VPLYV IMISIÍ NA CHRADNUTIE HORSKÝCH LESOV A MOŽNOSTI JEHO ZMIERŇOVANIA

Blanka MAŇKOVSKÁ

Úvod

Asimilačné orgány lesných drevín môžu byť považované za akumulačný monitor (MAŇKOVSKÁ 1996). Nedostatočné množstvo živín môže priamo vplývať na zníženie vitality. Pôsobí však aj ako faktor, ktorý zvyšuje nepriaznivý vplyv znečisteného ovzdušia. Vysoké obsahy rôznych prvkov v asimilačných orgánoch môžu byť výsledkom intoxikácie, alebo vysokého imisného zaťaženia. Podobne nepriaznivé chemické podmienky v koreňovej zóne v pôde môžu viesť k narušeniu zásob živín a nerovnováhe v nutričnej výžive stromov. Interpretácia výsledkov chemických analýz asimilačných orgánov sa vykonáva pomocou limitných hodnôt prvkov (MAŇKOVSKÁ 1996), ale existuje veľké množstvo faktorov, ktoré vplývajú na koncentráciu jednotlivých prvkov (RAITIO 1995).

Zdravotný stav lesov na Slovensku je v dôsledku imisií narušený. Oblasť na hranici slovensko–poľsko–českej bola vyhlásená za druhý čierny trojuholník v Európe. Objavujú sa reťazové poruchy lesných ekosystémov, ktoré vedú k ich postupnej degradácii a rozpadu. V dôsledku dlhodobej záťaže vysokými koncentráciami rôznych druhov imisií nastalo hromadné odumieranie nie len ihličnatých, ale aj listnatých drevín. Uvedený stav sa už dávno netýka len porastov okolo imisných zdrojov, ale aj horských lesov.

Na charakterizovanie stavu lesných porastov na Slovensku bolo vytvorených 8 imisných depozičných typov (Kyslý s popolčekmi zo spaľovania uhlia, resp. ťažkých olejov, s fluórom a chlórom, s organickými látkami a hutnými prachmi; alkalický a amoniakálny), ktoré určujú hlavné chemické zložky imisií. Celkové emisie škodlivín na Slovensku narástli od roku 1970 do r. 1985 asi o 25 %. Po roku 1985 úroveň emisií prakticky stagnuje. Výmera lesa predstavovala v roku 1996 1 987 909 ha a ročná strata len na prírastku predstavovala 327 mil. Sk. Na ozdravné opatrenia je ročne treba 1,5 miliardy Sk.

Cieľom práce je pomocou aktuálneho vzájomného pomeru výživove významných prvkov (Ca, K, Mg, N, Fe, Mn) a pomocou koeficientu zaťaženia imisiami Kz (toxických prvkov – As, Cd, Cr, Cu, F, Hg, Ni, V a Zn) charakterizovať stav horských lesov (vegetačný stupeň 5, 6 a ochranné lesy) v TANAP–e, NAPANT–e, Malej Fatre, Veľkej Fatre a v priemyselnej oblasti Stredného Spiša.

Materiál a metódy

Odber vzoriek asimilačných orgánov lesných drevín (1114 smrekov, 105 borovice, 178 jedle a 574 buka) bol vykonaný na jeseň 1995. K dispozícii sme mali celkom 2153 vzoriek z plochy 800 000 ha na trvalých monitoračných plochách v sieti 16 × 16, 4 × 4 km a v oblasti Stredného Spiša 1 × 1 km. Odber vzoriek vykonali špecialisti pre monitoring z Lesníckeho výskumného ústavu a Lesprojektu vo Zvolene podľa medzinárodnej metodiky pre monitoring. Vzorky asimilačných orgánov lesných drevín sme analyzovali neumyté. Ihličie bolo vysušené pri teplote neprevyšujúcej 60 °C 24 hodín a zhomogenizované. Stanovenie Ca, Cu, Fe, Mn, Mg, Zn sme vykonali pomocou atómovej absorpčnej spektrometrie na AAS Perkin–Elmer, model 3030B; Cd, Cr, Ni, Pb, V na HGA–600, model 3100; As, Se na AAS 3030B, MHS–20 Perkin–Elmer); Hg na ortuťovom analyzátore TMA–254 Tesla Holešovice; F sme stanovili spektrofotometricky na aparáte SPECOL 11 Carl Zeiss Jena a S sme stanovili metódou elementárnej analýzy na aparáte LECO SC 132) a N na aparáte LECO SC 228. Správnosť analytických výsledkov bola overená pomocou kruhových testov medzi 109 laboratórií v rámci IUFRO programu (HUNTER 1994). Výsledky sme matematicko–štatisticky vyhodnotili pomocou základných štatistických metód (Studentov t–test, $p<0,5$). Na vyhodnotenie celkovej záťaže vybraných horských lesov imisiami sme použili koeficient zaťaženia imisiami Kz. Kz vyjadruje prekročenie limitných hodnôt sledovaných prvkov v asimilačných orgánoch lesných drevín (v $mg.kg^{-1}$): As (0,2); Cd (0,5); Cr (1,5); Cu (3); F (2); Hg (0,12); Ni (1); Pb (6); S (1000); V (0,6); Zn (45) (MAŇKOVSKÁ 1996). Hodnota $Kz \leq 1$ znamená vyvážený stav bez vplyvu imisií. Hodnota od 1,01 do 1,3 je charakteristická pre slabú imisnú záťaž. Hodnota 1,31–1,5 znamená strednú imisnú záťaž a hodnota $Kz \geq 1,51$ predstavuje významnú imisnú záťaž.

Výsledky a diskusia

Nutričné pomery N/K, N/Ca, N/Mg, K/Ca, K/Mg, Ca/Mg, S/N, Fe/Mn a koeficient zaťaženia imisiami Kz pre smrek a buk v 5 a 6 vegetačnom stupni a pre ochranný les v oblasti Malej a Veľkej Fatry, Nízkych a Vysokých Tatrách a Strednom Spiši sú v tab. 1 spolu s uvedením hodnoty pre optimálny stav a imisnú záťaž. Obsah vápnika v zásade koreluje s hladinou horčíka a závisí na pôde. Limitná hodnota vápniku pre optimálnu výživu predstavuje pre ihličnaté dreviny 6000 $mg.kg^{-1}$.

Tabuľka 1. Nutričné pomery N/K, N/Ca, N/Mg, K/Ca, K/Mg, Ca/Mg, S/N, Fe/Mn a Kz v asimilačných orgánoch smreka a buka pre vegetačné stupne 5 a 6 a ochranný les

Oblasť	Vegetačný stupeň		Ochranný les	Horské lesy (5+6+0)	Optimálny stav
	5	6			
N/K					1,3–5,0
Malá Fatra	2,3674	–	2,7070	2,3887	
Veľká Fatra	2,0518	2,2882	2,3039	2,1191	
Spiš	3,2462	2,8471	–	3,2124	
Vysoké Tatry	3,1064	3,3160	4,0043	3,4257	
Nízke Tatry	2,9813	2,8518	3,2503	3,0108	
N/Ca					2,0–11,0
Malá Fatra	1,6963	–	4,2830	1,8580	
Veľká Fatra	1,7863	2,3679	1,8158	1,8445	
Spiš	3,7089	4,0935	–	3,7415	
Vysoké Tatry	4,5532	2,3841	4,8895	4,4587	
Nízke Tatry	2,2646	1,5686	4,3562	2,5598	
N/Mg					8,0–28,0
Malá Fatra	1,6963	–	4,2830	1,8580	
Veľká Fatra	1,7863	2,3679	1,8158	1,8445	
Spiš	3,7089	4,0935	–	3,7415	
Vysoké Tatry	4,5532	2,3841	4,8895	4,4587	
Nízke Tatry	2,2646	1,5686	4,3562	2,5598	
K/Ca					0,60–6,0
Malá Fatra	19,4258	–	31,2392	20,1642	
Veľká Fatra	12,3419	16,2957	16,3828	13,4360	
Spiš	20,6114	19,9621	–	20,5564	
Vysoké Tatry	25,2958	19,2371	23,7908	24,2171	
Nízke Tatry	17,3677	16,4775	26,1529	19,0378	
K/Mg					2,30–15,0
Malá Fatra	0,8520	–	1,5822	0,8976	
Veľká Fatra	1,2236	1,8752	1,1351	1,2668	
Spiš	1,2431	1,6235	–	1,2753	
Vysoké Tatry	1,5039	0,7169	1,3736	1,3855	
Nízke Tatry	0,7895	0,5989	1,3223	0,8619	
K/Mg					2,30–15,0
Malá Fatra	8,5109	–	11,5401	8,7002	
Veľká Fatra	7,7813	11,0606	8,5746	8,2236	
Spiš	6,8453	7,7927	–	6,9255	
Vysoké Tatry	8,1622	5,7943	6,5649	7,4042	
Nízke Tatry	6,4923	6,0549	7,9568	6,7096	
Ca/Mg					1,0–10,0
Malá Fatra	14,5283	–	7,2937	14,0762	
Veľká Fatra	9,2156	7,7103	8,4316	8,9362	
Spiš	6,9679	5,3548		6,8313	
Vysoké Tatry	5,8889	9,0762	5,2001	5,9629	
Nízke Tatry	9,9996	11,5220	7,0781	9,7036	

Oblasť	Vegetačný stupeň		Ochranný les	Horské lesy (5+6+0)	Optimálny stav
	5	6			
S/N					0,025-0,032
Malá Fatra	0,1072	–	0,1100	0,1074	
Veľká Fatra	0,1346	0,0958	0,0971	0,1242	
Spiš	0,1212	0,1221	–	0,1213	
Vysoké Tatry	0,0977	0,1173	0,0864	0,0958	
Nízke Tatry	0,1179	0,1142	0,1236	0,1184	
Fe/Mn					0,50
Malá Fatra	0,5232	–	0,0967	0,4965	
Veľká Fatra	0,9482	0,3881	1,2692	0,9557	
Spiš	0,3178	3,1730	–	0,5596	
Vysoké Tatry	0,1548	0,0823	0,1305	0,1398	
Nízke Tatry	6,7514	0,3005	0,1227	3,9846	
Kz					1
Malá Fatra	1,7862	–	1,5801	1,7734	
Veľká Fatra	1,2306	1,0142	1,0659	1,1810	
Spiš	2,1677	2,2611	–	2,1755	
Vysoké Tatry	1,3429	1,4408	0,8918	1,2019	
Nízke Tatry	1,2968	1,4814	1,4532	1,3689	

V asimilačných orgánoch lesných drevín v Európe sa draslík pohybuje od 1 400 do 11 250 $mg.kg^{-1}$ a pre smrekové ihličie má optimum 9000 $mg.kg^{-1}$. Obsah horčíka závisí na pôde. Hodnoty pre horčík v smrekovom ihličí v Európe sa pohybujú od 570 –3750 $mg.kg^{-1}$ Nízke hodnoty Mg korelujú so žltnutím ihličia. Obsah vápnika v zásade koreluje s hladinou Mg (STEFAN *a kol.* 1997).

Nutričný pomer N/K, N/Mg, K/Ca a K/Mg pre buk a smrek u všetkých sledovaných lokalít a vegetačných stupňoch 5 a 6, ako aj v ochranných lesoch ležal v optimálnej úrovni výživy. Nutričný pomer Ca/Mg bol vyrovnaný v obidvoch vegetačných stupňoch u všetkých sledovaných lokalít s výnimkou Malej Fatry vo vegetačnom stupni 5, kde sme zistili výrazný nadbytok Ca. Medzi Ca/Mg v Malej Fatre sme zistili štatisticky významný rozdiel pri porovnaní s ostatnými lokalitami. Nutričný pomer N/Ca signalizuje nedostatočnú výživu v 5 vegetačnom stupni v Malej a Veľkej Fatre, v 6 vegetačnom stupni v Nízkych Tatrách a v ochranných lesoch vo Veľkej Fatre, čo sa prejavilo aj pri štatistickom hodnotení. Medzi N/Ca sme zistili štatisticky významný rozdiel medzi všetkými sledovanými lokalitami s výnimkou Nízkych Tatier s Veľkou a Malou Fatrou a medzi Vysokými Tatrami a Spišom.

Nutričný pomer proteínovej síry k proteínovému dusíku (S/N) sa pohybuje od 0,025 do 0,032 a je relatívne konštantný pre všetky dreviny. Získané výsledky ukázali, že schopnosť síry narastať vo všetkých prípadoch prevyšovala rastlinnú potrebu pre proteínovú syntézu vo všetkých sledovaných horských lesoch. Štatisticky významný rozdiel medzi pomerom S/N sa prejavil len medzi Stredným Spišom a Vysokými Tatrami. Nutričný pomer S/N je citlivý indikátor akumulácie síry v asimilačných orgánoch lesných drevín vystavených atmosférickému znečisteniu. Výsledky prvého hodnotenia obsahu síry v smrekovom ihličí (400–2 300 $mg.kg^{-1}$) v Európe ukázali, že na relatívne veľkom množstve TMP v Nemecku, Slovensku a Veľkej Británii boli nájdené vysoké hodnoty (STEFAN *a kol.* 1997). Ako limitnú hodnotu pre síru je možné považovať hodnotu 1 000 $mg.kg^{-1}$. Zistené údaje o celkovej listovej síre sú však prekvapivo vysoké aj porovnaní s našimi údajmi z roku 1975 (MAŇKOVSKÁ 1996). Potvrdzujú výrazný vplyv oxidov síry na celom území Slovenska. Vyšší obsah celkovej síry ako 1 000 $mg.kg^{-1}$ je na viac ako 4/5 územia Slovenska. STEFAN *a kol.* (1997) uvádza ako optimum dusíka v asimilačných orgánoch lesných drevín hodnoty 17 000 $mg.kg^{-1}$. Výsledky prvého hodnotenia obsahu dusíku v asimilačných orgánoch lesných drevín v Európe (4 200 – 23 800 $mg.kg^{-1}$) ukázali, že na relatívne veľkom množstve TMP v Nemecku, Slovensku a Veľkej Británii boli nájdené vysoké hodnoty (STEFAN *a kol.* 1997).

Zo skúmaných parametrov však len obsahy mangánu v asimilačných orgánoch smreka korelujú s jeho stratou ihličia a preto sa mangán hodnotí ako ukazovateľ škôd na drevinách. Už fáza mobilizovania mangánu ukazuje labilný stav v režime minerálnych látok lesa i stromov. RAITIO *a kol.* (1995) zistili v zdravom smrekovom ihličí hodnoty 320 $mg.kg^{-1}$ a v chradnúcom 1 300 $mg.kg^{-1}$. Mobilizácia mangánu ďalej signalizuje narušenie fyziologickej rovnováhy, ktoré vedie k nepomeru so železom (pomer by mal byť 1:2, hodnota 0,5). STEFAN *a kol.* (1997) uvádza ako optimum pre

železo hodnoty 200 $mg.kg^{-1}$ pre asimilačné orgány všetkých drevín. Nutričný pomer molárneho Fe a molárneho Mn bol najviac premenlivý. Vyrovnaný pomer bol iba v 5. vegetačnom stupni v Malej Fatre. Výrazný nadbytok mangánu sa prejavil v obidvoch vegetačných stupňoch i v ochranných lesoch vo Vysokých Tatrách, v 5. vegetačnom stupni vo Veľkej Fatre a Nízkych Tatrách a v ochranných lesoch Malej Fatry a Nízkych Tatrách. Výrazný nadbytok železa sa prejavil v 5. vegetačnom stupni v Nízkych Tatrách a Veľkej Fatre; V 6. vegetačnom stupni na Strednom Spiši a v ochranných lesoch Veľkej Fatry. Nadbytok železa môže spôsobovať aj s jeho prítomnosť v popolčekoch, usadených v prieduchoch asimilačných orgánov (MAŇKOVSKÁ 1996). Medzi pomerom Fe/Mn na jednotlivých lokalitách sme nezistili štatisticky významný rozdiel.

Antropogénna záťaž asimilačných orgánov smreka a buka v obidvoch vegetačných stupňoch ako aj v ochranných lesoch je vyjadrená pomocou koeficientu zaťaženia imisiami Kz (tab. 1). Iba ochranné lesy vo Vysokých Tatrách a Veľkej Fatre a porasty v 6 vegetačnom stupni vo Veľkej Fatre sú bez výrazného vplyvu imisií. Významnú záťaž predstavuje Stredný Spiš v obidvoch vegetačných stupňoch a vegetačný stupeň 5 a ochranné lesy v Malej Fatre. Stredne zaťažený je a 6 vegetačný stupeň a ochranné lesy v Nízkych Tatrách a 5 a 6 vegetačný stupeň vo Vysokých Tatrách. Menej významná je záťaž 5 vegetačného stupňa vo Veľkej Fatre.

Záver

1. V horských lesoch je naviac potrebné uvažovať s vplyvom ozónu, CO_2 a s faktorom otepľovania. *Možnosti zmierňovania vplyvu imisií na horské lesy záležia od ekonomickej sily nielen nášho štátu.* Okrem domácich zdrojov znečisťovania ovzdušia sa na našom území vo veľkej miere kumulujú aj škodliviny z diaľkového prenosu najmä z Poľska a Českej republiky oproti ktorým má Slovensko z hľadiska prevládajúceho severného, severozápadného a západného prúdenia veľmi nevýhodnú polohu.
2. Zhodnotenie horských lesov

   Vysoké Tatry

   Ochranné lesy vo Vysokých Tatrách sú bez výrazného vplyvu imisií. 5 a 6 vegetačný stupeň je stredne zaťažený imisiami. Nutričné pomery N/K, N/Mg, K/Ca, K/Mg, Ca/Mg, N/Ca vo vegetačných stupňoch 5 a 6, ako aj v ochranných lesoch sú v optimálnej úrovni výživy. Nutričný pomer S/N prevyšoval rastlinnú potrebu. Pomer Fe/Mn bol nevyrovnaný s výrazným nadbytkom mangánu v obidvoch vegetačných stupňoch a v ochranných lesoch.

   Nízke Tatry

   Stredne imisiami je zaťažený 6 vegetačný stupeň a ochranné lesy. Menej významná imisná záťaž je v 5 vegetačnom stupni. Nutričné pomery N/K, N/Mg, K/Ca, K/Mg, Ca/Mg vo vegetačných stupňoch 5 a 6, ako aj v ochranných lesoch sú v optimálnej úrovni výživy. Nutričný pomer N/Ca signalizuje nedostatočnú výživu v 6 vegetačnom stupni. Nutričný pomer S/N prevyšoval rastlinnú potrebu a svedčí o kumulácii síry zo znečisteného ovzdušia. Pomer Fe/Mn bol nevyrovnaný s výrazným nadbytkom mangánu v ochranných lesoch a s výrazným nadbytkom železa v 5. vegetačnom stupni.

   Malá Fatra

   Imisiami je významne zaťažený 5 vegetačný stupeň a ochranné lesy. Nutričné pomery N/K, N/Mg, K/Ca, K/Mg vo vegetačných stupňoch 5 a 6, ako aj v ochranných lesoch sú v optimálnej úrovni výživy. Pomer Ca/Mg bol vyrovnaný v 6 vegetačnom stupni a v ochranných lesoch s výnimkou vegetačného stupňa 5, kde sme zistili výrazný nadbytok Ca. Nutričný pomer N/Ca signalizuje nedostatočnú výživu v 5 vegetačnom stupni v Malej Fatre. Nutričný pomer S/N prevyšoval rastlinnú potrebu a dokumentuje zvýšenú hladinu síry. Pomer Fe/Mn bol nevyrovnaný s výnimkou 5. vegetačného stupňa, kde bol dostatočný. Výrazný nadbytok mangánu sa prejavil v ochranných lesoch.

   Veľká Fatra

   Ochranné lesy a porasty v 6 vegetačnom stupni sú bez výrazného vplyvu imisií a 5 vegetačný stupeň je slabo imisne zaťažený. Nutričné pomery N/K, N/Mg, K/Ca, K/Mg, Ca/Mg vo vegetačných stupňoch 5 a 6, ako aj v ochranných lesoch sú v optimálnej úrovni výživy. Nutričný pomer N/Ca signalizuje nedostatočnú výživu v 5 vegetačnom stupni a v ochranných lesoch vo Veľkej Fatre. Nutričný pomer S/N prevyšoval rastlinnú potrebu a celková síry prevyšovala limitné hod-

noty. Pomer Fe/Mn bol nevyrovnaný s výrazným nadbytkom železa v 5. vegetačnom stupni a v ochranných lesoch.

Stredný Spiš
Lesné porasty v 5 i 6 vegetačnom stupni sú významne ovplyvnené imisiami. Prejavil sa tu najmä zvýšený obsah ťažkých kovov. Nutričné pomery N/K, N/Mg, K/Ca, K/Mg, Ca/Mg, N/Ca vo vegetačných stupňoch 5 a 6, ako aj v ochranných lesoch sú v optimálnej úrovni výživy. Nutričný pomer S/N výrazne prevyšoval rastlinnú potrebu. Celková síra bola zvýšená v celej oblasti a prevyšovala viac ako 2× limitné hodnoty. Pomer Fe/Mn bol nevyrovnaný a s výrazným nadbytkom železa v 6. vegetačnom stupni.

Literatúra

HUNTER, I. R. 1994. Results from the Interlaboratory sample exchange. IUFRO, Working Group S1.02–08 Foliar Analysis. natural Resources Institute, Kent:21.

MAŇKOVSKÁ, B. 1996. Geochemický atlas Slovenska. Lesná biomasa. Geologická služba Slovenskej republiky, Bratislava. ISBN 80–85314–51–7: 87.

RAITIO, H. 1995. Chemical needle analysis as a diagnostic and monitoring method. In: Nilsson, L. O. – Hüttl, R. F. – Johanson, U. T., – Mathy, P. (eds.). Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems. Proceedings of a symposium held in Halmstad, Sweden 7/10 June 1993. European Commission Ecosystem research report No.21.

STEFAN, K. – FÜRST, A. – HACKER, R. – BARTELS, U. 1997. Forest Foliar Condition in Europe. Technical Report. EC and UN/ECE, Brussels, Geneva: 207.

Ing. Blanka MAŇKOVSKÁ, DrSc.
Lesnícky výskumný ústav, Zvolen