

DOTERAJŠIE VÝSLEDKY HODNOTENIA KRITICKÝCH ÚROVNÍ A ZÁŤAŽÍ MA SLOVENSKU

PRESENT RESULTS OF CRITICAL LEVELS/LOADS ESTIMATION IN SLOVAKIA

Mind'áš¹⁾, J., Škvarenina²⁾, J., Závodský³⁾, D., Kremler⁴⁾, M.,
Molnárová¹⁾, H., Pavlenda¹⁾, P., Kunca²⁾, V.

Abstract

The paper describes the current progress made in implementing the critical loads (CL) approach within the Slovak Republic. The CL of sulphur and nitrogen (including nutrient nitrogen) for forest soils and excess acidity are presented. The steady-state mass balance was applied. The territory of Slovakia is on average medium sensitive against acidification, more than 60 % of forest ecosystems have value of CL between 1000 and 4000 eq.ha⁻¹.yr⁻¹, but some parts exhibit high sensitivity - 16 % of forest area has CL values lower than 1000 eq. ha⁻¹.yr⁻¹. Critical loads for acidity were exceeded in 31 % of total forested area. The preliminary results of CL calculations for selected heavy metals (Pb, Cu) are presented. The input data were derived from the databases of forest monitoring plots in Slovakia (ICP Forest) according to the two major tree species in Slovakia: European beech (*Fagus sylvatica* L.) and Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.). The range of critical Pb deposition is 1-803 mg Pb.m⁻².year⁻¹ for beech and 9-1238 mg Pb.m⁻².year⁻¹ for spruce. The range of critical Cu deposition is 4-1070 mgCu.m⁻².year⁻¹ for beech and 16-1853 mgCu.m⁻².year⁻¹ for spruce. Accumulated exposure over a threshold of 40 ppb (AOT40) of tropospheric ozone was exceeded at all stands, twice in the high mountain region.

Key words: critical loads, levels, acid deposition, heavy metals, ozone, forest deposition

Úvod

Zhoršovanie zdravotného stavu lesov severnej hemisféry v 70-tych a 80-tych rokoch podnietilo výskum vplyvu znečistenia ovzdušia na lesné ekosystémy a nastolilo otázku ako definovať pre prírodné ekosystémy depozičné limity, ktorých neprekráčovanie by znamenalo nenarušený vývoj ekosystémov. Determinácia depozičných limitov sa stala významným nástrojom koncipovania stratégií znižovania emisií najmä síry a dusíka v Európe a Severnej Amerike.

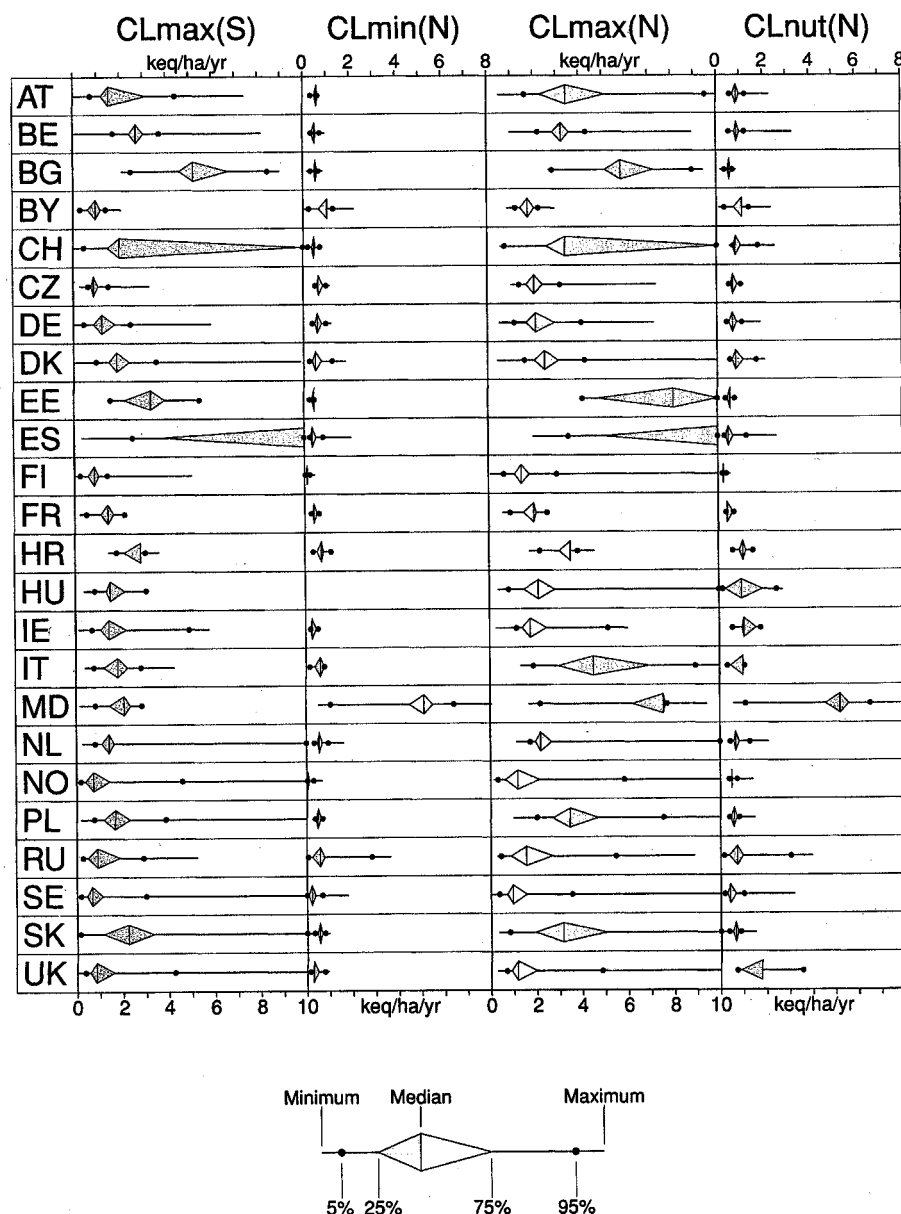
Koncepcia **kritických úrovní** (KÚ), (Critical Levels) a **kritických zát'azí** (KZ), (Critical Loads), zavedená pôvodne kanadskou vládou začiatkom 80-tych rokov, sa využíva pri realizácii Dohovoru EHK OSN o diaľkovom znečisťovaní ovzdušia prechádzajúcim hranicami štátov, a to pre vedecké zdôvodňovanie diferencovanej stratégie znižovania emisií škodlivín na území Európy. KÚ/KZ sú sekundárne imisné/depozíčné limity, t.j. úrovne koncentrácií, resp. depozícií škodlivín, po prekročení ktorých sa podľa súčasnej úrovne poznania môžu vyskytnúť priame negatívne účinky na receptory (rastliny, ekosystémy, materiály). KÚ/KZ charakterizujú citlivosť ekosystému voči dlhodobému pôsobeniu príslušnej škodliviny. Vzhľadom na rozdielnu citlivosť ekosystémov sa obvykle ako charakteristická hodnota uvažuje 5-percentil, t.j. situácia keď 95 % ekosystémov (resp. 95 % plochy územia) nie je ešte poškodzovaných. Kritická zát'az (KZ) je podľa definície Európskej hospodárskej komisie (UN ECE 1990) najvyššia prípustná depozícia zakysľujúcich zložiek, ktorá nespôsobuje chemické zmeny vedúce k dlhodobým škodlivým účinkom na štruktúru a funkciu ekosystémov. Hlavnou podstatou tejto koncepcie je výpočet kapacity ekosystému, ktorá je ešte schopná tlmiť atmosférický vstup (napr. kyslý vstup môže byť dlhodobo tlmený zvetrávaním minerálov v pôde). V súčasnosti sú hodnoty kritických úrovní (KÚ) stanovené pre koncentrácie plynov: SO₂, NO_x, O₃, NH₃, ďalej pre koncentrácie H⁺, NH₄⁺ a sulfáty v zrážkových vodách, a to pre lesy, prirodzenú vegetáciu a poľnohospodárske plodiny.

Mapovanie KZ je v súčasnosti zamerané na ochranu prírodného prostredia pred účinkami kyslej depozície a kvantifikáciu nevyhnutného zníženia emisií acidifikačných zlúčenín (oxidov síry a dusíka) do ovzdušia. Princípom metódy stanovenia KZ je výpočet neutralizačnej kapacity prírodného prostredia, t.j. hornín, pôd a vôd, pohlcovať vodíkové ióny uvoľnené pri atmosferickej depozícii zlúčenín síry a dusíka tak, aby nedochádzalo k acidifikácii prostredia a poškodzovaniu ekosystémov. V prípade zlúčenín dusíka sa stanovujú tiež KZ pre nutriфикаčný dusík ako limit pre eutrofizáciu prostredia. V súčasnosti sa rozbiehajú prípravné práce na stanovenie kritických zát'azí ťažkých kovov a perzistentných organických látok.

Mapovanie kritických zát'azí depozícií síry a dusíka v Európe

Program mapovania KÚ/KZ v Európe koordinuje CCE v RIVM v Bilthovene a doteraz prešlo niekoľkými etapami. Prvé oficiálne mapy, KZ pre aktuálnu aciditu a síru, vrátane ich prekročení pre Európu, boli spracované na základe dostupných informácií pre štvorce siete EMEP (150x150 km) v roku 1993. Na základe informácií a upresnených vstupných údajov z

národných "focal points" sa vykonali dve upresnenia v rokoch 1995 a 1997. Posledný "Status report" z roku 1997 už obsahoval národné vstupy z väčšiny európskych krajín vrátane východoeurópskych (Estónsko, Česká republika, Chorvátsko, Poľsko a Slovinsko) pravda na rôznej kvalitatívnej úrovni. Pozitívnym krokom bola analýza všetkých európskych dát, ktorá bola urobená v koordinačnom centre CCE v RIVM v Holandsku, a to ako vstupných údajov (príjem bazických katiónov a dusíka, zvetrávanie a pod.) ako aj výsledných hodnôt charakteristík KZ (maximálna kritická záťaž síry, dusíka, nutrificačný dusík a pod.).



Obr. 1: Porovnávacia charakteristika distribúcie štyroch ukazovateľov kritických záťaží depozícií síry a dusíka pre európske krajiny (24 štátov v abecednom poradí vrátane Slovenska-SK)

Tento prehľad je dobrou komparatívnou základňou pre zaradenie národných dát do celoeurópskeho kontextu. V roku 1999 bol vydaný posledný "Status report", ktorý už obsahoval výsledky aj z mapovania kritických záťaží ťažkých kovov a precízne zhodnotenie všetkých európskych databáz kritických záťaží a kritických úrovní.

Pre stratégiu znižovania emisií oxidov síry a dusíka v Európe je mimoriadne dôležitá skutočnosť, že depozície síry a dusíka (acidifikačného aj nutrificačného) sú vo vzájomnom vzťahu. To znamená, že rovnaký efekt na aciditu sa dá dosiahnuť rôznymi kombináciami (stratégiami znižovania) depozície síry a depozície dusíka. Vzťah medzi KZ pre síru a dusík sa vo vzťahu k depozíciám vyjadrujú funkciami prekročenia, ktoré vymedzujú hranice, na základe ktorých môžeme stanoviť najefektívnejší spôsob zníženia acidifikácie pod hodnotu KZ (pozri aj obrázky 2 a 3).

Obrázok 1 podáva porovnanie výsledkov kritických záťaží pre síru a dusík v európskom kontexte. Vidíme veľmi nízke KZ (nepriazniví stav odolnosti prostredia) v krajinách s prevahou chudobných pôd t.j. Škandinávske štáty, Fínsko, sever Ruska, Veľká Británia, Škótsko (minerálne chudobnejšie pôdy vytvorené na granitovom podloží (proterozoickom), resp. na morénach). Opakom sú oblasti s vysokými hodnotami CL, t.j. Chorvátsko, Španielsko, Estónsko, (krajinu, kde sa pôdy vytvorili predovšetkým na karbonátovom podloží), ale aj Moldavsko (pôdne typy hlavne černoze). Slovensko sa zaradilo medzi krajiny so strednou senzitivitou pôd, voči acidifikácii, boxploty CL sú výrazne ľavostranne asymetrické so zároveň širokým variačným rozpätím, čo poukazuje na pestrú mozaiku pôdnych pomerov, od pôd silne náchylných k acidifikácii (nízke CL hodnoty) po odolné karbonátové pôdy, podobne ako susedné Rakúsko.

Kritické záťaže síry a dusíka na Slovensku

Prvé mapovanie kritických záťaží Slovenska, pre potencionálnu kyslosť a síru pre lesné pôdy, povrchové a podzemné vody, sa vykonalo v rámci Nórsko/slovenského projektu v roku 1994 (ZÁVODSKÝ *et al.* 1995). Výsledky sa poskytli koordinačnému centru CCE v RIVM Bilthoven. Aktualizované výsledky kvalitatívne nového hodnotenia KZ v rozlíšení 250x250 m (320 891 štvorcov na ploche lesov SR) uskutočneného v roku 1997 sa taktiež odoslali do centra CCE. V priebehu roku 1998 sa pokračovalo v spresňovaní niektorých vstupných dát a odstránili sa nezrovnalosti vo vzťahu k celoeurópskej databáze. Výsledky boli v definitívnej podobe verifikované a odsúhlasené začiatkom roku 1999 a boli aj podkladom pre spracovanie národnej správy do "Status report" 1999 (ZÁVODSKÝ *et al.* 1999).

Posledná aktualizácia údajov KZ pre síru a dusík v lesných pôdach SR sa realizovala začiatkom roka 1999 a jej výsledky sú zahrnuté v "Status reporte 1999". V nasledujúcej tabuľke 1 ako príklad uvádzame hodnotenie KZ štruktúrované podľa pôdnych typov na lesnom pôdnom fonde.

Tabuľka 1: Percentilové hodnoty kritických záťaží síry a dusíka pre lesné pôdy Slovenska

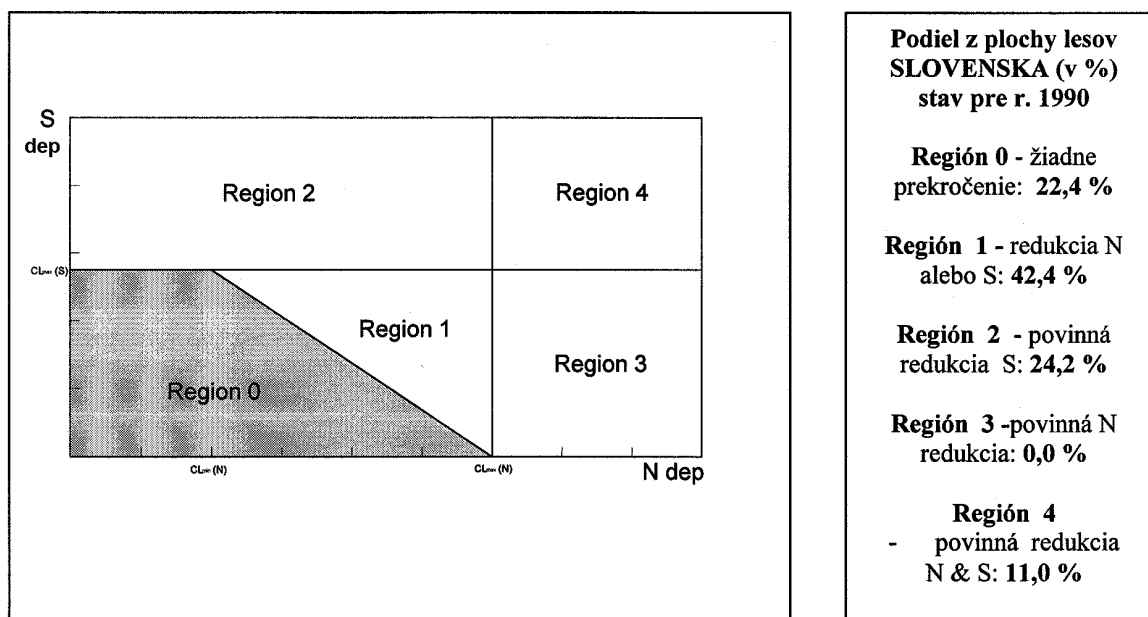
	CL _{max} (S)			CL _{min} (N)			CL _{nut} (N)		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%
Pôdy spolu	859	2732	11045	281	516	684	317	607	789
Regozeme	402	1417	1575	183	301	398	201	316	418
Rankre	3209	4354	4828	355	355	541	500	562	694
Rendziny	4370	8724	13070	309	499	680	367	588	780
Černozeme	986	8026	22856	221	292	613	232	301	617
Hnedozeme	1396	3055	4537	292	461	662	297	493	702
Luvizeme	897	1869	2712	308	544	684	337	586	738
Kambizeme	840	2413	4051	309	527	693	385	621	796
Podzoly	493	2717	4740	355	554	646	466	676	794
Gleje a pseudogleje	522	1133	2848	262	501	607	372	631	779

Kritické záťaže a ich prekračovanie pre Slovenskú republiku boli vypočítané metódou stacionárnej hmotnostnej bilancie v sieti štvorcov 250 x 250 m interdisciplinárnym tímom odborníkov (Slovenský hydrometeorologický ústav, Lesnícky výskumný ústav, Lesnícka fakulta). Získané hodnoty naznačujú, že územie Slovenska je v priemere stredne citlivé voči acidifikácii. Viac ako 60 % lesných ekosystémov má dané hodnoty CL medzi 1000-4000 ekv.ha⁻¹.rok⁻¹. Asi 16% lesných pôd je vysoko citlivých s hodnotami kritických záťaží nižšími ako 1000 ekv. ha⁻¹.rok⁻¹. V roku 1990 kyslá depozícia prekračovala kritické hodnoty na 50% lesných plôch, v roku 1995 na 31%. Pokles korešponduje s trendom síranov v atmosférických zrážkach.

V práci MINDÁŠ a kol. (1998) sme sa podrobnejšie venovali zhodnoteniu prekračovaniu kritických záťaží síry a dusíka. Na priloženom obrázku (obr. 2) je znázornená krivka nulového prekročenia kritických záťaží síry (S) a dusíka (N) pre lesné pôdy a vyznačené oblasti prekročenia, vyžadujúce špecifické stratégie znižovania depozícií podľa POSCH *et al.* (1997).

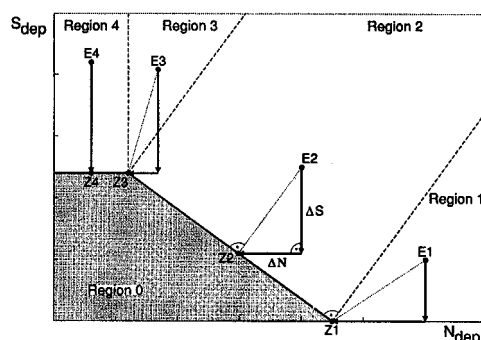
V roku 1999 sa zverejnením nového manuálu kritických záťaží (POSCH *et al.* 1999), zmenila metodika posudzovania depozície síry a dusíka (N_{dep}, S_{dep}) a ich prekračovania ochrannej izočiary. Nové hodnotenie uvažuje so znižovaním nadlimitných depozícií S a N na princípe "shortest distance" t.j. prekročenie definujeme pre daný pár depozícií (N_{dep}, S_{dep}) a

danú funkciu kritickej záťaže ako sumu zníženia depozície potrebnej na dosiahnutie funkcie kritickej záťaže, čo "najkratšou" cestou (obr. 3).



Obr. 2: Príklad ochrannej izočiary a päť rôznych možností znížovania jej prekročenia (vľavo) a percentuálny stav prekračovania KZ pre lesné ekosystémy Slovenska (vpravo)

$$Ex(N_{dep}, S_{dep}) = \begin{cases} 0 & \text{if } (N_{dep}, S_{dep}) \in \text{Region 0} \\ N_{dep} - CL_{max}(N) + S_{dep} & \text{if } (N_{dep}, S_{dep}) \in \text{Region 1} \\ N_{dep} - N_0 + S_{dep} - S_0 & \text{if } (N_{dep}, S_{dep}) \in \text{Region 2} \\ N_{dep} - CL_{min}(N) + S_{dep} - CL_{max}(S) & \text{if } (N_{dep}, S_{dep}) \in \text{Region 3} \\ S_{dep} - CL_{max}(S) & \text{if } (N_{dep}, S_{dep}) \in \text{Region 4} \end{cases}$$



Obr. 3: Príklad rôznych prípadov pre výpočet prekračovania pri danej funkcii kritickej záťaže podľa najnovšej metodiky (POSCH et al. 1999) Prekračovanie kritických záťaží sírou a dusíkom kalkulované pre depozičný stav roku 1995 je nasledovný: **región 0 = 68 %**, **región 1 = 0,0 %**, **región 2 = 31 %**, **región 3 = 1,0 %**, **región 4 = 0,0 %** plochy lesov Slovenska.

Na vybraných lokalitách sme kritické záťaže sme vypočítali aj modelom PROFILE (SVERDRUP *et al.* 1995). Model zahŕňa nasledujúce chemické subsystemy: depozícia, vymývanie a akumulácia rozpustených chemických komponentov; chemické reakcie zvetrávania medzi pôdnym roztokom a minerálmi; výmenné reakcie kationov; nitrifikácia, imobilizácia dusíka a denitrifikácia; vegetačný odber nutričných kationov a dusíka s chemickou spätnou väzbou; rovnovážne reakcie roztoku zahrňajúce CO₂, Al a organické kyseliny. Ako kritický chemický limit bol pre model zvolený pomer nutrične významných bázičných kationov a voľného anorganického hliníka v pôdnom roztoku (BC/Al) pre smrek, rovný 1,2 (SVERDRUP - WARFVINGE 1993). Napríklad v imisne výrazne ohrozenej oblasti Západných Tatier - Roháčov na lokalite NPR Kotlov žľab pôdne typy po vyhodnotení modelovej ekosystémovej bilancie vykazujú prekročenie kritickej záťaže kyslej depozície. Čiže nadmerné kyslé depozičné vstupy sa stávajú pre daný ekosystém neúnosné z pohľadu ich tlmenia prirodzenými prírodnými procesmi (KUNCA *et al.* 2000).

Mapovanie kritických záťaží pre ťažké kovy na Slovensku

Medzi kritickými záťažami pre aciditu spôsobenú depozíciami síry/dusíka a pre ťažké kovy (ŤK) sú iste metodické rozdiely. Tak ako pri acidite, koncept kritickej záťaže pre ŤK je založený na predpoklade, že každý ekosystém, či už terestriálny alebo vodný, má iba limitovanú kapacitu na zvládnutie znečistenia bez viditeľného poškodenia flóry a/alebo fauny. Kritické záťaže pre ťažké kovy sa však v niektorých aspektoch odlišujú od toho, čo bolo uvedené pre aciditu ako to sumarizuje nasledovná tabuľka 2.

Tabuľka 2: Porovnanie rozdielnych aspektov hodnotenia kritických záťaží pre aciditu (vyvolanú depozíciami síry a dusíka) a pre ťažké kovy a perzistentné organické látky.

Aspekt	Acidita	Ťažké kovy a perzistentné organické látky
Zložky	Dve (síra, dusík)	niekoľko/mnoho
Systém	prírodný	prírodný a človekom ovplyvnený
Vstupujúce množstvá	depozícia	depozícia a ďalšie vstupy
Efekty	koreňový systém	pôdne organizmy
Pôda	pôdna stabilita	produkčná strata
Voda	ryby	vodné organizmy vrátane rýb
Čas k rovnováhe	stredný k dlhodobému	dlhý/krátky

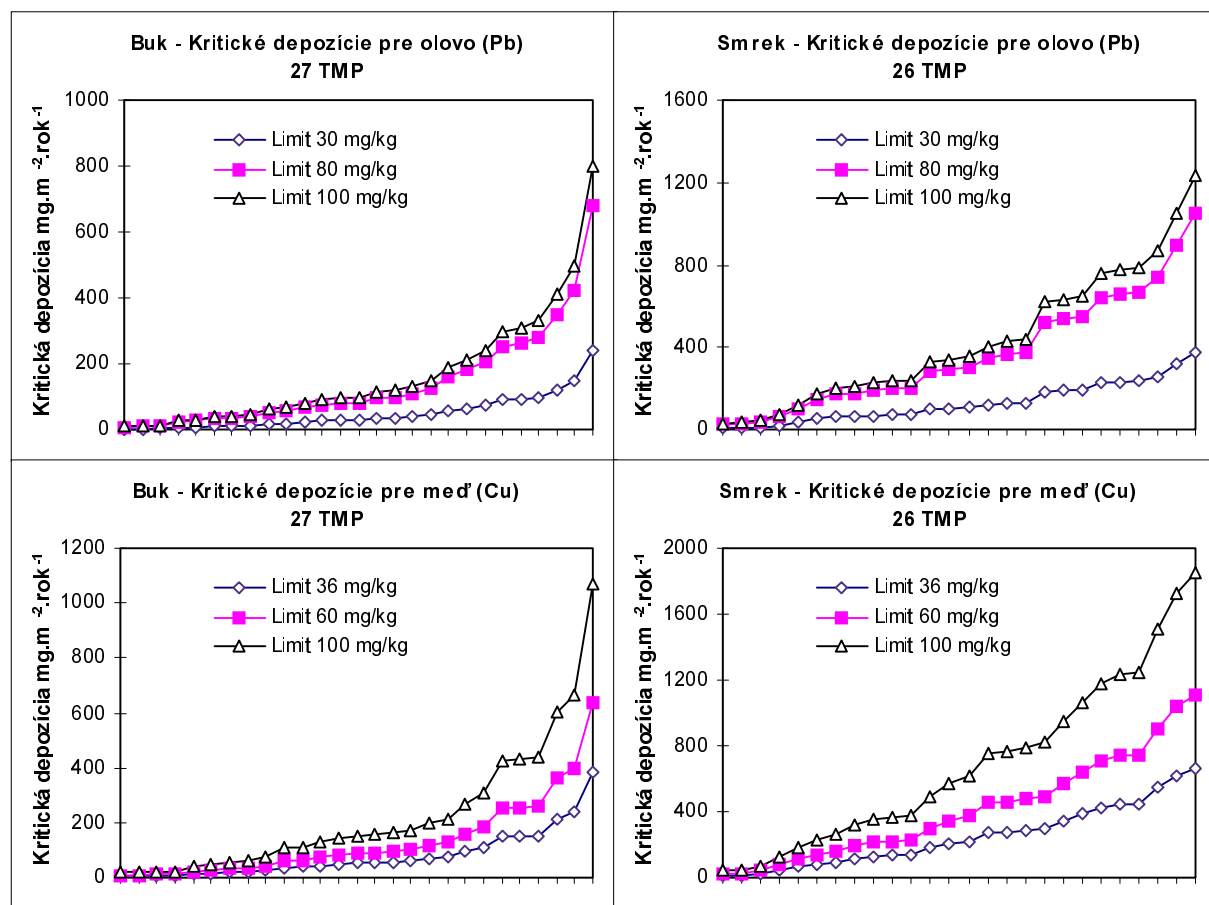
Predovšetkým acidita sa vzťahuje k síre (S) a dusíku (N), zatiaľ čo ťažké kovy zahŕňajú asi 10 chemických elementov. V druhom rade, na rozdiel od acidity, výpočet KZ nie je limitovaný iba vo vzťahu k nevápeným nepoľnohospodárskym pôdam. Toto znamená, že ťažké kovy nevstupujú do ekosystému iba prostredníctvom atmosférickej depozície, ale tiež ako výsledok viacerých priamych emisií, takých ako je aplikácia živočíšneho hnoja na poľnohospodárske pôdy, vodárenských kalov a pod.. Preto, KZ ŤK by nemala byť vzťahovaná iba k ich depozícii, ale k celkovému množstvu, ktoré zapríčiní významné škodlivé efekty na ekosystém. Výraz "významne škodlivé účinky" v definícii KZ je pravdaže otvorený k interpretácii v závislosti na druhu uvažovaných efektov a množstva akceptovanej škodlivosti. Ako pri acidite, časová škála pre ktorú je KZ braná byť pravdivou je dlhodobý časový horizont, pričom je použitý koncept akceptovateľnej rovnováhy.

V posledných rokoch bolo veľa štúdií zameraných na odhad KZ kyslých zložiek (S, N) pre lesné pôdy a povrchové vody v Európe (HETTELINGH *et al.* 1991, DOWNING *et al.* 1993). KZ ďalších vzdušných polutantov, takých ako ťažké kovy a perzistentné organické látky sú však veľkou neznámou. V tomto príspevku prezentujeme prvé predbežné výsledky hodnotenia kritických záťaží vybraných ťažkých kovov pre lesné pôdy na vybraných monitorovacích plochách ICP Forest na Slovensku. Pre hodnotenie sme vybrali dva ťažké kovy a to olovo (Pb) ako klasický predstaviteľ tejto skupiny a meď (Cu) ako ťažký kov a súčasne aj mikroelement výživy lesných drevín. Zo 111 monitorovacích plôch sme vybrali plochy s výskytom smrekových resp. bukových porastov ako porastov s výskytom dvoch najdôležitejších drevín v lesoch SR.

Ďalším dôležitým krokom vo výpočte je stanovenie limitnej hodnoty (koncentrácie v pevnej zložke pôdy), pre ktorú sa počíta kritická depozícia. Limitné hodnoty môžu zohľadňovať viacero kritérií ich použitia, či už z hľadiska efektov (mikrobiálna činnosť, pôdne bezstavovce, mykorízne huby a pod.) alebo z hľadiska využitia krajiny (detské ihriská, obytné zóny, poľnohospodárska krajina, priemyselné zóny a pod.). Pre lesné pôdy sa vo väčšine prípadov stanovujú limity podľa efektu na pôdnu mikrobiálnu činnosť a ochranu bezstavovcov v pôde. V našom výpočte sme použili nasledovné limitné hodnoty, ktoré sme volili tak, aby sme zachytili širšie rozpätie hodnôt (pre olovo-Pb: 30, 80 a 100 mg.kg⁻¹, pre meď-Cu: 36, 60 a 100 mg.kg⁻¹).

Predbežné výsledky stanovenia kritických depozícií pre olovo a meď v lesných pôdach sú prezentované na obrázku 4. Rozpätie kritických depozícií pre olovo sa v bukových ekosystémoch pohybovalo od 1 do 803 mgPb.m⁻².rok⁻¹ a v smrekových od 9 do 1238

$\text{mgPb.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}$. Pre meď sa tieto rozpätia pohybovali od 4 do $1070 \text{ mgCu.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}$ u bukových ekosystémov a od 16 do $1853 \text{ mgCu.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}$ u smrekových ekosystémov.

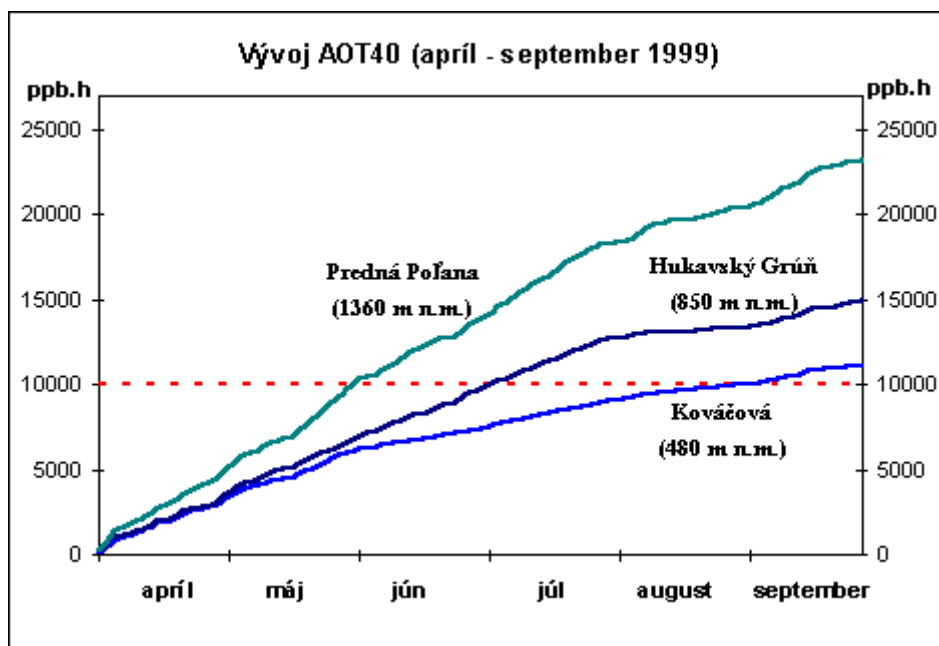


Obr.4 Hodnoty kritických depozícií olova a medi pre lesné pôdy bukových a smrekových porastov (vo vzostupnom usporiadaní) na trvalých monitorovacích plochách (TMP) podľa rôznych limitných hodnôt.

Kritické úrovne troposférického ozónu na Slovensku

Za účelom posúdenia účinkov troposférického ozónu na vegetáciu a ľudské zdravie bol prijatý celý rad kritických úrovní, resp. imisných limitov. Z krátkodobých imisných limitov sa pre ochranu vegetácie používa napr. 24-hodinový priemer 32,5 ppb, ktorý bol dosahovaný veľmi často, najmä vo vegetačnom období. Pre posúdenie dlhodobého vplyvu ozónu sa v lesníctve a poľnohospodárstve používa index kumulovanej expozície-AOT 40 (Accumulated exposure over a threshold of 40 ppb) je to suma rozdielov hodinových koncentrácií, ktoré prekračujú 40ppb. Jeho kritická úroveň pre lesné ekosystémy je 10000 ppb.h (počítané pre denné hodiny počas vegetačného obdobia apríl - september). Priebeh indexu AOT40 je znázornený na

obrázku 5. Na všetkých troch meracích staniciach bola do konca septembra prekročená kritická hodnota AOT40, a to na Kováčovej iba nepatrne (11061 ppb.h), na Hukavskom Grúni o takmer 5000 ppb.h (14955 ppb.h) a na Prednej Poľane o viac ako 10000 ppb.h (23194 ppb.h) (MOLNÁROVÁ 1999).



Obr. 5 Sezónny vývoj ozónového indexu (AOT40) v roku 1999

Záver a súhrn

Predložený článok autorského kolektívu riešiteľov projektov zameraných na problematiku hodnotenia kritických úrovní a kritických záťaží vybraných polutantov v lesných spoločnostiach prezentuje hlavné výsledky získané v rokoch 1997 - 2000. Mapovanie kritických záťaží/úrovní je komplexný multidisciplinárny problém. Jeho riešenie si vyžaduje rozsiahle vstupné kvalitných údajov, primerané finančné zabezpečenie a medzinárodnú spoluprácu i konfrontáciu dosiahnutých výsledkov. Riešením uvedených programov sa aj slovenský lesnícky a environmentálny výskum bližšie posúva k výskumnému zameraniu členských krajín Európskej únie.

Kľúčové slová: kritické záťaže a úrovne, kyslá depozícia, ťažké kovy, ozón, lesné ekosystémy

LITERATÚRA:

1. DOWNING,R.J., HETTELINGH, J.P., DE SMET, P.A.M., 1993: Calculation and Mapping of Critical Loads in Europe: Status Report 1993. Coordination Center for Effects, RIVM, Bilthoven, the Netherlands, Rep.259101003.
2. HETTELINGH, J.P., DOWNING,R.J., DE SMET, P.A.M., 1991: Calculation and Mapping of Critical Loads in Europe. Coordination Center for Effects, RIVM, Bilthoven, the Netherlands, Rep.259101001.
3. KUNCA, V., ŠKVARENINA, J., MAJERČÁK, J. 2000: Kyslá atmosférická depozícia v Národnej prírodnej rezervácii Kotlov žľab - Látaná. Zpravodaj Beskydy "Vliv imisí na lesy a lesní hospodářství Beskyd", Ediční středisko MZLU v Brně, vol. 13, s. 15 - 18.
4. MINĎÁŠ, J., PAVLENDÁ,P., PUKÁNČIKOVÁ, K., ŠKVARENINA, J., ZÁVODSKÝ, D. 1998: Mapovanie kritických úrovní a zát'azí Slovenska. In: DROBNÁ, B. - KOČAN, A. - JURSA, S. (eds.): *III. konferencia OVZDUŠIE '98*, Tatranská Lomnica, Bratislava : Slovenský hydrometeorologický ústav. s.37 - 40.
5. MOLNÁROVÁ, H. 1999: Vertikálny gradient koncentrácií troposférického ozónu v oblasti Poľany a Zvolenskej kotliny. *Práce a štúdie, Slovenský hydrometeorologický ústav*, Bratislava : č. 62, s. 197-209.
6. POSCH, M., HETTELINGH, P., DE SMET, P. A. M., DOWNING, R. J., 1997: Calculation and mapping of critical thresholds in Europe. RIVM, Bilthoven, 163 s.
7. SVERDRUP, H., ALVETEG, M., LANGAN, S., PAČES, T. 1995: Biogeochemical Modelling of Small Catchments Using PROFILE and SAFE. In: Trudgill, S. T. (ed.), *Solute Modelling in Catchment Systems*. John Wiley & Sons Ltd., pp. 75-99.
8. UN ECE, 1990: Mapping critical levels / loads. Federal Environmental Agency, Berlin, No. 25, 60 s.
9. ZÁVODSKÝ,D.-BABIÁKOVÁ,G.-MITOŠINKOVÁ,M.-PUKANČIKOVÁ,K.-RONČÁK,P-BODIŠ.D.-RAPANT.S.-MINĎÁŠ,J.-ŠKVARENINA,J.-CAMEL.B.-REHÁK.Š.-WATHNE,B.M.-HENRIKSEN,A.-SVERDRUP,H.-TOSETH,K.-SEMB,A.-Aamlid,D.1995: Mapping critical levels / loads for the Slovak republic. *Acid Rain Research, NIVA, 37/1995, 74 s.*
- 10.ZÁVODSKÝ, D., PUKANČIKOVÁ, K., MINĎÁŠ, J., PAVLENDÁ, P., ŠKVARENINA, J. 1999: *Slovakia. National Focal Centre Report. Calculating/Mapping Critical Loads/Levels*. In: POSCH, M. - de SMET, P. A. M. - HETTELINGH, P. - DOWNING, R. J., 1999: *Calculation and mapping of critical thresholds in Europe.*, Bilthoven: WGE - RIVM, Netherlands, p. 133 - 138

Kontaktné adresy:

¹⁾RNDr. Ing. Jozef MINĎÁŠ, PhD. , Ing. Hana MOLNÁROVÁ, Ing. Pavel PAVLENDÁ, PhD.:
Lesnícky výskumný ústav, Masarykova 22, 960 92 Zvolen, SK, e-mail: mindas@fris.sk

²⁾Doc. Ing. Jaroslav ŠKVARENINA, CSC., Ing. Vladimír KUNCA: Technická Univerzita,
Masarykova 24, 960 53 Zvolen, SK, e-mail: jarosk@vsld.tuzvo.sk

³⁾Doc. RNDr. Dušan ZÁVODSKÝ, CSC.: Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17,
833 15 Bratislava, SK, e-mail: zavodsky@shmuvox.shmu.sk

⁴⁾Mgr. Martin KREMLER: Matematicko-fyzikálna fakulta, Univerzita Komenského, Mlynská
dolina, 842 15 Bratislava, SK, e-mail: kremmler@cyril.fmph.uniba.sk