

MAPOVANIE KRITICKÝCH ZÁŤAŽÍ ACIDITY V LESNÝCH EKOSYSTÉMOCH KYSUC A ORAVY

MAPPING OF THE ACIDITY CRITICAL LOADS FOR FOREST ECOSYSTEMS IN THE KYSUCE AND ORAVA REGIONS

ZUZANA SITKOVÁ¹⁾ - VLADIMÍR KUNCA²⁾

¹⁾Odbor ekológie a biodiverzity lesných ekosystémov, NLC-LVÚ, Zvolen; ²⁾Katedra aplikovanej ekológie, FEE TU Zvolen

ABSTRACT

The aim of our research was mapping the critical loads of acidity (CL) for forest ecosystems in the Kysuce and Orava region, where the problem of non-native forest decline became really actual in the last years. The widespread Steady State Mass Balance (SSMB) approach was applied for spatial mapping of CLs. The maps and histograms of critical loads of sulphur and nitrogen for the most prevailing tree species in the subject region (spruce, beech, fir and pine) are presented. Spatial distribution of critical load exceedance was obtained by comparison of the calculated critical limits with the values of sulphur and nitrogen depositions modelled for time span of 2000 – 2005. The evaluation of maps calculated by SSMB proved total exceedance of acidity CL at 13,7% within the whole Kysuce and Orava area. The highest values of exceedance are related to the soils with low potential of the basic cations weathering (podzol, acid and pseudogley soils). Local calculation for the research plot Šadibolovci (901 m a. s. l.) was realized by multi-layer steady-state PROFILE model. It was found that critical load calculated by PROFILE model is a little enhanced at research plot Šadibolovci, which means that acid input from the atmosphere is higher than the buffering ability of forest soils against acidification. Based on that fact between 10 to 20 percent of the trees at this locality could be weakened or even seriously damaged as a result of some chemical changes within the forest ecosystems.

Kľúčové slová: kyslá depozícia, kritické záťaže acidity, prekračovanie kritických záťaží, metóda stacionárnej hmotovej bilancie, model PROFILE, lesné ekosystémy

Key words: acid deposition, critical loads of acidity, exceedances CL, SSMB method, PROFILE, forest ecosystems

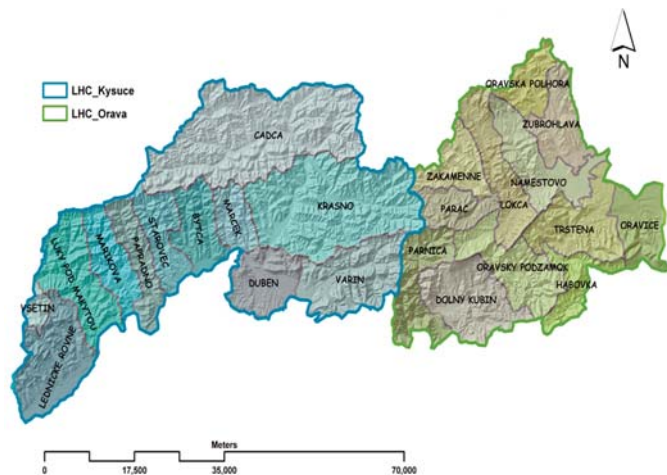
ÚVOD DO PROBLEMATIKY

V súvislosti s dlhodobou nepriaznivým stavom nepôvodných (najmä smrekových) lesných porastov na Slovensku je často diskutovanou otázkou, akú úlohu zohráva pri ich rozpade imisná záťaž. V rámci výskumnej úlohy MP SR „Rekonštrukcie nepôvodných lesných spoločenstiev ohrozených zmenou prírodných podmienok (najmä klímy) na ekologicky stabilnejšie ekosystémy“, ktorá je od roku 2005 riešená v Národnom lešníckom centre vo Zvolene, zarezonovala potreba preskúmať a priestorovo zafinovať kritické limity tlmivého potenciálu lesných pôd a prekračovanie kyslej imisnej záťaže lesných ekosystémov oblasti Kysuc a Oravy. Cieľom nášho výskumu bolo preto zmapovať kritické záťaže (KZ) acidity pre lesné ekosystémy Kysuc a Oravy a zároveň posúdiť, nakoľko sú aktuálne depozície zakyslujúcich látok ohrozením pre lesnú zložku prostredia v danej oblasti.

Definícia kritickej záťaže kyslosti síry a dusíka pre ekosystémy bola ustanovená na pracovnej konferencii o kritických záťažach v Skoklostery v roku 1988 (NILSSON, GRENNFELT 1989) ako „najvyššia depozícia zakyslujúcich zložiek, ktorá nespôsobuje chemické zmeny vedúce k dlhodobým škodlivým účinkom na štruktúru a funkciu ekosystémov“. Rozvoj koncepcie a hodnotenie kritických záťaží má aj na Slovensku už vyše desaťročnú históriu, ktorá sa intenzívnejšie naštartovala v roku 1994, kedy sa Stacionárnou hmotovou bilanciou zhodnotilo približne 20 % územia Slovenska (ZÁVODSKÝ et al. 1995). Odvtedy sa postupy v súlade s najnovšími vedeckými poznatkami neustále prehľadujú a korigujú.

Najnovšie odborné poznatky a postupy z problematiky stanovovania kritických záťaží sú zhrnuté v manuáli z roku 2004 (ICP Modeling and Mapping, 2004). Jedným z aktuálnych trendov je okrem celkového spresňovania národných databáz a realizácie najmä snaha o aplikáciu dynamických modelov pre výpočet kritických záťaží, ako aj realizácia výpočtov kritických hodnôt pre ťažké kovy. Potreba zahrnutia časového aspektu do výpočtu kritických záťaží vznikla na základe zistení, že reakcia (odozva) pôd na atmosférické vstupy je časovo zdržaná (konečnými) tlmivými procesmi, ako je napr. kationová výmenná kapacita vzhľadom na zmeny v atmosférickej depozícii. Tieto procesy môžu oddialiť okamžité dosiahnutie kritickeho chemického parametra, takže môže trvať dekády alebo dokonca až storočia, kým sa v ekosystéme dosiahne rovnováha (POSCH et al. 2001). Potvrdzujú to aj výsledky prezentované v drafte najnovšej správy ICP Forests (LORENZ et al. 2007), ktorá na základe výsledkov celoeurópskeho mapovania prekračovania kritických záťaží upozorňuje na fakt, že v dôsledku už naakumulovaných zakyslujúcich látok v pôdach naďalej pretrvávajú riziko environmentálnych škôd na neakceptovateľnej úrovni a v nastávajúcich dekádach možno očakávať pokračovanie ekologických problémov ako na lesných pôdach, tak aj v iných prírodných ekosystémoch. Výsledky dynamického modelovania ukázali, že zotavovanie z imisného stresu bude naďalej veľmi pozvoľné a môže si vyžadovať v niektorých prípadoch až stovku rokov. Zatiaľ však bolo dynamické modelovanie v rámci Európy viac riadené dostupnosťou všetkých požadovaných vstupov ako reprezentatívnosťou zahrnutých plôch, preto výsledky nemožno zatiaľ považovať za finálne. V budúcnosti sa plánuje tvorba modelu

na báze údajov zo všetkých monitorovacích plôch II. úrovne. V súvislosti s dynamickými modelmi výpočtu KZ poukazuje KUNCA (2003) na zvýšenú potrebu získavať kvalitné vstupné údaje o zložitých pôdnych procesoch aj v rámci monitorovacej siete Slovenska, čo je však otázkou nemalých finančných i časových prostriedkov.



Obr. 1.
Hranice záujmového územia a lesných hospodárskych celkov – Kysuce a Orava
Kysuce and Orava region and borders of the target Working-Plan Areas

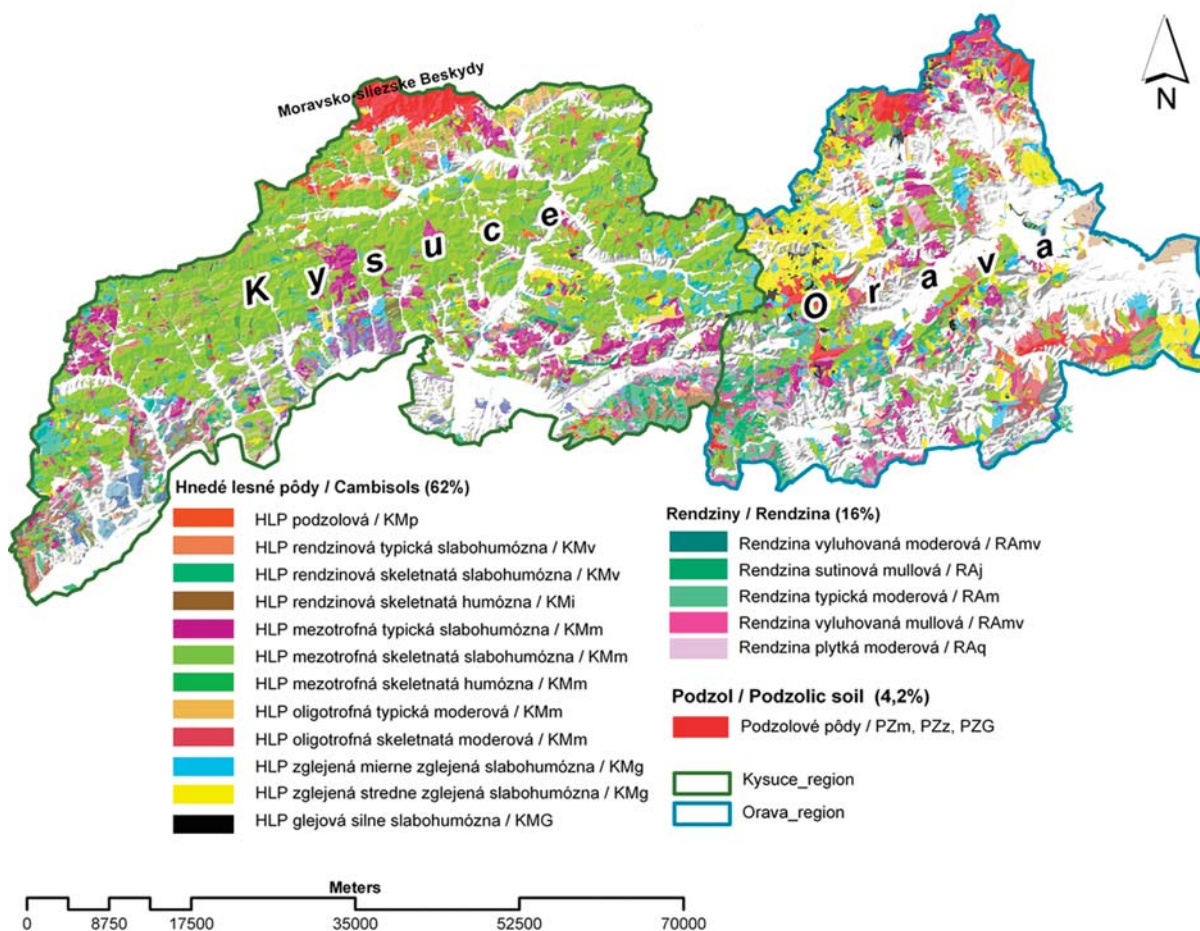
METODIKA

Vymedzenie a charakteristika skúmaného regiónu

Záujmový región je vymedzený hranicami vybraných lesných hospodárskych celkov (12 LHC v oblasti Kysúc a 12 LHC v oblasti Oravy), a to z praktického dôvodu získavania údajov z lesných hospodárskych plánov. Hranice lesných hospodárskych celkov a celého modelového územia, ktoré bolo predmetom mapovania kritických zátŕaží, vidíme na obrázku 1. Z geologického hľadiska patrí celé modelové územie do flyšového pásma, čo znamená, že dominantnou materskou horninou je pieskovec, miestami sa vyskytujúci v kombinácii s bridlicou, ílovcami, sprašovou hlinou, slieňmi alebo prímiesami iných hornín. Vyšší podiel kremitého pieskovca v severnom pohraničí Kysúc sa odráža aj na výskyte odlišného pôdneho typu (podzolové pôdy) ako na väčšine územia. V zmysle Morfogenetického klasifikačného systému pôd Slovenska (MKSP, Kolektív 2000) prevládajú na modelovom území kambizeme modálne (Kysuce), v oravskej časti je mozaika pôd pestrejšia, v zastúpení sa viac vyskytuje kambizem pseudoglejová až glejová a v južnej časti tiež kambizemné a modálne rendziny (obr. 2). V drevinovom zložení prezentovaného modelového územia dominuje smrek (okolo 60 – 70 %), ďalej buk, jedľa, borovica, smrekovec a ostatné dreviny.

Princípy použitých metód

Princípom metód stanovenia kritických zátŕaží je výpočet neutralizačnej kapacity prírodného prostredia (hornín, pôd a vôd) a jeho schopnosti pohlcovať vodíkové ióny uvoľnené pri atmosférickej



Obr. 2.
Priestorové rozloženie najzastúpenejších pôdnych typov v modelovom území
Spatial distribution of the dominant soil types in the target area

Tab. 1.

 Prehľad parametrov vstupujúcich do výpočtu kritických záťaží metódou SSMB, ich charakteristika a spôsob odvodenia
 Input parameters required for critical loads calculation by SSMB method, their characteristic and way of their acquisition

Skupina vstupov/ Group of entries	Vstupný parameter/ Entrance parameter	Jednotky/ Units	Charakteristika/ Characteristic	Spôsob odvodenia, resp. výpočtu/ Calculation
Klimatické a hydrologické/ Climatic and hydrologic	RR	[mm]	Dlhodobý priemer zrážkových úhrnov 1950 – 1981/ Long-term average of precipitation sums 1950 - 1981	Priestorový model zrážok vytvorený na základe údajov zo staničnej siete SHMÚ (n = 654), rozlíšenie 30 m/ Space model for precipitation based on data from station network SHMÚ (n = 654), differentiation 30 m
	T	[°C]	Dlhodobý priemer ročnej teploty vzduchu 1950 – 1981/Long-term average of annual air temperature 1950 - 1981	Model teplôt vzduchu odvodený z údajov SHMÚ (n = 169)/ Model air temperatures derived from data of SHMÚ (n = 169)
	Q	[m ³ .ha ⁻¹ .rok ⁻¹]/ [m ³ .ha ⁻¹ .year ⁻¹]	Množstvo vody odtekajúcej do podložia/ Water volume running into parent rock	Ovodené z rozdielu modelu zrážok a výparu z lesa (TOMLAIN 1991)/ Derived from difference of precipitation model and evaporation from forest (TOMLAIN 1991)
Imisné/Pollution	BC _{dep} , C _{dep} , N _{dep} , S _{dep}	[ekv.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]/ [eq.ha ⁻¹ .year ⁻¹]	Celková depozícia bázických prvkov, síry, dusíka a chloridov/Total deposition of basic elements, sulphur, nitrogen and chlorides	Hodnoty odvodené z priestorového modelu depozície 2000 – 2005 vypočítanej podľa vzťahov v tabuľke 2/ Values derived from space deposition model 2000 – 2005 calculated according to relationships in table 2
Porastové/Stand	BC _u = B _{cu}	[ekv.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]/ [eq.ha ⁻¹ .year ⁻¹]	Príjem bázických kationov drevinami/ BC uptake	Výpočet osobitne pre jednotlivé dreviny na základe obsahu bázických prvkov v kôre a dreve, hustoty dreva a kôry, prírastku v rubnom veku, priemernej hodnoty zakmenenia a korigované faktorom prepočtu jednotiek adekvátnym pre Mg, Ca, K/ Calculation for individual tree species based on content of basic elements in bark and wood, density of wood and bark, increment in cutting age, average value of stand density and revised by factor of units calculation adequate for Mg, Ca, K
	N _u	[ekv.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]/ [eq.ha ⁻¹ .year ⁻¹]	Príjem dusíka drevinami/ N uptake	Výpočet osobitne pre jednotlivé dreviny na základe obsahu dusíka v kôre a dreve, zodpovedajúcej hustoty dreva a kôry, prírastku v rubnom veku, priemernej hodnoty zakmenenia a korigované faktorom prepočtu jednotiek pre N/Calculation for individual tree species based on nitrogen content in bark and wood corresponding to density of wood and bark, increment in cutting age, average value of stand density and revised by factor of units calculation for N
	(B _c /Al) _{ent}		Kritický pomer vyluhovania BC vo vzťahu k hliníku/ Critical ratio of BC leaching related to aluminum	Tabuľková hodnota rôzna pre jednotlivé druhy drevín: 1,2 pre smrek a borovicu, 1,4 pre jedľu a pomer 0,6 pre buk (podľa SVERDRUPA, WARFVINGA 1993)/Table value different for particular tree species: 1.2 for spruce and pine, 1.4 for fir and 0.6 for beech (according to SVERDRUP, WARFVINGE 1993)
	K _{gibb}	[m ⁶ .ekv ⁻²]	Koeficient „Gibbsite“ vyjadruje rovnováhu medzi H a Al/ Coefficient “Gibbsite“ expresses balance between H and Al “Gibbsite“ _Al(OH) ₃ je sekundárny minerál, ktorý sa vo významnej miere vyskytuje najmä v pôdach s vysokou intenzitou zvetrávania minerálnej zložky/“Gibbsite“ _Al(OH) ₃ is secondary mineral occurring above all in soils with high intensity of weathering of mineral component	Tabuľková hodnota rôzna podľa ekosystému: 200 m ⁶ .ekv ⁻² horná hranica lesa a kosodrevina, 300 m ⁶ .ekv ⁻² horské smrekové lesy, 500 m ⁶ .ekv ⁻² podhorské zmiešané lesy a teplomilné opadavé lesy (SVERDRUP, WARFVINGE 1993)/ Table value different according to ecosystem: 200 m ⁶ .eq ⁻² upper forest border and mountain pine, 300 m ⁶ .eq ⁻² mountain spruce forests, 500 m ⁶ .eq ⁻² piedmont mixed forest and thermophilic deciduous forests (SVERDRUP, WARFVINGE 1993)
	(B _c /Al) _{ent}		Kritický pomer vyluhovania BC vo vzťahu k hliníku/ Critical ratio of BC leaching related to aluminum	Tabuľková hodnota daná pôdnym typom a hĺbkou prekorenenia (Tabuľka 5, upravená podľa kolektívu DE VRIES et al. 1997)/ Table value based on soil type and depth of roots (Table 5 adapted according to DE VRIES et al. 1997)
Pôdne/Soil	BC _w	[ekv.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]/ [eq.ha ⁻¹ .year ⁻¹]	Koeficient zvetrávania bázických kationov v koreňovej zóne/ Weathering coefficient of basic cations in root zone	Tabuľková hodnota daná pôdnym typom a hĺbkou prekorenenia (Tabuľka 5, upravená podľa kolektívu DE VRIES et al. 1997)/ Table value based on soil type and depth of roots (Table 5 adapted according to DE VRIES et al. 1997)
	f _{dc}		Denitrifikačná frakcia/ Denitrification fraction	Tabuľková hodnota daná pôdnym typom: f _{dc} = 0,1; 0,5; 0,7; 0,8 (Tabuľka 5, upravená podľa kolektívu DE VRIES et al. 1997)/ Table value based on soil type f _{dc} = 0,1; 0,5; 0,7; 0,8 (Table 5 adapted according to DE VRIES et al. 1997):
	N _i	[ekv.ha ⁻¹]	Množstvo imobilizovaného dusíka v pôde/ Amount of immobilized nitrogen in soil	Modelované podľa vzťahu s priemernou ročnou teplotou vzduchu/ Modelled according to relationship with average annual air tempe- rature
	N _(crit)	[ekv.m ⁻³]	Kritická koncentrácia dusíka/ Critical nitrogen concentration	Tabuľková hodnota: 0,0143 pre ihličnaté porasty a 0,0215 pre listnaté porasty/Table value: 0.0143 for coniferous stands and 0.0215 for deciduous stands
	N _{le(crit)}	[ekv.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]/ [eq.ha ⁻¹ .year ⁻¹]	Kritické množstvo vyluhovania dusíka/ Critical amount of nitrogen leaching	Výpočet podľa vzťahu: N _{le(crit)} = Q x N _{crit} / Calculation according to relationship: N _{le(crit)} = Q x N _{crit}

Tab. 2.

Vzťahy pre výpočet celkovej depozície
Relations used for calculation of total deposition

Depozícia elementu/Deposition 2000 – 2005	Mokrú depozícia/Wet deposition		F_{de}
S dep	RR x	0,457	1.5 (beech, fir, pine) – 2.0 (spruce)
$N \cdot NH_4$ dep	RR x	0,336	1.5
$N \cdot NO_3$ dep	RR x	0,282	
Cl dep	RR x	0,109	1
Na dep	RR x	0,105	1.3
K dep	RR x	0,053	
Mg dep	RR x	0,049	
Ca dep	RR x	0,195	

Tab. 3.

Priemerné obsahy dusíka (N) a základných prvkov (BC) v dreve a kôre jednotlivých drevín (podľa analýz vzoriek na TMP Slovenska v sieti 16 x 16 km, vybrané boli len monitorovacie plochy v rámci Oravy a Kysuc)

Average contents of nitrogen (N) and basic cations (BC) in the wood and bark of the selected tree species (according to sample analysis at Slovak monitoring plots in 16 x 16 km grid; only adequate data from Kysuce and Orava region were used)

Drevina/ Tree species	Drevo/Wood				Kôra/Bark			
	N hm.% suš.	Mg mg.kg ⁻¹ suš.	Ca mg.kg ⁻¹ suš.	K mg.kg ⁻¹ suš.	N hm.% suš.	Mg mg.kg ⁻¹ suš.	Ca mg.kg ⁻¹ suš.	K mg.kg ⁻¹ suš.
smrek/spruce	0,05	249	1 060	516	0,36	628	11 068	1 637
buk/beechn	0,05	370	1 350	1 438	0,58	774	24 629	3 334
jedľa/fir	0,02	233	1 170	702	0,42	687	16 700	1 320
borovica/pine	0,05	429	1 560	719	0,43	246	4 800	488

Tab. 4.

Hodnoty hustoty dreva a kôry použité pre výpočet príjmu N a BC drevinami (POŽGAY et al. 1993)

Values of the wood and bark density used for calculation of N and BC uptakes (POŽGAY et al. 1993)

Drevina/Tree species	Hustota/Density [kg. m ⁻³]	
	Drevo/Wood	Kôra/Bark
smrek/spruce	380	650
jedľa/fir	370	650
borovica/pine	430	550
buk/beechn	561	775

depozícii zlúčenín síry a dusíka tak, aby nedochádzalo k acidifikácii prostredia a poškodzovaniu ekosystémov. Pri zlúčeninách dusíka je potrebné stanovovať aj kritické zátŕaže pre nutričnú dusík ako maximálny prípustný limit, pri dodržaní ktorého ešte nedochádza k eutrofizácii prírodného prostredia (MINĎÁŠ et al. 1999).

Na plošné mapovanie kritických zátŕaží v Kysucko-oravskom regióne bol použitý jednovrstvový stacionárny model SSMB (Steady State Mass Balance) podľa metodiky DE VRIESA (1991), ktorá bola neskôr

upravená v správe Koordinačného centra pre dopady (POSCH et al. 1999). Hodnoty kritickej zátŕaže pre výskumnú lokalitu Šadibolovci (Kysuce – 901 m n. m.) boli kalkulované pomocou modelu PROFILE (SVERDRUP et al. 1990). Obidva modely sú verifikované na základe množstva experimentálnych podkladov z intenzívnych štúdií lesných ekosystémov a sú v súčasnosti považované za najprogressívnejšie metódy pre hodnotenie acidifikačných procesov prebiehajúcich v pôde (KUNCA 2003).

Vstupné parametre pre výpočet CL metódou SSMB

Na úrovni jednotiek priestorového rozdelenia lesa (JPRL) bol vypracovaný rozsiahly súbor vstupných informácií o klíme, pôdnom prostredí, rastových pomeroch drevín, a depozícii síry, dusíka a bázičných prvkov. Na základe vstupných parametrov, podrobne popísaných v tabuľke 1, boli pre vybranú modelovú oblasť Kysuc a Oravy stacionárnou metódou SSMB stanovené nasledovné parametre kritických záťaží v lesných ekosystémoch (podľa POSCHA et al. 1995, MINĎÁŠA et al. 1999 a KUNCU 2003):

- Maximálna kritická záťaž pre síru ($CL_{max}(S)$) je najvyššou depozíciou síry, ktorá za predpokladu nulovej depozície dusíka prispieva v ekosystéme k škodlivým efektom a je determinovaná najmä bilanciou bázičných katiónov v pôde.

$$CL_{max}(S) = BC_{dep} - C_{ldep} + BC_w - BC_u + 1,5 \cdot ((B_{cdep} + B_{cw} - B_{cu}) / (B_c / Al)_{crit}) + Q^{2/3} \cdot (1,5 \cdot (B_{cdep} + B_{cw} - B_{cu}) / (B_c / Al)_{crit} \cdot K_{gibb})^{1/3}$$

- Maximálna kritická záťaž (prípustná depozícia) acidifikačného dusíka ($CL_{max}(N)$), je v prípade nulovej depozície síry súčtom viazaného dusíka a depozíčne závislej denitrifikácie.

$$CL_{max}(N) = CL_{min}(N) + CL_{max}(S) / 1 - f_{de}$$

- Minimálna kritická záťaž pre dusík ($CL_{min}(N)$) je súčtom celkovej depozície dusíka zadržanej procesmi imobilizácie a odberom vegetácie s následným vyťažením.

$$CL_{min}(N) = N_i + N_u$$

- Kritická záťaž nutričného dusíka ($CL_{nut}(N)$) predstavuje maximálny podiel dusíka, ktorý je ekosystém schopný využiť bez vyvolania procesu eutrofizácie pôd a povrchových vôd. Zahŕňa úbytky dusíka z ekosystému a prípustné vymývanie dusíka a denitrifikáciu

$$CL_{nut}(N) = N_i + N_u + N_{le(crit)} / 1 - f_{de}$$

Výpočtom uvedených parametrov kritických záťaží pre všetky jednotky priestorového rozdelenia lesa sme získali podklady k tvorbe máp osobitne pre vybrané štyri dreviny s najvyšším zastúpením v modelovom území (smrek, buk, jedľa a borovica). Z dôvodu obmedzeného rozsahu príspevku nie je možné prezentovať všetky mapové výstupy, preto vo vyhodnotení prednostne venujeme pozornosť drevinám smrek a buk, a parametrom kritických záťaží $CL_{max}(S)$ a $CL_{nut}(N)$. Pre kompletnosť uvádzame pre dreviny jedľa a borovicu aspoň histogramy a tabuľkové spracovanie hodnôt kritických záťaží síry a dusíka.

Príprava klimatických vstupov a modelovanie depozície

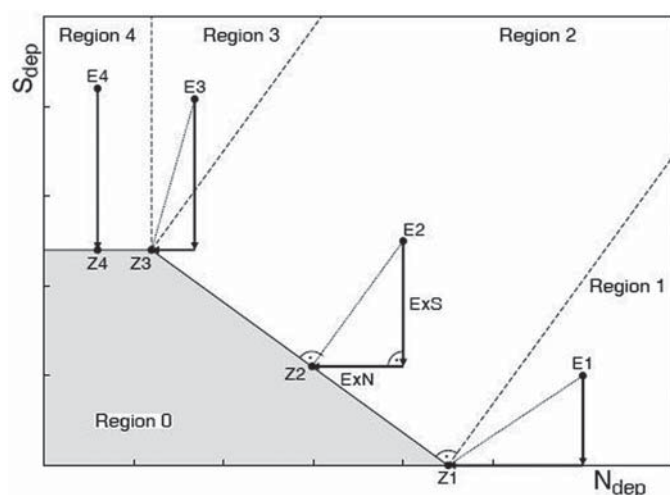
Stacionárne modely uvažujú s predpokladom, že kritická záťaž je „prírodná vlastnosť lesného ekosystému“, ktorá sa v čase nemení, preto ako vstupy, tak aj výsledné hodnoty sú dlhodobé priemery a je potrebné ich posudzovať z hľadiska dlhodobých efektov. Na základe uvedeného faktu vstupovali do výpočtu kritických záťaží práve dlhodobé priemery úhrnov zrážok a teplôt vzduchu, vytvorené na báze

Tab. 5.

Koeficienty zvetrávania bázičných katiónov v zóne prekorenenia a hodnoty denitrifikačnej frakcie podľa rôznych pôdných typov (DE VRIES et al. 1997)

Values of the weathering rates in the root zone and denitrification fraction according to soil types (DE VRIES et al. 1997)

Pôdny typ/ Soil type	Mapový kód/ Map code	Zvetrávanie BC/ Weathering rate [eq. ha ⁻¹ . yr ⁻¹ . m ⁻¹]	Hĺbka prekorenenia/ Root depth [m]	Zvetrávanie BC v koreňovej zóne/ Weathering rate in root zone [eq. ha ⁻¹ . yr ⁻¹]	f _{de} / Denitrification factor
Rendziny/ Rendzinas	21, 22, 2324, 25, 26	10 000	0,3	3 000	0,1
Hnedozem/ Brown soils	44	2 000	0,6	1 200	0,1
Luvizem/ Luvisols	51	1 500	0,4	600	0,1
	54	2 000	0,4	800	0,1
Kambizem/ Cambisols	61	2 000	0,5	1 000	0,1
	62, 63, 66	1 500	0,5	750	0,1
	160	500	0,5	250	0,1
Podzol/Podzols	71, 72, 73	500	0,3	150	0,1
Pseudogley/ Pseudogley	81	1 000	0,3	300	0,7
	82	1 500	0,3	450	0,7
Fluvizem/ Fluvisols	91	1 000	0,4	400	0,1
	93	10 000	0,4	4 000	0,1
	94	2 500	0,4	1 000	0,1
	96	2 000	0,4	800	0,1
Organozem/ Histosols	111, 112	200	0,4	80	0,8
Antropozem/ Anthropic soils	121	1 000	0,2	200	0,1
Ranker/Rankers	122	500	0,1	50	0,1



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

Obr. 3.

Rôzne prípady prekračovania kritických zátŕaží pre konkrétnu funkciu kritickej zátŕaže (podľa metodiky POSCHA et al. 1995)

Illustration of different cases of the exceedance for a given critical load function (according to POSCHA et al. 1995)

údajov z celoslovenskej staničnej siete SHMÚ (raster s rozlíšením 30 m). Celková depozícia síry, dusíka, chlóru a bázických prvkov bola modelovaná podľa modelu dlhodobých priemerov ročných úhrnov zrážok, prepočítavacích koeficientov mokrej depozície a faktorov obohatenia porastových zrážok (tab. 2, upravené podľa MINDÁŠA, ŠKVARENINU 1998). Prepočítavacie koeficienty sú aktualizované na obdobie rokov 2000 - 2005 podľa meraní kvantity a kvality zrážok (wet-only) na EMEP stanici Liesek v uvedených rokoch (Správy o kvalite ovzdušia, 2000 - 2005).

Príjem dusíka a bázických prvkov

Výpočet príjmu dusíka (N) a bázických prvkov (BC) prebiehal individuálne pre každú zo štyroch záujmových drevín a osobitne pre drevo a kôru. Príjmy dreva a kôry boli následne po jednotlivých prvkoch sčítané, pričom celkový príjem bázických prvkov je tvorený sumou príjmu horčíka, vápnika a draslíka. Príjem sodíka drevinami možno považovať v našich podmienkach za zanedbateľný, preto je Bc_u rovné Bc_o a odlišné označenie je v tomto prípade len formálne. Podľa tabuľky 1 je zřejmý výpočet príjmu dusíka a bázických prvkov.

Jedným z dôležitých vstupov pre výpočet príjmov sú obsahy dusíka a bázických prvkov v kôre a dreve jednotlivých drevín. Pre výpočet boli použité výsledky analýz obsahov N a BC zo siete trvalých monitorovacích plôch Slovenska (16 x 16 km), ktoré boli interpolované geoštatistickými metódami do priestoru (v prípade nepotvrdennej priestorovej závislosti boli použité priemerné hodnoty z plôch spadajúcich do záujmového regiónu). V tabuľke 3 sú uvedené priemerné obsahy dusíka a bázických prvkov jednotlivých drevín použité vo výpočte.

Ako ďalší prvok ovplyvňujúci hodnotu celkového príjmu dusíka a bázických prvkov drevinami je hustota dreva a kôry. Pre vybrané dreviny boli použité hodnoty uvedené v tabuľke 4 (POŽGAY et al. 1993).

Rubný prírastok drevín bol vykalkulovaný pre každú jednotku priestorového rozdelenia lesa na základe bonity dreviny a rubného veku uvedených v rastových tabuľkách (HALAJ et al. 1987 – celkový priemerný prírastok CPP v m³ hrubiny bez kôry, pre zásobovú úroveň 2 a združený porast). Pomocou opravných koeficientov (+10 %) bol prírastok prepočítaný na hrubinu s kôrou, z čoho boli následne odvodené prírastky kôry osobitne.

Hodnoty celkového príjmu dusíka a bázických katiónov drevinami boli v jednotlivých porastoch (JPRL) ešte redukované priemerným zakmenením v záujmovej oblasti (0,9).

Pôdne parametre

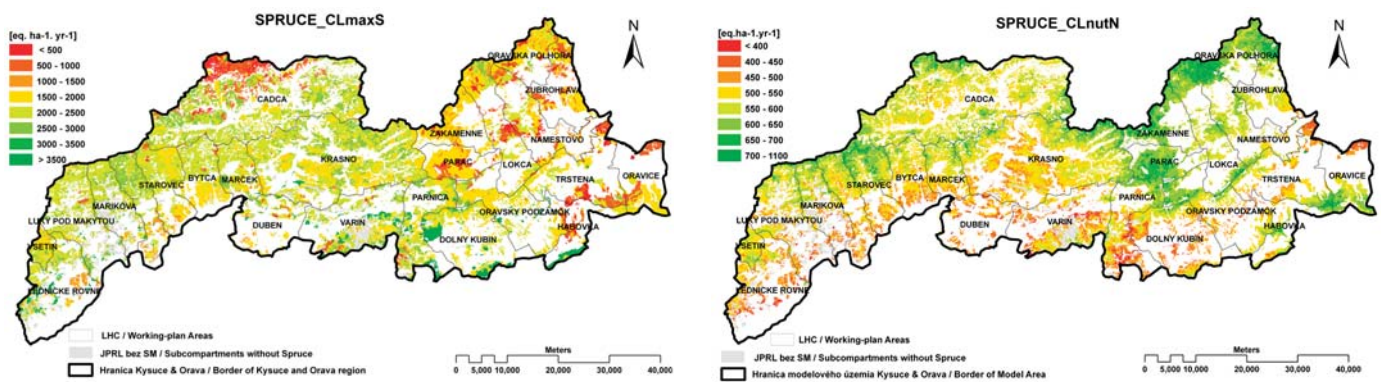
Kľúčovými vo výpočte kritických zátŕaží sú parametre pôdnych procesov, najmä zvetrávanie bázických katiónov. Intenzitu zvetrávania však ovplyvňuje veľké množstvo faktorov prostredia a jeho kvantifikácia je preto veľmi komplikovaná. Stanovenie miery zvetrávania materskej horniny je tak považované za jeden z najslabších článkov aj vo výpočte kritických zátŕaží lesných pôd. Pre naše účely boli ako podklad použité lesnícke pôdne mapy a na základe ich transformácie do mapových kódov pôdnej mapy Slovenska boli v zmysle práce DE VRIESA et al. (1997) každému pôdnemu typu priradené zodpovedajúce hodnoty koeficienta zvetrávania bázických katiónov a denitrifikačnej frakcie (tab. 5). Hĺbka koreňovej zóny bola pre každý pôdny typ stanovená podľa empirických zistení z daného regiónu (10 - 60 cm).

Prekračovanie kritických zátŕaží

Na posúdenie ohrozenia lesných ekosystémov v predmetnom území bolo potrebné konfrontovať imisné vstupy (depozíčné modely) s výsledkami mapovania kritických zátŕaží a tak zistiť, o koľko a na ktorých miestach sú limitné hodnoty prekročené, resp. neprekročené. Prekračovanie kritických zátŕaží bolo vypočítané pre každú drevinu osobitne podľa algoritmov uvedených v manuáli Mapping Manual (2004, Chapter VII). Každý porast (JPRL) bol v zmysle metodiky POSCHA et al. (1995), prezentovanej na obrázku 3, zaradený podľa vlastných parametrov do jedného z piatich regiónov (región 0 až región 4). Keďže v rámci jedného porastu je možné a bežné zmiešanie viacerých druhov drevín, boli v konfliktných prípadoch brané do úvahy dreviny s vyššími hodnotami prekračovania kritickej zátŕaže (z dôvodu zohľadnenia najvyššieho rizika ohrozenia lesného ekosystému).

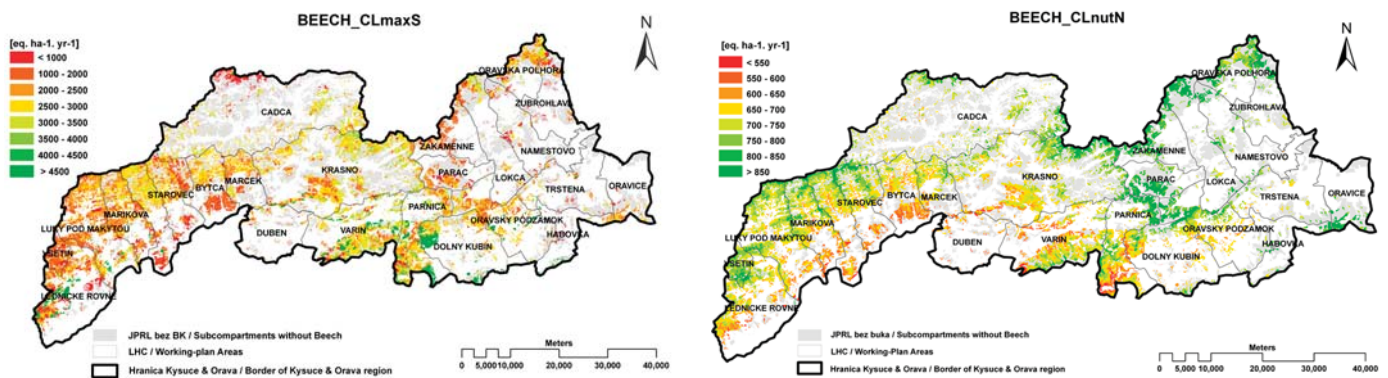
Metodika výpočtu CL modelom PROFILE

Pre zhodnotenie protiacidifikačného potenciálu lesných pôd a kalkuláciu hodnôt kritických zátŕaží v predmetnej oblasti bol paralelne zvolený aj druhý (lokálny) prístup, a to výpočet kritických zátŕaží pomocou modelu PROFILE (SVERDRUP et al. 1990). Výpočet prebiehal v rámci výskumnej plochy na lokalite Šadibolovci (901 m n. m., Kysuce, LHC Krásno). Na tejto ploche sme sa v lesnom poraste horskej polohy sústredili na dominantnú drevinu smrek. Pôdnym predstaviteľom je na uvedenej lokalite kambizem modálna, t.j. najzastúpenejší pôdny typ v skúmanom regióne. Z uvedenej lokality boli z 5 rôznych hĺbok pôdnej sondy odobraté vzorky pôd (do 80 cm), v ktorých bol rtg difrakčnou práškovou analýzou vyhodnotený kvantitatívny podiel ílových a neílových minerálov (%).



Obr. 4.

Priestorové rozloženie hodnôt maximálnej kritickej záťaže síry (vľavo) a nutričného dusíka (vpravo) pre drevinu smrek v lesných porastoch Kysuc a Oravy
 Spatial distribution of the maximum critical loads for sulphur (left map) and critical loads of nutrient nitrogen (right map) for spruce in the Kysuce and Orava regions



Obr. 5.

Priestorové rozloženie hodnôt maximálnej kritickej záťaže síry (vľavo) a nutričného dusíka (vpravo) pre drevinu buk v lesných porastoch Kysuc a Oravy
 Spatial distribution of the maximum critical loads for sulphur (left map) and critical loads of nutrient nitrogen (right map) for beech stands in the Kysuce and Orava regions

Hodnoty vstupov látok z atmosférickej depozície boli prebraté z priamych depozičných meraní na monitorovacej ploche Grónik (875 m n. m., plocha II. úrovne ICP Forests) počas obdobia rokov 2001 - 2004. Pre mierne korekcie depozície boli depozičné dáta konfrontované tiež s celoslovenským modelom atmosférickej depozície vypočítaným podľa koeficienta mokrej depozície na základe množstva zrážok a depozičného faktora.

Ako chemické kritérium bol vo výpočte použitý pomer Bc/Al (pomer koncentrácií bázičných kationov vápnika, draslíka, horčíka a voľného hliníka v pôdnom roztoku) a kritickými hodnotami boli na úrovni konkrétnych drevín údaje pre 10 a 20% riziko, keď kritickými sú hodnoty 2,8 a 1,2. Podrobnejšie je metodika modelu Profile uvedená v práci KUNCU (2003).

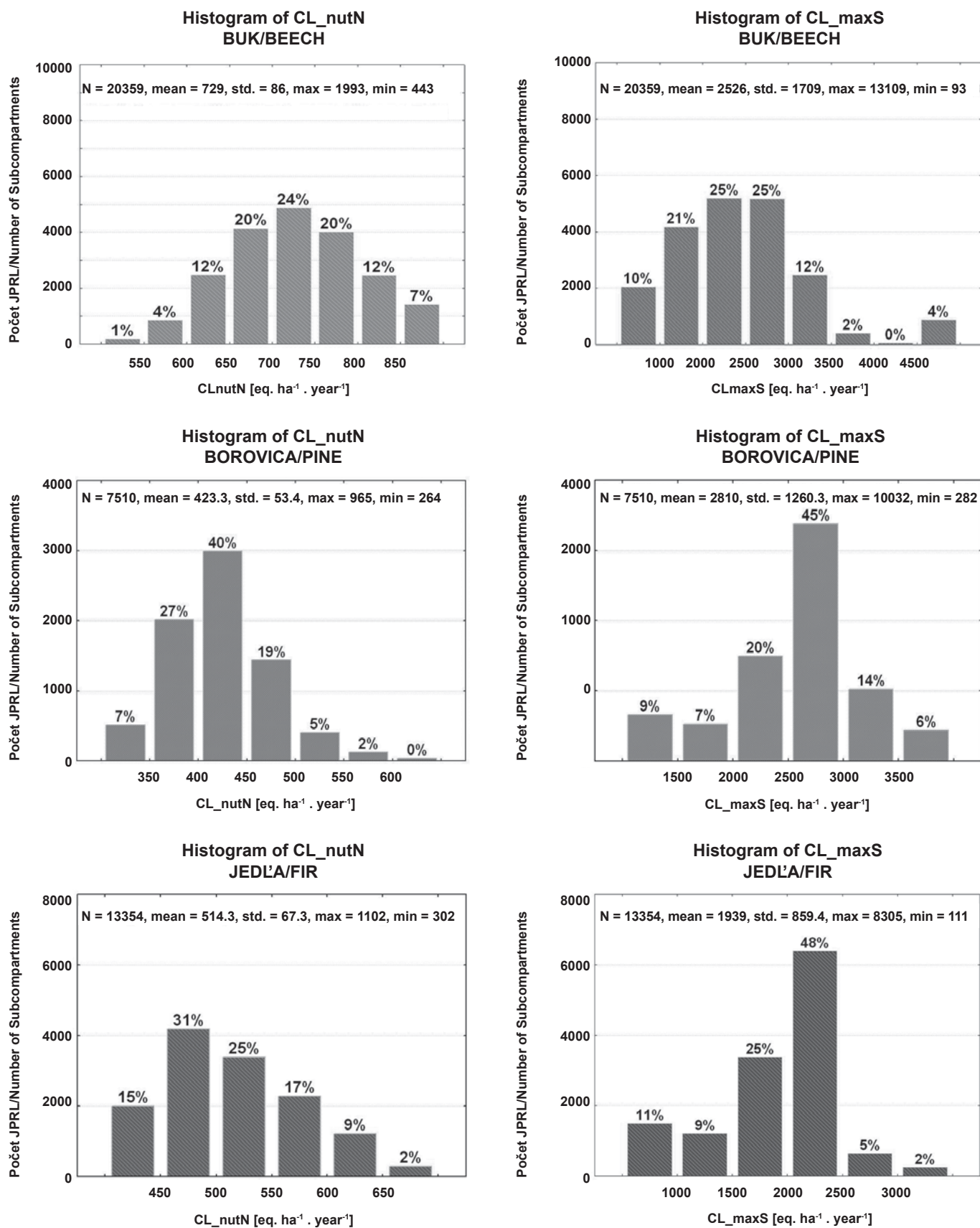
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Mapovanie kritických záťaží metódou SSMB

V rámci mapovania kritických záťaží v regióne Kysuc a Oravy bolo celkovo spolu zhodnotených 41 877 porastových jednotiek (JPRL). Vyše 90 % zo všetkých jednotiek tvorili porasty so smre-

kom, v 49 % bol v drevinovom zložení zastúpený buk, v 32 % zo všetkých porastov sa vyskytla jedľa a takmer 18 % lesných porastov bolo vyhodnocovaných ako borovicových. Výsledky mapovania kritických záťaží pre drevinu smrek a buk v predmetnom regióne Kysuc a Oravy vidíme na obrázkoch 4 a 5. Maximálna kritická záťaž síry dosahuje najnižšie hodnoty v severnom pohraničí Kysuc a na viacerých miestach Oravského regiónu. Z analýzy histogramu všetkých hodnôt (obr. 6) je zrejmé, že pomerne vysoké percento smrekových porastov (15 %) vykazuje hodnoty kritických záťaží do 1 500 ekv.ha⁻¹.rok⁻¹, ktoré signalizujú pomerne vysokú citlivosť lesných pôd voči zakysľujúcim vstupom. Plošne najvýznamnejší podiel smrekových ekosystémov sa však nachádza v rozpätí hodnôt kritických záťaží síry od 1 500 – 3 000 ekv.ha⁻¹.rok⁻¹. Naopak najvyššie hodnoty Cl_{max}S (najvyššia odolnosť) sa vyskytujú v južných partiách Oravského regiónu, kde sa vo vyššej miere objavujú pôdy s priaznivejšími možnosťami zvetrávania bázičných kationov (rendziny).

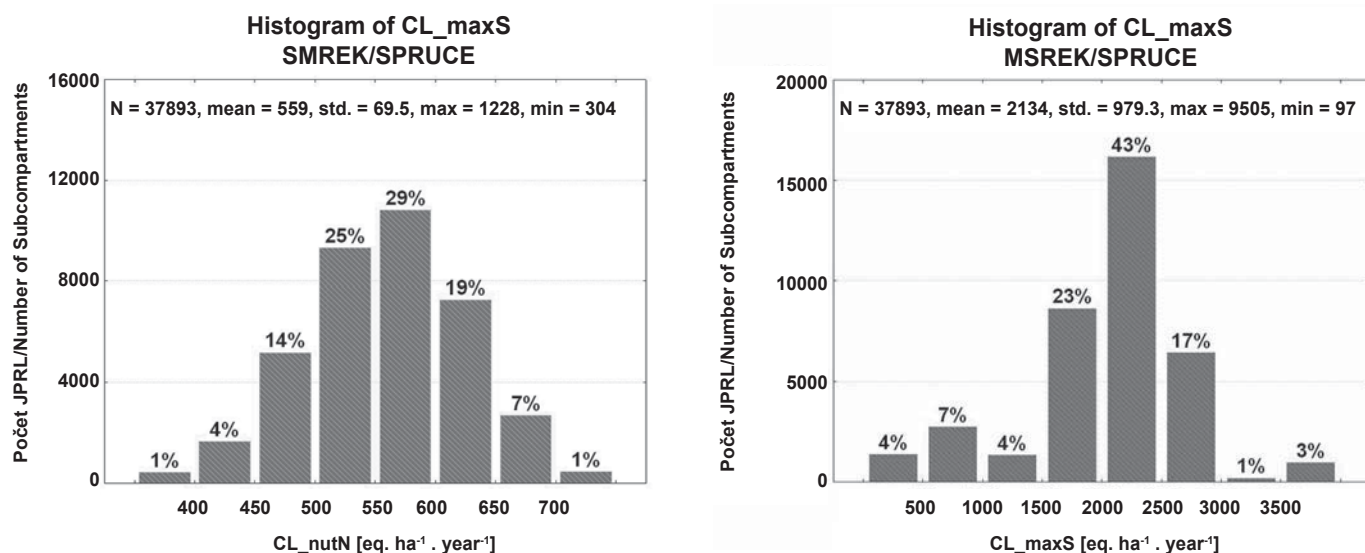
Hodnoty kritických záťaží nutričného dusíka dosahujú v smrekových porastoch pomerne nízke hodnoty, vyše 95 % zo všetkých vyhodnotených porastov sa nachádza do hodnoty kritickej záťaže 700 ekv.ha⁻¹.rok⁻¹, čo predstavuje riziko eutrofizácie takmer na celom



Obr. 6.

Histogramy hodnôt maximálnej critickej záťaže síry (vľavo) a critickej záťaže nutričného dusíka (vpravo) pre drevniny smrek, buk, jedľa a borovica v mapovanom území

Histograms of maximum critical loads of sulphur (left) and critical loads of nutrient nitrogen (right) for spruce, beech, fir and pine in the Kysuce and Orava regions


Obr. 6. (pokračování)

Histogramy hodnôt maximálnej kritickej zátŕaže síry (vľavo) a kritickej zátŕaže nutričného dusíka (vpravo) pre drevniny smrek, buk, jedľa a borovica v mapovanom území

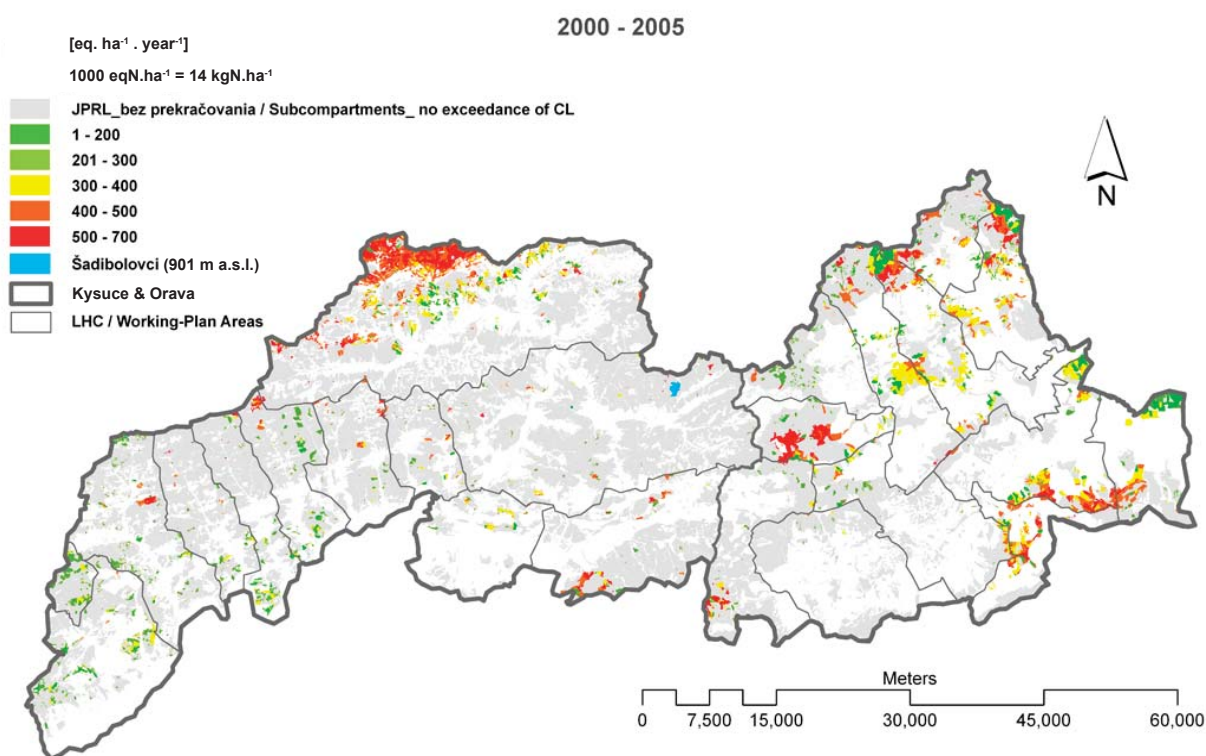
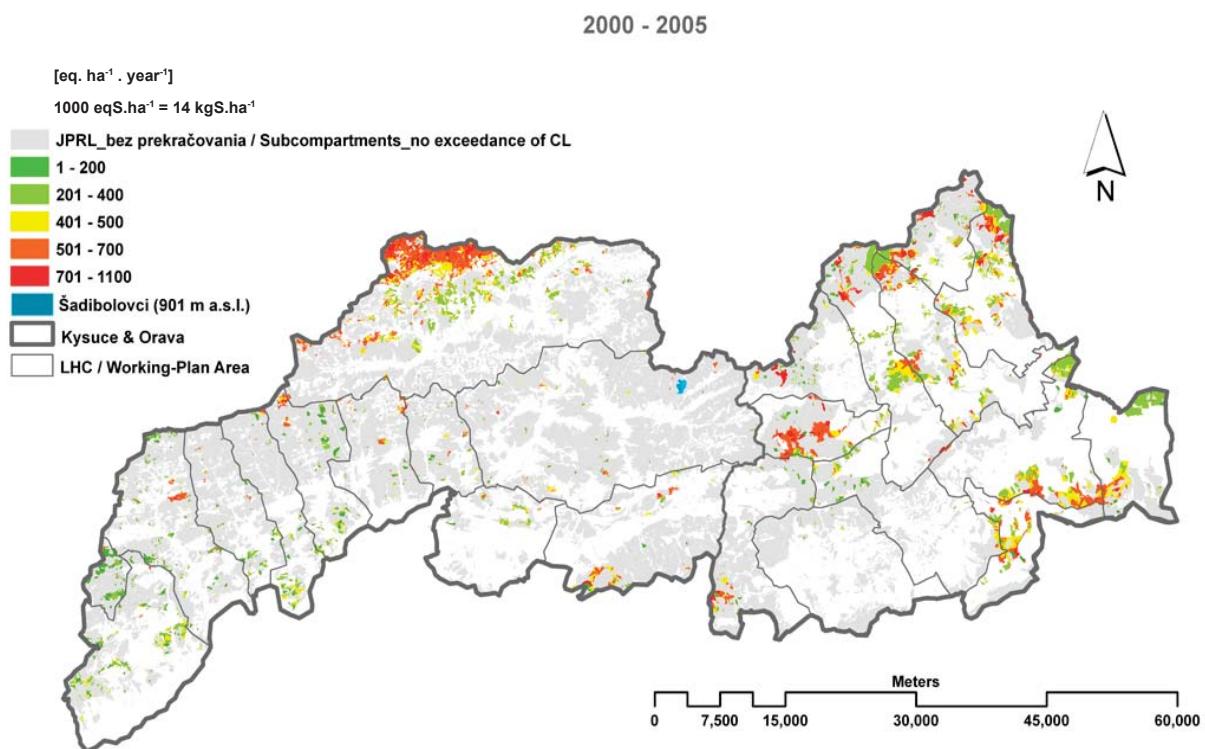
Histograms of maximum critical loads of sulphur (left) and critical loads of nutrient nitrogen (right) for spruce, beech, fir and pine in the Kysuce and Orava regions

Tab. 6.

Hodnoty 5, 50 a 95 percentilov maximálnej kritickej zátŕaže síry ($CL_{max}S$), minimálnej kritickej zátŕaže dusíka ($CL_{min}N$) a kritickej zátŕaže nutričného dusíka ($CL_{nut}N$) vypočítané pre región Kysuc a Oravy, v porovnaní s publikovanými údajmi pre lesy Slovenska, lesnú oblasť Poľana a Nízkyh Tatier

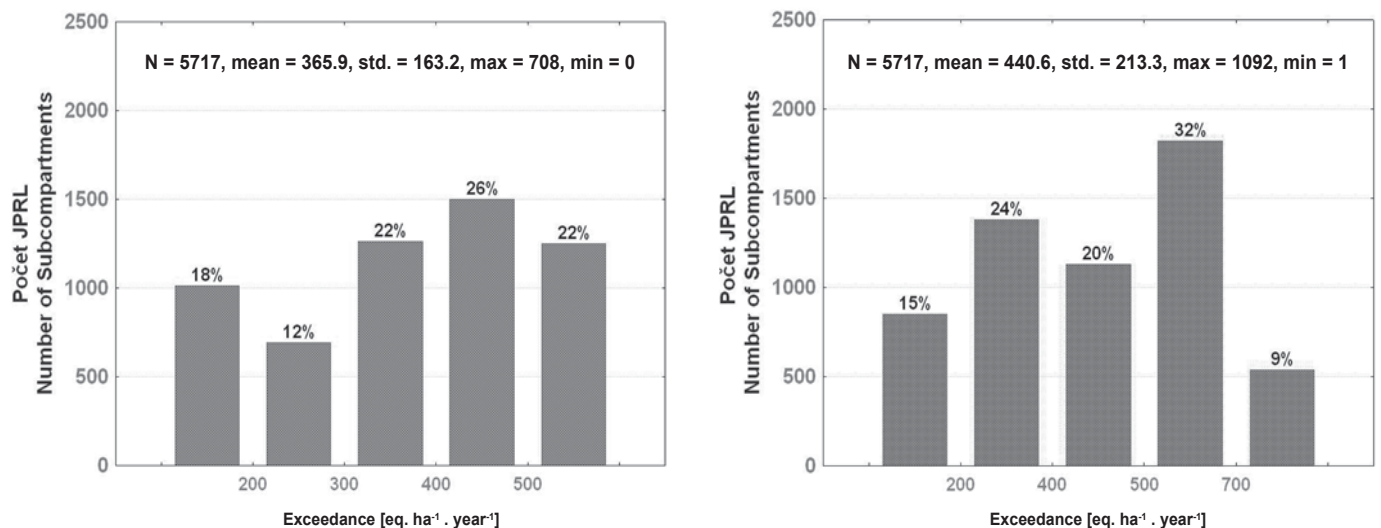
Percentile values of critical loads (in eq.ha⁻¹.yr⁻¹) for nitrogen and sulphur calculated for four dominating forest trees species within the Kysuce and Orava region in comparison with data published for forest ecosystems in Slovakia, in forest region Poľana and Low Tatras Mts.

Kritické zátŕaže acidity pre lesné ekosystémy regiónu Kysuc a Oravy/Critical loads of acidity for forest ecosystems in Kysuce and Orava regions									
	$CL_{min}N$			$CL_{nut}N$			$CL_{max}S$		
[eq.ha ⁻¹ .yr ⁻¹]	5 %	50 %	95 %	5 %	50 %	95 %	5 %	50 %	95 %
Smrek/Spruce	337	435	527	446	560	665	574	2 243	2 781
Jedľa/Fir	305	376	490	420	506	627	413	1 961	2 439
Borovica/Pine	244	307	393	344	420	516	1 156	2 812	7 128
Buk/Beech	348	438	543	600	726	862	321	2 367	3 677
Kritické zátŕaže acidity pre lesné ekosystémy Slovenska/Critical loads of acidity for forest ecosystems in Slovakia (according to ZÁVODSKÝ et al. 2001)									
	$CL_{min}N$			$CL_{nut}N$			$CL_{max}S$		
[eq.ha ⁻¹ .yr ⁻¹]	5 %	50 %	95 %	5 %	50 %	95 %	5 %	50 %	95 %
Lesné porasty/Forest stand	239	463	581	317	607	789	435	2 487	11 039
Ihličnaté/Conifers	268	454	561	357	611	761	1 253	2 724	8 402
Listnaté/Broadleaves	228	469	588	300	604	801	356	2 178	12 142
Kritické zátŕaže síry a dusíka pre lesnú oblasť Poľana/Critical loads of sulphur and nitrogen for forest region Poľana (according to ŠKVARENINA, MINĐÁS 2002)									
	$CL_{min}N$			$CL_{nut}N$			$CL_{max}S$		
[eq.ha ⁻¹ .yr ⁻¹]	5 %	50 %	95 %	5 %	50 %	95 %	5 %	50 %	95 %
Lesné porasty Poľana/Poľana forest stands	442	640	724	512	739	878	1469	3242	4218
Kritické zátŕaže síry a dusíka pre lesnú oblasť Nízke Tatry/Critical loads of sulphur and nitrogen for forest region Low Tatras Mts. (according to MINĐÁS, PAVLENDÁ 2000)									
	$CL_{min}N$			$CL_{nut}N$			$CL_{max}S$		
[eq.ha ⁻¹ .yr ⁻¹]	5 %	50 %	95 %	5 %	50 %	95 %	5 %	50 %	95 %
Smrek/Spruce	557	647	711	665	774	839	1 994	2 464	3 692
Jedľa/Fir	569	734	824	668	826	941	1 518	2 010	1 8151
Buk/Beech	621	750	816	801	927	1 001	463	833	2 747



Obr. 7.

Mapové zobrazenie prekračovania kritických zátiaží siry (hore) a dusíka (dole) v lesných ekosystémoch Kysuc a Oravy
Map presentation of CL exceedance of sulphur and nitrogen for forest ecosystems in Kysuce and Orava region (top map for sulphur, bottom map for nitrogen)



Obr. 8.

Histogramy hodnôt maximálnej kritickej záťaže nutričného dusíka (vľavo) a kritickej záťaže síry (vpravo) pre dreveniny smrek, buk, jedľa a borovica v mapovanom území Kysuce a Oravy

Histograms of maximum critical loads of nutrient nitrogen (left) and critical loads of sulphur (right) for spruce, beech, fir and pine in the Kysuce and Orava regions

území. V niektorých častiach územia je tak možné narušenie živovej rovnováhy práve z aspektu nadmerného prekračovania limitov pre nutričný dusík.

V porovnaní so smrekom dosahujú hodnoty maximálnej kritickej záťaže síry pri buku širšie variačné rozpätie, maximálna hodnota $Cl_{max} S$ dosahuje v skúmanom území 13 109 ekv.ha⁻¹.rok⁻¹ (obr. 6), pričom 50 % všetkých hodnotených bukových porastov sa nachádza v rozpätí $Cl_{max} S$ od 2 000 – 3 000 ekv.ha⁻¹.rok⁻¹. Výsledky mapovania kritických záťaží nutričného dusíka preukázali pri buku celkovo vyššie hodnoty, a teda mierne nižšiu ohrozenosť bukových porastov eutrofizáciou prostredia, no celkovo nemožno zistený stav považovať za uspokojivý. Vzhľadom na rozdielny priestorový výskyt jednotlivých druhov drevín je samozrejme možné zrovnávať len frekvenciu výskytu hodnôt (histogramy) kritických záťaží síry a dusíka a nie ich priestorové rozloženie v modelovom území. Z ostatných mapovaných drevín sa ešte vyššou citlivosťou voči acidifikácii prostredia ako smrek ukazuje byť jedľa. Až 20 % hodnôt $Cl_{max} S$ sa pri porastoch s jedľou nachádza do hodnoty 1 500 ekv.ha⁻¹.rok⁻¹. Potvrďuje to aj staršie výsledky laboratórných pokusov, podľa ktorých je jedľa citlivejšia na chemické zmeny v pôde vyvolané kyslou depozíciou (SVERDRUP, WARVFINGE 1993). Podobne aj kritické záťaže nutričného dusíka dosahujú pri jedli a borovici ešte nižšie hodnoty maximálne prírodného limitu pre eutrofizáciu pôd ako pri smreku.

Všetky výsledné hodnoty 5., 50. a 95. percentilov kritických záťaží síry a dusíka sú zosumarizované v tabuľke 6, ktorá zároveň umožňuje porovnanie našich výsledkov s inými publikovanými údajmi v rámci oblastí Slovenska. Rozdiely medzi jednotlivými regiónmi sú zrejme najmä v 5 percentiloch maximálnej kritickej záťaže síry. Nami mapovaný Kysucko-oravský región vykazuje pomerne výrazne nižšie hodnoty $Cl_{max} S$ u ihličnatých aj listnatých druhov v porovnaní napr. s Poľanou alebo Nízkymi Tatrami. Uvedené zistenie je možné interpretovať z rôznych aspektov. Významný rozdiel, ktorý môže celkovo ovplyvňovať výsledné hodnoty kritickej záťaže

síry, je odlišné geologické podložie a zastúpenie pôdnych predstaviteľov v porovnávaných oblastiach (vulkanity v oblasti Poľany, horniny kryštalinika v Nízkych Tatrách a flyš Kysuc a Oravy), s čím úzko súvisia procesy zvetrávania, pôdna mineralógia a celková bilancia bázičných kationov v pôde. Ďalej netreba zabúdať na relatívne zjednodušené stanovovanie depozície bázičných prvkov v porovnaní s reálnou komplikovanosťou ich vnútorných procesov v rámci lesných ekosystémov. Významný vplyv má tiež pravdepodobne parameter príjmu bázičných kationov drevinami, ktorého kalkulácia na základe malého počtu analýz obsahu horčíka, draslíka a vápnika v kôre a dreve drevín nie je vzhľadom na priestorovú premenlivosť týchto obsahov postačujúca.

Variabilita horných hodnôt 95 percentilov maximálnej kritickej záťaže síry v rámci porovnávaných regiónov je logická a viaže sa predovšetkým na plošný výskyt rendzín alebo pararendzín v konkrétnej oblasti.

Prekračovanie kritických záťaží síry a dusíka

Konfrontáciou vypočítaných kritických limitov s hodnotami depozície síry a dusíka modelovanými pre obdobie rokov 2000 - 2005 sme získali priestorové rozloženie prekračovania kritických záťaží (obr. 7). Vyhodnotenie ukázalo celkové prekračovanie kritických záťaží acidity na 13,7 % územia Kysuc a Oravy. Najvyššie hodnoty prekračovania sa viažu k pôdam s nízkym potenciálom zvetrávania bázičných kationov (podzoly, kyslé a oglejené hnedé lesné pôdy). Z obrázku 7 je navyše zjavné, že prekračovanie kritických záťaží kalkulovaných metódou SSMB sa na lokalite Šadibolovci na Kysuciach nepreukázalo (modrý polygón). V rámci Slovenska boli kritické záťaže acidity prekračované v roku 1990 v priemere na 50 %, v roku 1995 na 31 % z celkovej výmery lesných plôch (MINDÁŠ et al. 1999). Znižovanie miery prekračovania je v zhode s celkovým trendom poklesu síranov v atmosférických zrážkach. Výskum v oblasti Spiša v roku 2005 preukázal prekračovanie KZ až na 49 % územia lesných

Tab. 7.

Hodnoty kritických záťaží pre lokalitu Šadibolovci vypočítané modelom PROFILE a príslušná kyslá záťaž (v kekv.ha⁻¹.rok⁻¹)
Critical load values of acidity for spruce stand at Šadibolovci locality calculated by the PROFILE model (in keq.ha⁻¹.yr⁻¹)

Smrek/Spruce [keq.ha ⁻¹ .yr ⁻¹]	Kritická záťaž acidity/Critical load of acidity		kyslá záťaž/ acid load
	10% - risk	20% - risk	
Šadibolovci (901 m a. s. l.)	3,178	4,673	6,512

pôd (KUNCA et al. 2006). Porovnanie s výsledkami zo Spišského regiónu nemožno však vzhľadom na pretrvávajúce lokálne znečisťovanie ovzdušia v tejto oblasti odporúčať.

Mieru prekračovania kritických záťaží síry a dusíka je možné posúdiť nielen na základe mapovej legendy na obrázku 7, ale aj podľa frekvencie výskytu hodnôt prekračovania kritických záťaží. Z histogramov na obrázku 8 je zrejme absolútne aj relatívne vyjadrenie početností jednotiek priestorového rozdelenia lesa a kategórie miery prekračovania kritických záťaží v nich, ktoré sú v súlade s mapovými výstupmi. Čo sa týka prekračovania kritických záťaží síry, v 32 % prípadoch zo všetkých dotknutých JPRL boli limitné hodnoty prekročené kyslými vstupmi o 500 až 700 ekv.ha⁻¹.rok⁻¹ (t.j. cca 8 – 11 kg. ha⁻¹.rok⁻¹). V prípade dusíka bolo prekračovanie kritických záťaží zistené vo väčšine prípadov (78 %) do hodnoty 500 ekv.ha⁻¹.rok⁻¹ (t.j. 7 kg. ha⁻¹.rok⁻¹), vo zvyšných 22 % JPRL bola miera prekračovania vyššia ako uvedených 500 ekv.ha⁻¹.rok⁻¹. V zmysle relatívnej stupnice hodnotenia prekročenia kritických záťaží síry a dusíka podľa MINĐÁŠA a PAVLENDU (2000) môžeme skonštatovať, že prekračovanie kritických hodnôt v mapovanom regióne Kysuc a Oravy môže mať na lesné ekosystémy mierny vplyv v prípade vstupov dusíka a mierny až stredne silný vplyv v prípade depozície síry.

Kritické záťaže podľa modelu PROFILE

Hodnoty kritických záťaží vypočítané modelom PROFILE a príslušná kyslá záťaž pre výskumnú lokalitu Šadibolovci (v kekv. ha⁻¹. rok⁻¹) sú uvedené v tabuľke 7.

K tzv. prekročeniu kritickej záťaže dochádza pri obidvoch rizikách, teda kyslá záťaž vstupujúca z atmosféry je vyššia ako tlmivá schopnosť smrekového lesného ekosystému voči acidifikácii. 10, príp. až 20 % jedincov smreka môže byť poškodených alebo dokonca môže uhynúť vzhľadom na zmenu chemickej bilancie prostredia týchto lesných ekosystémov, prípadne vplyvom tohto fenoménu môžu byť tieto stromy vážne oslabené.

Tieto výpočty naznačili niektoré zaujímavé zistenia. Hodnoty kritických záťaží sú na slovenské pomery pomerne vysoké. Je to zapríčinené hlavne vysokým podielom uvoľnených bázičných kationov v procese pôdneho zvetrávania, čo je jeden zo základných parametrov pri výpočte kritických záťaží. Ročné hodnoty predstavujú až 2 941 ekv.ha⁻¹.rok⁻¹ Ca, Mg, K a Na, čo je spôsobené hlavne pomerne vysokým zastúpením albitu (zhruba 12 %) v každom pôdnom horizonte, príp. ílových minerálov ako chlorit. Albit sa pri procese zvetrávania rozpadáva a okrem iného sa tak uvoľňujú vysoké množstvá sodíka. Pri celkovom zhodnotení atmosférickej depozície je navyše zrejme, že zvlášť vstupy zakysľujúcich zložiek síranov a dusičnanov sú výrazne vysoké na slovenské pomery, zatiaľ čo atmosférické vstupy báz sú v tomto ohľade relatívne nízke.

SÚHRN A ZÁVER

Z mapovania kritických záťaží v Kysucko-oravskom regióne vyplynulo niekoľko poznatkov:

- Zistené hodnoty kritických záťaží síry a dusíka sa pohybujú v rozpätí približne porovnateľnom s publikovanými výsledkami z iných výskumov, v niektorých prípadoch sú hodnoty kritických záťaží výrazne nižšie ako slovenský priemer alebo hodnoty zistené v iných regiónoch, čo môže indikovať nižší potenciál mapovaných lesných ekosystémov voči acidifikácii.
- Na druhej strane i maximálny prípustný limit pre nutričný dusík je podľa nášho mapovania na mnohých miestach prekračovaný a lesné porasty sú tak vystavené aj zvýšenému riziku eutrofizácie a spustenia výživovej nerovnováhy.
- Porovnanie priestorového výsledku metódy SSMB s bodovým výpočtom kritických záťaží acidity modelom PROFILE prinieslo protichodný výsledok. Hodnoty kritickej záťaže acidity vypočítané podľa modelu PROFILE sú na lokalite Šadibolovci (901 m n. m.) prekročené, podľa výsledku SSMB sa na uvedenej lokalite prekračovanie KZ acidity nepreukázalo, čo len potvrdzuje niektoré nevýhody aplikácie celoplošných modelov v menších regiónoch a potrebu získavať podrobnejšie vstupné informácie napr. o pôdnom prostredí a najmä procesoch zvetrávania.
- Prekračovanie kritických záťaží síry a dusíka sa preukázalo na relatívne malej výmere z celového mapovaného územia (13,6 %), čo možno pripísať klesajúcim depozičným vstupom v rokoch 2000 - 2005, no na druhej strane je diskutabilný depozičný model, ktorý by bolo vhodné pri regionálnych aplikáciách podporiť viacerými vlastnými meraniami.

Náš výskum o možnom významnom vplyve zakysľujúcej atmosférickej depozície posledných niekoľkých rokov, ale aj aktuálnej situácie, v podmienkach typických lesných ekosystémov Kysuc a Oravy len potvrdil, že v uplynulom období niekoľkých rokov ako aj v súčasnosti, dochádza k prekročeniu kritickej depozičného limitu (tzv. kritickej záťaže), a tak fenomén znečisteného ovzdušia zostáva naďalej jedným z rozhodujúcich činiteľov, ktoré oslabujú alebo až poškodzujú lesné ekosystémy v niektorých regiónoch Slovenska. S ohľadom na odumierajúce porasty v oblasti severného Slovenska nemožno tiež opomenúť už v úvode spomenutý fakt „imisnej pamäte“ ekosystémov prejavujúcej sa formou oneskorenej reakcie na antropogénnu záťaž v minulosti.

Podakovanie:

Príspevok vznikol ako súčasť riešenia Výskumnej úlohy MP SR „Rekonštrukcia nepôvodných lesných spoločenstiev ohrozených zmenou prírodných podmienok (najmä klímy) na ekologicky stabilnejšie ekosystémy“ (08V0301, úloha č. 12) a vedeckého grantového projektu VEGA č. 1/3283/06.

LITERATÚRA

- DE VRIES, W. Methodologies for assessment and mapping of critical loads and of the impact of abatement strategies on forest soils. The Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water research, Report 46, Wageningen, 1991. 109 s.
- DE VRIES, W., REINDS, G. J., Klap, J., VANMECHELN, L., VAN RANST, E. Calculation of model input to derive critical deposition levels. Annex B 4.2. Base cation weathering. In Mueller-Edzards, Ch., de Vries, W., Erisman, J. W. (eds.): Ten Years of Monitoring Forest Condition in Europe. Studies on Temporal Development, Spatial Distribution and Impacts of Natural and Anthropogenic Stress Factors. Technical Report, BFH, Germany, 1997, s. 343-344.
- HALAJ, J., GRÉK., J., PÁNEK, F., PETRÁŠ, R., ŘEHÁK, J. Rastové tabuľky hlavných drevín ČSSR. Bratislava: Príroda, 1987. 361 s.
- ICP Modelling and Mapping (2004): Manual on methodologies and criteria for mapping critical levels/loads and geographical areas where they are exceeded. UBA-Texte 52/04
- KUNCA, V. Kritické záťaže vo vybraných lesných ekosystémoch biosférickej rezervácie Poľana. Vedecké štúdie 4/2003/A. Zvolen: Technická univerzita, 2003. 71 s.
- KUNCA, V., MINĎÁŠ, J., ŠKVARENINA, J., BELÁČEK, B. Stanovenie kritických záťaží acidity pre lesné pôdy v oblasti stredného Spiša metódou SMB. Záverečná správa APVT. Ed. Jakuš, R. 2006. 196 s.
- LORENZ, M., FISCHER, R., BECHER, G., GRANKE, O., RIEDEL TH., ROSKAMS, P., NAGEL, H.-D., KRAFT, PH. Forest conditions in Europe. Technical Report of ICP Forests. 2nd Draft. 2007, 92 s.
- MINĎÁŠ, J., PAVLENDÁ, P. Hodnotenie kritických záťaží síry a dusíka lesných pôd v modelovom území Nízkych Tatier. Lesnícky časopis, 2000, roč. 46, s. 173-186.
- MINĎÁŠ, J., PAVLENDÁ, P., ŠKVARENINA, J., KREMLER, M., PUKANČÍKOVÁ, K., ZÁVODSKÝ, D. Critical loads of acidity for Slovak forest ecosystems. Meteorologický časopis – Meteorological Journal, 1999, č. 2, s. 15-24.
- MINĎÁŠ, J., ŠKVARENINA, J. Stanovenie depozície elementov ako podklad pre výpočet kritických záťaží lesných pôd. In Lesy a lesnícky výskum pre tretie tisícročie. Medzinárodná vedecká konferencia, 11. - 14. 10. 1998. Zvolen: LVÚ, 1998, s. 341-345.
- NILSSON, J., GRENNFELT, P. Critical loads for sulphur and nitrogen. Acidification research in Sweden. Sept. 1989, National Swedish Environmental Protection Board, 1989, s. 1-2.
- POSCH, M., DE SMET, P. A. M., HETTELINGH, J.-P., DOWNING, R. J. Calculation and mapping of critical thresholds in Europe. CCE Status Report 1995. RIVM, Bilthoven, 1995.
- POSCH, M., DE SMET, P. A. M., HETTELINGH, J.-P., DOWNING, R. J. Modelling and mapping of critical thresholds in Europe. CCE Status Report 2001, RIVM, Bilthoven, 2001, 188 s.
- POŽGAY, A., CHOVANEC, D., KURIATKO, S., BABIAK, M. Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava: Príroda, 1993. 159 s.
- Správy o kvalite ovzdušia a podiele jednotlivých zdrojov na jeho znečisťovaní v SR. 2000–2005. Zdroj: www.shmu.sk
- ŠKVARENINA, J., MINĎÁŠ, J. Imisná záťaž horských lesov biosférickej rezervácie Poľana. Acta Facultatis Forestalis, 2002, vol. 44, s. 29-44.
- SVERDRUP, H.-U., DE VRIES, W., HENRIKSEN, A. Mapping critical loads. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 1990. 124 s.
- SVERDRUP, H.-U., 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 2. Lund University, 1993. 177 s.
- TOMLAIN, J. Waldevaporation auf dem Gebiet der Slowakei. Acta Meteorologica Univ. Comen. Bratislava, 1991, vol. XX, s. 3-19.
- ZÁVODSKÝ, D., MINĎÁŠ, J., PAVLENDÁ, P., ŠKVARENINA, J., KREMLER, M. National Focal Center Report - Slovakia. 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. CCE, RIVM, Bilthoven, 2001, s. 165-167.
- ZÁVODSKÝ, D., BABIAKOVÁ, G., MITOŠINKOVÁ, M., PUKANČÍKOVÁ, K., RONČÁK, P., BODIŠ, D., RAPANT, S., MINĎÁŠ, J., ŠKVARENINA, J., CAMEL, B., REHÁK, Š., WATHNE, B. M., HENRIKSEN, A., SVERDRUP, H., TORSETH, K., SEMB, A., AAMLID, D. Mapping critical levels/loads for the Slovak Republic. Report 37/1995. Oslo: NIVA, 1995. 74 s.

MAPPING OF THE ACIDITY CRITICAL LOADS FOR FOREST ECOSYSTEMS IN THE KYSUCE AND ORAVA REGION

SUMMARY

Unfavourable state of non-original forest stands in northern regions of Slovakia has stimulated more intensive research of factors which should be potentially responsible for this situation. In scientific works the question of air pollution impact on health state of forests is often discussed. The aim of our research is to map critical load values of acidity (CL) for forest ecosystems over the Kysuce and Orava regions and simultaneously to judge to what extent present deposition loads of acidifying compounds are the threat for forest part of the environment. The principle of the CL calculation methods is the determination of environment neutralising capacity (rocks, soils and waters) and its capability to absorb hydrogen ions released during atmospheric deposition of sulphur and nitrogen in the way to avoid environmental acidification and deterioration of ecosystems. For spatial mapping of CLs one-layer SSMB (Steady State Mass Balance) model was applied. Point (local) calculation was realized by multi-layer PROFILE model at research plot Šadibolovci (the Kysuce region).

Extensive set of input information on climate, soil, woody plants growing conditions and atmospheric depositions (S, N, base cations) was elaborated at the level of basic forest management units. On this database the following parameters for the Kysuce and Orava regions were determined by SSMB method: $CL_{\max}(S)$ – maximum critical load for sulphur, $CL_{\min}(N)$ – minimum critical load for nitrogen, $CL_{\max}(N)$ – maximum critical load for nitrogen, $CL_{\text{nut}}(N)$ – critical load of nutrient nitrogen. In this way we obtained spatial distribution of individual CL outputs for four most occurred tree species (spruce, beech, fir, pine). By comparison of calculated critical limits with values of sulphur and nitrogen depositions modelled for time span of 2000 - 2005 we obtained spatial distribution critical load exceedances. The evaluation of maps proved total exceedance of acidity CL at 13,7% within the whole Kysuce and Orava area. The highest values of exceedance are logically related to the soils with low potential of the basic cations weathering (podzol, acid and pseudogley soils). According to published data critical values of acidity were exceeded by the acid deposition amount in 1990 averaging at 50% and in 1995 at 31% of the total forested area within the Slovak Republic. The decreasing percentage of CL exceedances corresponds well to sulphate trends in precipitation.

Also interesting is a comparison of SSMB spatial result with the point calculation critical load by the multi-layer PROFILE model. It was found that critical load calculated by PROFILE model is a little exceeded at research plot Šadibolovci (altitude 901 m a. s. l.), which means that acid input from the atmosphere is higher than the buffering ability of forest soils against acidification. Based on that fact between 10 to 20 percent of the trees could be weakened or even seriously damaged as a result of some chemical changes within the forest ecosystems. According to SSMB-method no CL exceedances were proved, which confirmed some disadvantages of spatial models and also the requirement to obtain more detailed input data on soil environment, especially on the weathering processes. In relation to forest decline in the regions of the northern part of the Slovak Republic, it is necessary to look at the well-known fact of an “immission memory” of the forest ecosystem, which can be shown by the delayed reaction of the trees to the anthropogenic influences in the past.

Recenzováno

ADRESA AUTORA / CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Zuzana Sitková, Ph.D., Národné lesnícké centrum, Lesnícky výskumný ústav
T. G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen, Slovenská republika
tel.: 455 314 158; e-mail: sitkova@nlcsk.org