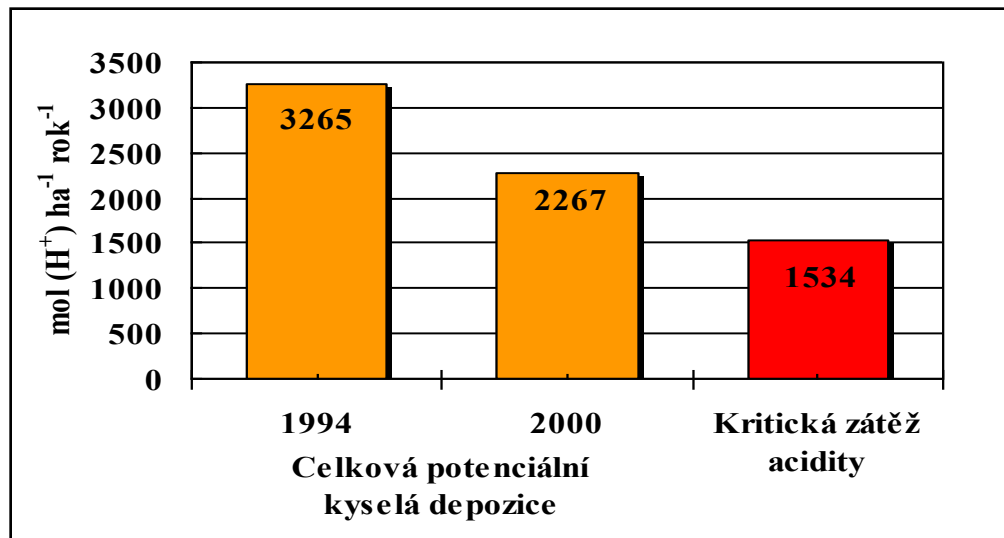


2000

Vývoj atmosférické depozice acidifikačních látek s ohledem na kritické zátěže acidity

Kritická zátěž je nejvyšší dávka znečišťující látky, která ještě nepůsobí chemické změny, které by měly dlouhodobé škodlivé účinky na nejcitlivější ekosystémy (*Nilsson, Grennfelt, 1988*). Definice se vztahuje ne ekosystémy suchozemské a vodní a mezi znečišťující látky zahrnujeme také sloučeniny síry a dusíku.

Princip výpočtu kritických zátěží 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 (*Posch, Smet, Hettelingh, Downing, 1995*).



Průměrná hodnota překročení kritické zátěže síry a dusíku se mezi roky 1994 a 2000 snížila o 58 %.

Celková potenciální kyselá depozice v České republice překračovala kritické zátěže acidity

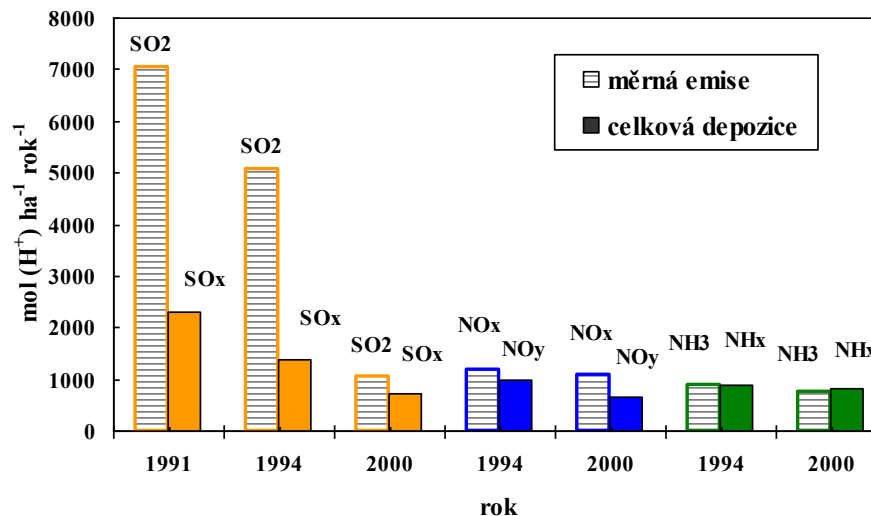
- v roce 1994 na 98,5 % území lesa (cca 2 590 609 ha lesa)
- v roce 2000 na 90 % území lesa (cca 2 373 000 ha lesa).

Pro porovnání podle *Závodského, Punkačkové, Mind'áše, Škvareniny (1999)* celková potenciální kyselá depozice ve Slovenské republice překračovala kritické zátěže acidity

- v roce 1990 na 50 % území lesa
- v roce 1995 na 31 % území lesa.

Vývoj atmosférické depozice acidifikačních látek s ohledem na vývoj emisí síry a dusíku

Trend v celkové depozici SO_x , NO_y a NH_x , v měrné emisi SO_2 , NO_x a NH_3 na území České republiky v letech 1991 (pouze SO_x), 1994 a 2000 v $\text{mol}(\text{H}^+) \text{ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$.



Emise SO_2
poklesla o
85 %

Pokles emisí SO_2 z velkých průmyslových zdrojů v severozápadní části České republiky, Praze a na Ostravsku mezi roky 1991 a 2000 byl hlavním důvodem poklesu celkové depozice SO_x a celkové potenciální kyselé depozice v těchto oblastech.

Depozice SO_x
poklesla
o 69 %

Emise NO_x
poklesla o
15 %

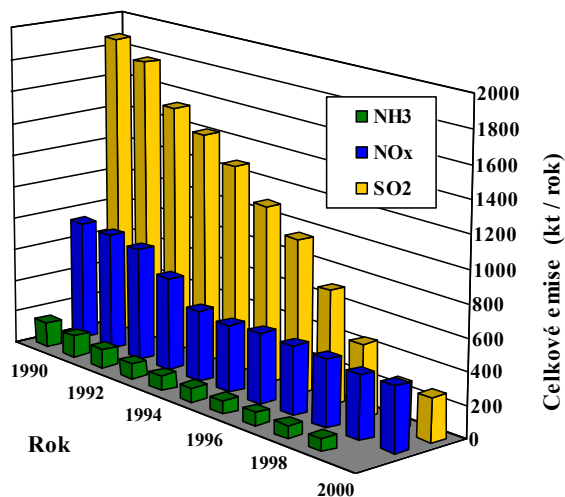
Celková depozice NO_y je ovlivňována především emisemi z průmyslových zdrojů a emisemi z dopravy. Pokles emisí ze stacionárních zdrojů mezi roky 1994 a 2000 je doprovázen růstem emisí z mobilních zdrojů.

Depozice NO_y
poklesla
o 33 %

Emise NH_3
poklesla o
18 %

Celková depozice NH_x je ovlivněna zejména emisemi amoniaku ze zemědělské výroby.

Depozice NH_x
poklesla
o 7 %



Soška	Úroveň emise v letech			Emisní strop	
	1990	2000		2010	
	kt/rok	kt/rok	pokles v % (kr.1990)	kt/rok	pokles v % (kr.1990)
SO ₂	186	25	-86	283	-85
NO _x	742	397	-46	286	-61
NH ₃	156	745	-52	101	-35

Česká republika mezi roky 1990 a 2000 snížila emise oxidu siřičitého o **86 %**, oxidů dusíku o **46 %** a amoniaku o **52 %**. Emise **oxidu siřičitého a amoniaku** se v roce 2000 dostaly **pod úroveň emisních stropů** pro rok 2010.

Přestože Česká republika **snížila emise SO₂, NO_x a NH₃**, celková potenciální kyselá depozice překračovala kritické zátěže síry a dusíku (acidity) v roce 2000 na **90 % plochy lesní půdy** v České republice.

Použité datové zdroje a počítačové programy

- imisní koncentrace SO_2 , NO_x , NH_3 , síranů (SO_4^{2-}), dusičnanů (NO_3^-) a amonných iontů (NH_4^+) v aerosolu
- koncentrace síranů (SO_4^{2-}), dusičnanů (NO_3^-) a amonné iontů (NH_4^+) ve srážkách
(databáze Informačního systému kvality ovzduší ČHMÚ Praha, databáze EMEP, síť GEOMON - ČGS Praha, VÚV T.G.M. Praha, VÚLHM Praha, KRNP, HBÚ AV ČR, NP Šumava, IFER, Ekotoxa)
- emise SO_2 , NO_x , NH_3 (databáze Informačního systému kvality ovzduší ČHMÚ Praha, databáze EMEP)
- meteorologické a klimatologické parametry (rychlost a směr větru, úhrn srážek, teplota, relativní vlhkost, globální záření)(ČHMÚ Praha, EMEP)
- mapa hranice lesa (Stoklasa Tech., pozemní šetření - IFER, ÚHÚL)
- data o kritických zátěžích síry a dusíku (ČEÚ Praha)
- data byla zpracována a interpretována pomocí programu NRM, geografického informačního systému ArcWiew 3.2, programu Surfer 7 a statistického programu Statistica 6.

ZÁVĚR

V přednášce byla popsána metodika hodnocení atmosférické depozice acidifikačních látek.

Byla uvedena stručná historie výzkumu atmosférické depozice acidifikačních látek, kterou způsobují emise oxidu siřičitého (SO_2), oxidů dusíku (NO_x) a amoniaku (NH_3).

Byla vysvětlena souvislost mezi procesy emise, přenosu, depozice a účinků acidifikačních látek.

Podrobně byly popsány procesy mokré a suché depozice.

Byla popsána metodika měření a výpočtu mokré depozice z hodnot koncentrací SO_4^{2-} , NO_3^- a NH_4^+ ve srážkách a ze srážkových úhrnů.

V rámci popisu metodiky výpočtu a měření suché depozice byl vysvětlen rezistenční model pro výpočet depozičních rychlostí plynných složek.

Výpočet celkové depozice acidifikačních látek na území ČR v síti 1x1 km byl demonstrován pomocí výpočetního schématu.

Byla vysvětlena metodika tvorby map suché, mokré a celkové depozice acidifikačních látek s využitím dat z mapy využití ploch, meteorologických pozorování a monitorovací sítě kvality ovzduší.

Výsledky aplikace metodiky hodnocení atmosférické depozice acidifikačních látek byly demonstrovány mapovými výstupy, které umožňují hodnotit trend vývoje atmosférické depozice acidifikačních látek na území ČR.

Metodika hodnocení atmosférické depozice acidifikačních látek je používána v Mezinárodním programu mapování kritických zátěží v Evropě, který probíhá v rámci Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů.

Metodika hodnocení atmosférické depozice acidifikačních látek je přednášena a využívána ve výuce těchto předmětů:

Úvod do ochrany životního prostředí

Ochrana životního prostředí

Ochrana a dokumentace přírodního dědictví

V seminářích těchto předmětů studenti prakticky aplikují tuto metodiku na hodnocení potenciální kyselé atmosférické depozice acidifikačních látek na území ČR.

Poděkování

Autor vyjadřuje poděkování MŽP ČR, Českému ekologickému ústavu Praha a dalším organizacím za poskytnutá data a konzultace.

Literatura

Binkley, D., Driscoll, C.T., Allen, H.L., Schoeneberger, P. McAvoy, D.: Acidic deposition and forest soil: context and case studies of southeastern United States. Springer-Verlag, New York, 1989, p.149.

Bolin, B. (ed.): Sweden's case study for the UN Conference on the Human Environment: Air pollution on across national boundaries. The impact on the environment of sulphur in air and precipitation. Norstedt and sons, Stockholm, 1972.

Brydges, T.G., Wilson, R.B.: Acid rain since 1985 - times are changing. In: Acid deposition, Its nature and impacts. Proc. Roy. Soc. (edited by Last and Watling). Edinburgh, 1991, 97,1-15.

Bublinec, E., Dubová, M.: Annual dynamics of acidity of precipitations in the beech and spruce ecosystems (in Slovak). Lesn. Čas., 35 (1989), 6, p. 463-475.

Bublinec, E. Annual course acid throughfall in forest ecosystem of Slovakia. In: Expertentagung „Waldschadensforschung im ostlichen Mitteleuropa und in Bayern“, ed Reuther, M et al., 13.-15.11.1990 in Schloss Neuburg/inn bei Passau, GSF-Bericht 24/91, 1990, p. 407-412.

Bublinec, E., Dubová, M.: Seasonal dynamics of input of sulphate in the Central European beech and spruce ecosystems. Ekológia (Bratislava), 12 (1993), 4, p.449-458.

Bublinec, E., Dubová, M.: Long-lasting trends in concentration and deposition of sulphur and nitrogen in a beech ecosystem. In: Lesy a lesnícký výzkum pre tretie tisícročie. Zborník referátov z medzinárodnej vedeckej konferencie pri príležitosti storočnice organizovaného lesníckeho výskumu na Slovensku, I.časť, LVÚ Zvolen, 1998, p. 297-301.

Chamberlain, A.C.: Transport of gases from grass and grass-like surfaces. Proc. R. Soc. Lond., A290 (1966): 236-265.

Drdoš, J.: A reflection on a landscape ecology. Ekológia (Bratislava), 15 (1996), 4, p.369-375.

Driscoll, C.T., Lawrence G.B., Bulger A.J., Butler T.J., Cronan, C.S., Eager, C., Lambert, K.F., Likens, G.E., Stoddard, J.L., Weathers, K.C.: Acidic deposition in the Northeastern U.S.: Sources and inputs, ecosystem effects, and management strategies. BioScience, vol 51, 2001, no. 3.

EEA : Europe s Environment: The Second Assessment. Elsevier Scienc, Kidlington, 1998.

Ellenberg, H.: Botanical aspects of landscape ecology with outlooks on forest dieback. Progress in Botany, 57, 1996, p.1-16.

EMEP: http://www.emep.int/areas/totemis/em_NH3_CZ.html, EMEP, 2002.

Eriksson, E.: Report of an informal conference on atmospheric chemistry held at the Meteorological Institute, University of Stockholm, 24 -26 May 1954. Tellus 6 (1954), 302-307.

Erisman, J.W.: Atmospheric deposition of acidifying compounds in the Netherlands. Ph. D. Thesis, Utrecht University, The Netherlands, 1992.

Erisman, J.W., Leeuw, F.A.A.M. de, Aalst, R.M. van: Deposition of the Most Acidifying Components in the Netherlands During the Period 1980-1986. Atmospheric Environment, 23, 1989, p. 1051-1062.

Erisman, J. W., Draaijers, G. P. J.: Atmospheric Deposition in Relation to Acidification and Eutrophication. Elsevier Science B. V., Amsterdam, 1995.

- Fowler, D.: Dry deposition of SO₂ on agricultural crops. Atmospheric Environment 12 (1978), 369-373.*
- Garland, J.A.: The dry deposition of sulphur dioxide to land and water surfaces. Proc. R. Soc. London A. 354(1977), 245-268.*
- GÚ ČSAV: Atlas životního prostředí a zdraví obyvatelstva ČSFR. Geografický ústav ČSAV, Brno, 1992.*
- Henriksen, A. Posh, M.: Critical loads and their exceedance for ICP-Waters sites. ICP-Waters Report 44/1998. S. 35.*
- Hettelingh, J.P., Downing, R.J., Smet, P.A.M. de (Eds.): Mapping Critical Loads for Europe, CCE Technical Report No. 1, RIVM Report No. 259101001. Coordination Centre for Effects, National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, The Netherlands, 1991.*
- Hicks, B.B., Baldocchi, D.D., Meyers, T.P., Hosker, Jr.R.P., Matt, D.R.: A preliminary multiple resistance routine for deriving dry deposition velocities from measured quantities. Water, Air, and Soil Pollut., 36, 1987, p. 311-330.*
- Hicks, B.B., Matt, D.R., McMillen, R.T.: A micrometeorological investigation of surface exchange of O₃, SO₂ and NO₂: a case study. Boundary-Layer Met., 47, 1989, p. 321-336.*
- Honzák, J.: Sledování suché depozice sloučenin síry na sněhovou pokrývku. Ochrana ovzduší 3(21),1989, 53-54.*
- Húnová, I.:Atmosférická depozice. In:Aktuální otázky znečištění ovzduší. Ed. Braniš, M. Univerzita Karlova. Praha, 2003.*
- Izakovičová, Z., Miklós, L., Drdoš, J.: Krajinoekologické podmienky trvalo udržateľného rozvoja. VEDA, Bratislavba, 1997. S. 183*

Kontrišová, O., Kontriš, J., Kováčová, M.: Chemical elements levels in needles of Picea abies (L.) Karst in Biosphere reserve Polana. Ekológia 14 (1995), 2, 75-82.

Jaworski, N.A., R.W. Howarth and L.J. Hetling: Atmospheric deposition of nitrogen oxides onto the landscape contributes to coastal eutrophication in the Northeast United States. Environmental Science and Technology. 31, 1995-2005.

Machálek, P.: Vývoj emisí znečišťujících látek v ČR. Ochrana ovzduší, 10, č.2, 1998,, s. 2-4.

Materna et al.: Výsledky měření koncentrace kyslíčnanu siřičitého v lesích Krušných hor (Result of measurement of SO₂ concentration in the Erzgebirge). Ochrana ovzduší, 6, 1969, s.84-92 .

Materna, J.: Luftverunreinigungen and Waldschaden (Air pollution and damage to forest) In: Symposium uber Umweltschutz - eine internationale Aufgabe Prag 13 - 15 Marz 1985 (Symposium on Environmental Protection - An International Responsibility, Prague 13 -15 March 1985), VDI - Verein Deutscher Ingenieure, Dusseldorf, 1985.

Materna, J., Mejstřík, V.: Zemědělství a lesní hospodářství v oblastech se znečištěným ovzduším. SZN Praha, 1987.

Mind'áš, J., Škvarenina, J.: Chemical composition of fog/cloud and rains/snow water in biosphere reserve Polana. Ekológia, 2/1995, p.125-137.

Midriak, R.: Ochrana pody a krajinnooekologická únosnosť územia národného parku Nízke Tatry. Ochrana prírod, 12, 1993, 9-53.

Midriak, R.: Trvalo udržateľný rozvoj horských oblastí Slovenska. In: Trvalo udržateľný rozvoj a krajinoekologické plánovanie v európskych horských regiónoch. Technická univerzita Zvolen, 1994, 3-13.

Midriak, R.: Prístup k ohrozeným ekosystémom: udržateľný rozvoj horských oblastí . In: Trvalo udržateľný rozvoj v 21. Storočí. KEAKE Banská Štiavnica, Nadácia F.J. Turčeka, Banská Štiavnica, 1994a, 88-107.

Midriak, R.: Landscape-ecological education at the Faculty of ecology and environmental sciences of the Technical university in Zvolen. Ekológia 11(1995), 1, 163-168.

Moldan, B.: The analysis of atmospheric precipitation in Czechoslovakia. In: Ecological impact of acid precipitation. Proceedings of an International Conference (edited by Drablos, Tollan). Sandefjord, Norway, 1980.

Moldan, B.: Chemické faktory väzané na atmosféru. In: Metody studia ekosystémů (edited by Dykyjová a kol.). Academia, Praha, 1989.

Moldan, B.: Atmospheric Deposition: A Biogeochemical Process. Academia, Praha, 1991.

Moldan, B.: Atmosferická depozice na území Československa v letech 1976 - 1987. Národní klimatický program ČSFR - svazek 4. ČHMÚ, Praha, 1992.

Moldan, B., Černý, J. (eds.): Biogeochemistry of small catchments. John Wiley & Sons, 1994.

Moore, M.V. et al.. Potencial effects of climate change on freshwater ecosystems of the New England/Mid-Atlantic region. Hydrological Processes. 11, 1997, 925-947.

NEGTAPE 2001: Transboundary Air Pollution: Acidification, Eutrophication and Ground-Level Ozone in the UK. NEGTAPE, Centre for Ecology and hydrology, Edinburgh, 2001. S. 314.

Nilsson, J., Grennfelt, P.: Critical loads for sulphur and nitrogen. Report from a workshop held at Skokloster, Sweden, 19-24 March 1988 , Nord miljorapport 1988, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 1988.

Odén, S.: Stockholm Newspaper, Dagens Nyheter, October 24, 1967.

Odén, S.: The acidification of air precopitation and its consequences in natural environment. Ecology committee Bulletin, 1, Swedish National Science Research Council. Stockholm, 1968.

Pačes, T.: Sources of acidification in Central Europe estimated from elemental budgets in small basins. Nature 315 (1985), 31-36. London, .

Pačes, T.: Weathering rates of gneiss and depletion of exchangeable cations in soil under environmental acidification. Jour. Geol. Soc. 143 (1986), 673-677. London.

Pačes, T.: Changes in rates of weathering and erosion induced by acid emissions and agriculture in central Europe. In: Land Use Changes in Europe (edited by Brouwer et al.). Kluwer Acad. Publ, 1991, s.317-323.

Pačes, T.: Monitoring for the future: integrated biogeochemical cycles in representative catchments. In: Acidification Research, Evalution and Policy Applications (edited by Schneider). Elsevier Science publishers, 1992, s.145-159.

Ružička, M., Miklós, L.: Basic premises and methods in landscape-ecological planning and optimization. In: Changing landscapes: An ecological perspectives. Edited by Zonneveld, I.S., Forman, R.T.T., Springer-Verlag, New York, 1990, p. 233-260.

Ružička, M.: Development trends in landscape ecology. Ekológia 15 (1996), 4, p. 361-367.

Skořepová, I., Roušarová, Š., Beneš, S., Withers, R., Pařízek, I., Pačes, T., Zapletal, M. & Kopecký, M.: National Focal Center Reports: Czech Republic. In: Posch, M., de Smet, P.A.M., Hettelingh, J.-P. & Downing, R.J., eds.: Modelling and mapping of critical thresholds in Europe. Status Report 2001, Coordination Centre for Effects, RIVM Report No. 259101010, ISBN No. 96-9690-092-7, Bilthoven 2001, s. 125-128.

Skořepová, I., Roušarová, Š., Withers, R., Fiala, J., Livorová, H., Pokorný, P., Zapletal, M.: National Focal Center Reports: Czech Republic. In: Posch, M., Hettelingh, J.-P., Slootweg, J., Downing, R.J. eds.: Modelling and mapping of critical thresholds in Europe. Status Report 2003, Coordination Centre for Effects, RIVM Report No. 90-6960-106-0, Bilthoven, 2003. s.62-67.

Smith, R.A.: Air and Rain, The Beginnings of Chemical Climatology. Longmans Green, London, 1872.

Posch, M., de Smet, P.A.M., Hettelingh, J.-P. & Downing, R.J., (eds.): Calculation and Mapping of Critical Tresholds in Europe. Stat. Rep. 1995, Coordination Centre for Effects, RIVM Rep. No. 259101004, ISBN No. 90-6960-060-9, Bilthoven, 1995.

Rossby, C. G., Egnér, H.: On the chemical climate and its variation with the atmospheric circulation pattern. Tellus 7 (1955), 118-133.

Rost-Siebert, K :Untersuchungen zur H und Al-Ionen Toxizität anKeimpflanzen von Fichte und Buche in Losungskultur. Ber Forschungszentr Waldokosyst Univ. Gotingen, A:12, 1985.

Seidling, W.: Integrative Studies on Forest Ecosystem Condition. Multivariate Evaluations on Tree Crown Condition for two Areas with distinct Deposition Gradients. UN ECE, EC and Flemish Community, Geneva, Brussels and Gent, 2001.

Sisteron, D.L., Bowersox, V.C., Olsen, A.R., Meyers, T.P., Vong, R.L.: Deposition monitoring: methods and results. State of Science/Technology Report No. 2. National Acid Precipitation Assessment Program. 1989.

Tiegs, E.: Pflanzen und Giftgase, insbesondere Schweflige Saure. Kleine Mitt. Mitgl. Ver. Wasser-, Boden und Lufthygiene, 3, 1927, p. 314-328.

Samešová, D., Ladomerský, J.: The contamination of surface water and soil in Biosphere reserve Polana. Ekológia 22(2003), 2, 190-200.

Stoklasa, M.: Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky. Ministerstvo zemědělství České republiky. Prague, 2001.

Stolina, M.: Forest protection in the aspects of ecology (in Slovak). Forestry Jour, 46 (2000),4, p. 345-359.

*Supuka, J.: Content of allochthonous substances in leaves of lime tree (*Tilia cordata* M i 11) as reflection of anthropogenic impact of town cultural vegetation. Ekológia (Bratislava), 21 (2002), p. 192-200.*

Sverdrup, H., Warfvinge, P.: The effect of soil acidification on the growth of trees, grass and herbs as expressed by the $(Ca+Mg+K)/Al$ ratio. Report in ecology and environmental engineering 2:1993, Lund University, 1993.

Šantroch, J., Cerovský, M.: Regionální znečištění ovzduší a srážek V ČSSR. Ochrana ovzduší 1(19), 1987, 125-128.

Šantroch, J.: The comparison of Measured Atmospheric Deposition with Model Estimated Data at the Territory of the Czech Republic. EMEP Workshop on the Accuracy of Measurements. Passau, 1993.

Šantroch, J.: Experimentální a modelové stanovení suché a mokré atmosférické depozice sloučenin síry, dusíku, a těžkých kovů v impaktní, horské, a čisté oblasti na území ČR. Grant PPZPMŽP GA/1270/93, CHMÚ, Praha, 1993a.

Šantroch, J.: Přímé měření depozice v Rudolicích. In: Černý et al. (1994): Atmosférická depozice v Krušných Horách. Výsledky za rok 1993. ČGÚ, Praha, 1994.

Škvarenina, J.: Immission deposits of horizontal precipitation in fir – beech stands. In: Expertentagung „Waldschadensforschung im ostlichen Mitteleuropa und in Bayern“, ed Reuther, M et al., 13.-15.11.1990 in Schloss Neuburg/inn bei Passau, GSF-Bericht 24/91, 1990, p. 554-558.

Škvarenina, J.: Horizontal precipitation in fir – beech ecosystem as a source of deposition of some chemical elements (in slovak). PhD thesis, FÚ Zvolen, 1993, 170 pp.

Thom, A.S.: Momentum, mass and heat exchange of plant communities. In: Vegetation and Atmosphere (edited by Monteith). Academic Press, London, 1975.s. 58-109.

UBA: Manual on Methodologies and Criteria for mapping critical levels/loads and geographical area where they are exceeded. UN / ECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), Texte 71/96, Berlin, 1996.

UN ECE: Preliminary Draft Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-Level Ozone. EB.AIR/WG.5/1999/11. UN/ECE.

Warfvinge, P., Sverdrup, H.: Critical Loads of Acidity to Swedish Forest Soils. Report in ecology and environmental engineering 5:1995, Lund University, 1995.

Wesely, M.L., Cook, D.R., Hart, R.L.: Measurements and parametrization of particulate sulfur dry deposition over grass. J.Geophys. Res., 90, 1985, p. 2131-2143.

Wesely, M.L.: Parametrization of surface resistances to gaseous dry deposition in regional-scale numerical models. Atmospheric environment, 23, 1989, p.1293-1304.

Zapletal, M.: Use of geographical information systems for spatial modelling of the sulphur dioxide gas deposition on the territory of the Czech Republic. In: Proceedings of Fifth European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems EGIS/MARI '94, Paris, France 1994 (edited by Harts, Ottens, Scholten). Egis Foundation, Utrecht/Amsterdam, 1994. p. 233-242.

Zapletal, M.: Gas deposition of sulphur dioxide on the territory of the Czech Republic in 1991. In: Acid Rain Research: Do we have enough answers?, Studies in Environmental Science 64 (edited by Heij and Erisman). Elsevier Science BV, Amsterdam, 1995, p. 459-462.

Zapletal, M.: Atmosférická depozice acidifikačních činitelů na území České republiky (Doktorandská dizertační práce - Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava). Slezská univerzita v Opavě, Opava, 1997, 161 s.

Zapletal, M.: Atmospheric deposition of nitrogen compounds in the Czech Republic. Environmental Pollution 102, S1 (1998), p. 305-311, Elsevier Science, Oxford.

Zapletal, M.: Atmospheric deposition of nitrogen and sulphur compounds in the Czech Republic. The Scientific World roč.1 (S2)(2001), s. 294-303.

Závodský, D.: Meranie kyselých depozícií. In: Kyselá atmosférická depozície a její ekologické důsledky. Sborník semináře Ekologické sekce Čs. biologické společnosti (edited by Černý), Praha, 1985.

Závodský, D.: Diaľkový prenos oxidu siričitého a oxidov dusíku v strednej Európe v rokoch 1980-1984. Meteorol. Zpr. 39 (1986), 5-6, 161-164.

Závodský, D.: Long-range transport of nitrogen oxides on Central Europe. In: Workshop ECE. Potsdam, 1988, s. 60-63.

Závodský, D., Zuzula, I.: Vývoj znečistenia ovzdušia Slovenskej republiky. Ochrana ovzduší 4, 1997, 5-9.

Závodský, D., et al.: Mapping critical levels/loads for the Slovak Republic. Acid Rain Research, Rep. 43, NIVA, Oslo, Norway, 75 pp.. In Calculation and mapping of critical threshold in Europe. WGE CLRTAP, RIVM Netherlands, 1996, s 133-139.

Závodský, D., Pukančíková, K., Mind'áš, J., Škvarenina, J.: Critical levels and loads in Slovakia. In Calculation and mapping of critical threshold in Europe. WGE CLRTAP, RIVM Netherlands, 1999, s. 133-139.

Závodský, D., K., Mind'áš, J., Pavlenda, P. Škvarenina, J., Kunca, V.: Critical levels and loads in Slovakia. In Modelling and mapping of critical threshold in Europe. WGE CLRTAP, RIVM Netherlands, 2003, s. 105-107.