

Vplyv imisií na lesné ekosystémy v oblasti stredného Spiša

B. Maňková: Pollution Effects on Forest Ecosystems in the Region of Central Spiš. Život. Prostr., Vol. 33, No. 3, 135–139, 1999.

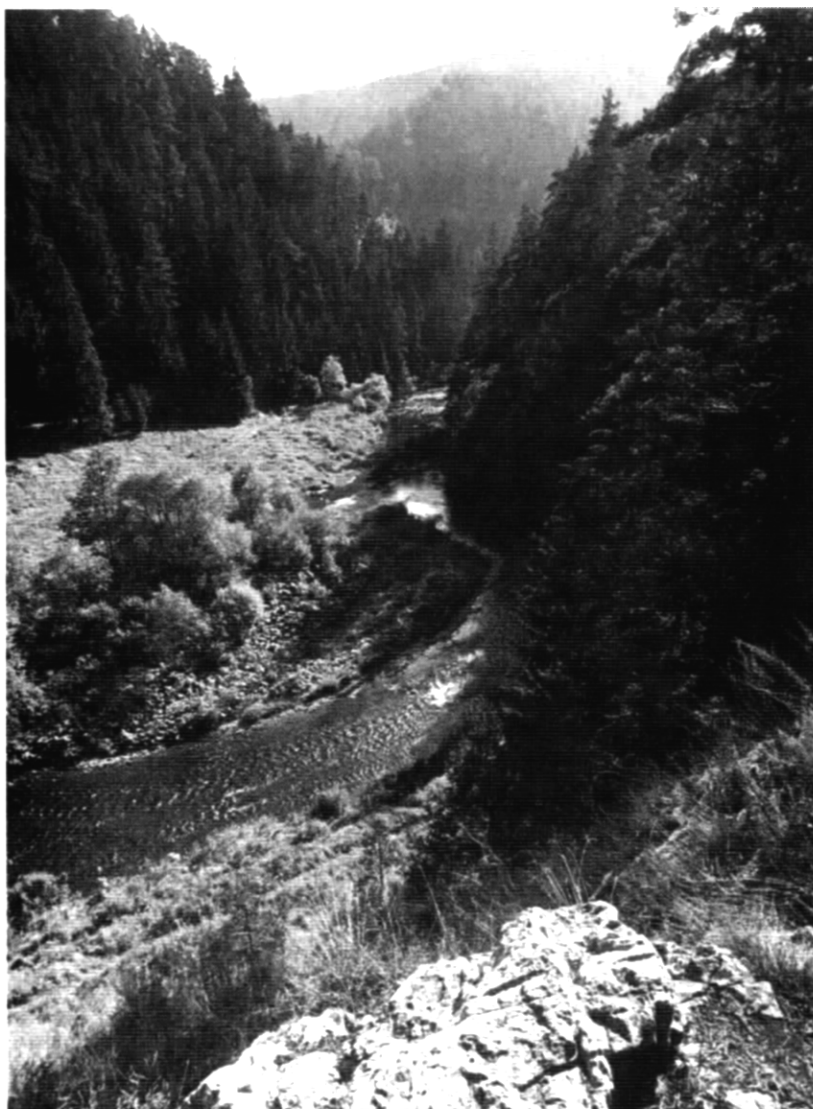
Pollution problems in forest ecosystems, resulting from period of 100 years operation of three smelter complexes in Slovakia, are reviewed. Original data are presented with respect to temporal and spatial trends of nitrogen, sulphur, and heavy metal pollution, and elemental composition of individual aerosols on leaf surface. Spruce stands in the Central Spiš region are loaded by pollutants, 1.7-fold exceeding of critical values and the highest concentrations of As, Fe, Hg, and N were found in this region. The Nízke Tatry Mts National Park was the cleanest region where no element maxima were found. Concentrations of As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, V, and Zn in the Central Spiš as well as in the Nízke Tatry Mts National Park many-fold exceed concentration in three mosses species in the cleanest middle part of Norway. SEM-Investigation of spruce needle waxes of 282 forest sites from industrial Central Spiš showed, that mean wax quality is 2.91–1.04 and 1.52–0.78 on forest background sites from the Nízke Tatry Mts National Park. Concentration of Hg in all study insect species, in eds and in liver of study birds from Spiš region were increased at comparison with control. Hg enters food chain insects-bird.

Antropogénna záťaž biosféry má v súčasnosti globálny charakter. Vplyvom rôznych ľudských činností sa mení normálne zloženie troposféry. Ovzdušie Slovenska, rovnako ako ovzdušie celej severnej pologule, je znečistené najmä oxidom siričitým a oxidmi dusíka. K týmto základným polutantom sa v určitých oblastiach pridružujú ďalšie, z bodových exhaláčnych zdrojov a vytvárajú sa špecifické imisné typy. K takto znečisteným oblastiam patrí aj stredný Spiš.

Vplyv rizikového prostredia s rozličnými stupňami devastácie a ohrozenosti sa prejavil v tejto oblasti aj na lesných ekosystémoch. Evidentné je oslabenie ich populácie, zníženie biologickej rôznorodosti vrátane vymiznutia niektorých druhov. Prachom znečistené ovzdušie mení intenzitu i kvalitu slnečného žiarenia, narastá množstvo ťažkých kovov v pôde, vode, ovzduší i v živých organizmoch. Túto skutočnosť treba hodnotiť na Spiši ako jedno z najväčších ekologických rizík. Pre vysvetlenie problému chradnutia a hynutia lesov je dôležité poznať významné faktory, ktoré narúšajú ich stabilitu a funkčnosť, prípadne ohrozujú ich existenciu. Okrem pôsobenia imisií sú dôležité klimatické vplyvy, vetrové a snehové kalamity, ako aj sucho v súvislosti s celkovým otepľovaním. Z ostatných prírodných fak-

torov je to najmä negatívne pôsobenie lesnej zvere, húb a hmyzu. Synergické pôsobenie všetkých spomínaných nepriaznivých faktorov viedlo na Spiši k rozsiahlym kalamitám, oslabovaniu ekologickej stability a hynutiu drevín. Pre rast a normálny vývoj vegetácie sú nevyhnutné rôzne makro i mikroelementy (nazývame ich esenciálnymi). Dôležitá je ich rovnováha v lesných drevinách. Rôzne látky, ktoré sa nachádzajú v znečistenom ovzduší (napr. síra, ťažké kovy a iné), sa môžu vo vegetačných orgánoch kumulovať, a tak narušiť rastlinnú rovnováhu. Dajú sa dokázať listovými analýzami. Povrch asimilačných orgánov lesných drevín sa hodnotí na základe chemického zloženia usadených častíc (Maňková, 1996). Znečistené ovzdušie vyvoláva eróziu voskov podobnú prirodzene zvetranému povrchu ihličia. Rozlišujeme poškodenia mechanické, hubové a hmyzom. Indikátorová hodnota ihličia závisí principiálne od počtu a štruktúry kryštalických epikutikulárnych voskov. Má charakteristické hodnoty podľa jednotlivých druhov konifér a veku ihličia.

Chceli by sme poukázať na rozdiel v aktuálnej koncentrácii 26 prvkov v 2-ročnom ihličí smreka *Picea abies* Karst. v priemyselnej oblasti stredného Spiša a v národnom parku Nízke Tatry (NAPANT). Ďalej nás zaujímali



zmeny v stave epistomatálnych voskov smrekového ihličia, prítomnosť rôznych častíc na povrchu smrekového ihličia, ako aj koncentrácia ťažkých kovov vo vzorkách machov. Osobitnú pozornosť sme venovali aj prieniku ortuti do populácií hmyzu a vtákov.

Kontaminácia asimilačných orgánov lesných drevín

Informácia o lokalitách, množstve a hlavných zdrojoch emisií a imisných depozičných typoch je v tab. 1. Celková koncentrácia 26 prvkov v 2-ročnom smrekovom ihličí z priemyselnej oblasti stredného Spiša a NAPANT-u, porovnaná s limitnými údajmi študovaných prvkov, je na obr. 1. Odber vzoriek 2-ročného smrekového ihličia sme vykonali na trvalých monitorovacích plochách (TMP), situovaných v sieti 1x1 km na strednom Spiši (282 TMP) a v NAPANT-e (70 TMP) podľa medzinárodnej metodiky (ICP, 1994). Odber smrekového ihličia uskutočnili špecialisti pre monitoring v auguste 1995. Chemické analýzy smrekového ihličia urobili v laboratóriu Geologickej služby v Bratislave. Z výsledkov analýz ihličia vyplýva, že na strednom Spiši boli v tom čase prekročené limitné hodnoty týchto prvkov: arzén, kadmium, chróm, meď, fluór, železo, ortuť, nikel, olovo, síra, vanád a zinok. Porovnanie

Tab. 1. Zoznam lokalít, merné územné emisie, hlavné zdroje emisií a imisný depozičný typ

Lokalita	Merné územné emisie [t.km ⁻²]			Hlavné zdroje emisií	Imisné depozičné typy (PDT)
	SO ₂	NO _x	tuhý spad		
Stredný Spiš	11,317	0,305	2,381	výroba neželezných kovov, výroba ortuti, výroba bária	A3
NAPANT	3,810	1,561	1,416	regionálne znečistenie nebudové zdroje emisií	A1

A1- kyslý PDT s popolčkami; A3- kyslý PDT s hutným prachom

Tab. 2. Typy kategórií častíc usadených v prieduchoch smrekového ihličia [%]

Lokality	Kategórie častíc						
	A	B	D	F _I	F _{IV}	F _V	F _{VI}
Stredný Spiš	63,6	90,9	100,0	18,2	27,3	18,2	36,4
NAPANT	63,6	96,4	100,0	18,2	69,1	–	32,7

F – častice priemyselného pôvodu: F_I – z hlinikárne, F_{IV} – z výroby železných kovov, F_V – z výroby neželezných kovov, F_{VI} – z ostatnej výroby. Častice C, D a E sa v týchto oblastiach nenachádzajú.

najvyšších koncentrácií ťažkých kovov v asimilačných orgánoch smreka na Slovensku (Maňkovská, 1996) ukázalo najmä hromadenie arzénu, medi, ortuti a zinku, ako aj kadmia, niklu, olova a vanádu v oblasti stredného Spiša (v tejto oblasti sú situované priemyselné zdroje emisií – Kovohuty Kropachy a Železnorudné bane Rudňany – výroba ortuti). Na vyhodnotenie celkovej záťaže územia Slovenska imisiami sme použili koeficient zaťaženia imisiami (K_z), ktorý vyjadruje prekročenie limitných hraničných hodnôt sledovaných v asimilačných orgánoch lesných drevín (Maňkovská, 1996). K_{z1} znamená vyrovnaný stav, K_{z2} dvojnásobné a K_{z3} trojnásobné prekročenie limitných hodnôt. Celková záťaž imisiami vyjadrená K_z predstavuje 1,74 zvýšenie na strednom Spiši a 1,3 v NAPANT-e (obr. 2).

Kontaminácia a kvalita povrchu asimilačných orgánov

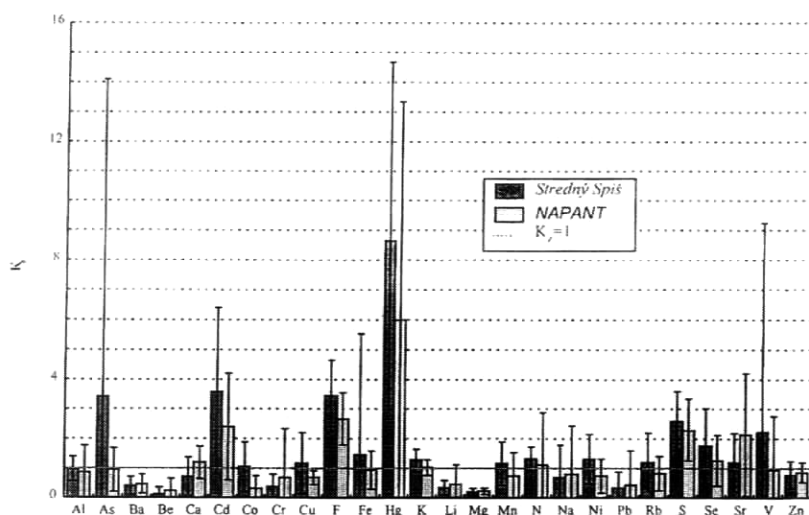
Pri analýze pomocou rastrovacieho mikroskopu JEOL 840 A a röntgenového analyzátoru LINK 10 000 boli hodnotené častice usadené v prieduchoch asimilačných orgánov (exogénny obsah) podľa morfológie a röntgenových spektier. Z každej plochy sa vyšetrilo 20 ihlíc smreka. Klasifikáciu usadených častíc sme vykonali pomocou kategorizácie do 6 základných skupín (Maňkovská, 1996):

- A – častice biologického pôvodu,
- B – častice minerálneho pôvodu,
- C – popolček zo spaľovania uhlia,
- D – popolček zo spaľovania mazutu,
- E – popolček zo spaľovania mazutu s uhlím,
- F – častice priemyselného pôvodu.

Osobitne sme vyhodnotili exogénnu prítomnosť jednotlivých elementov na povrchu asimilačných orgánov. Prieduchy smrekového ihličia z oboch študovaných oblastí obsahovali popolčeky, častice biologického a minerálneho pôvodu. 18 % prieduchov obsahovalo hliník ako súčasť minerálnych látok. Železo ako časť minerálov, prachov a oxidu železitého (Fe₂O₃) sa našlo v 27 % prieduchov smreka na strednom Spiši a 70 %

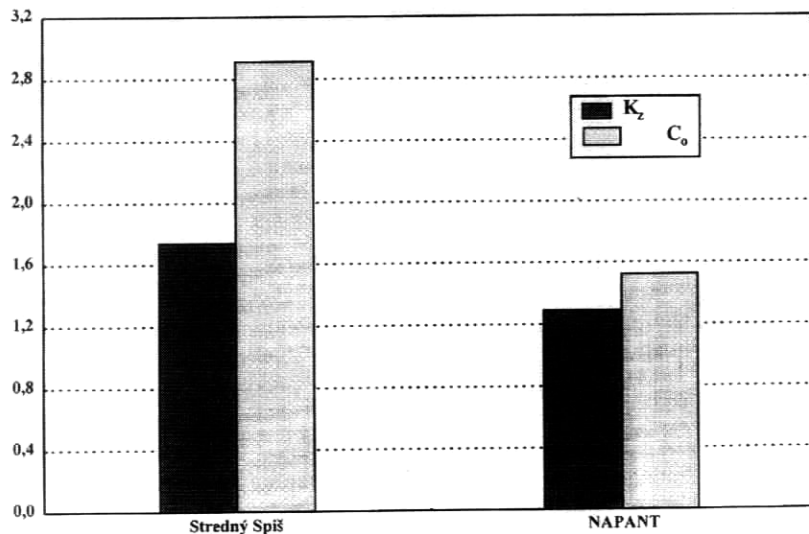
z NAPANT-u (tab. 2). Ďalšie prvky: arzén, chróm, meď, mangán, nikel, rubídium, stroncium, vanád a zinok boli prítomné iba v prieduchoch smrekového ihličia na strednom Spiši. Kvalitu voskov smrekového ihličia sme zisťovali na základe hodnotenia 200 prieduchov na





1. Koncentrácie prvkov v 2-ročnom smrekovom ihličí z priemyselnej oblasti stredný Spiš a Národného parku Nízke Tatry [mg.kg^{-1}]

2. Stav zafaženia imisiami a narušenie povrchových voskov. K_z – koeficient zafaženia imisiami; C_o – koeficient tavenia voskov (aritmetický priemer kvality voskov v 200 prieduchoch).



1 ihlici. V každej lokalite sme hodnotili 20 ks ihlič. Kvantifikáciu zmien povrchových voskov sme vykonali pomocou 5 tried, ktoré boli definované podľa dvoch kritérií: 1. rozdielnej morfológie voskov, 2. rôzneho stupňa zmeny štruktúry voskov k celkovej stomatálnej ploche (Trimbacher, Eckmüllner, 1997). Aritmetický priemer kvality epistomatálnych voskov (C_o) mal hod-

notu 2,91 na strednom Spiši, čo znamená asi 45 % poškodenie povrchových voskov v porovnaní k 1,52 v NAPANT-e (obr. 2).

Kontaminácia machov

V rámci základného výskumu bola zmapovaná prítomnosť arzénu, kadmia, chrómu, železa, niklu, olova, vanádu a zinku v machoch (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens* a *Dicranum scoparium*) v r. 1991, 1995, 1996 a 1997. Chemické analýzy machov sa vykonali v laboratóriu Lesníckeho výskumného ústavu vo Zvolene. Celkový obsah ťažkých kovov v troch druhoch machov na lokalite stredný Spiš porovnaný s výsledkami zo stredu Nórska (Rühling a kol., 1997) je na obr. 3. Obsahy kadmia, železa, ortuti, niklu, vanádu a zinku sú viacnásobne vyššie v priemyselnej oblasti stredného Spiša ako v NAPANT-e. Významné zvýšenie sme pozorovali pri ortuti a kadmii.

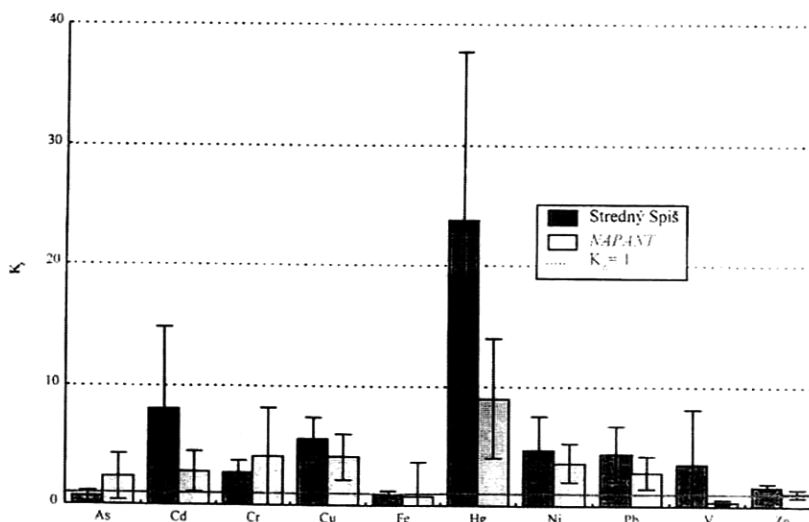
Kontaminácia vtákov

Vzorky vajčiek a mláďat vtákov odchytených v Nórsku (*Ficedula hypoleuca*) pochádzajú z priemyselnej oblasti Odda a z kontrolných oblastí Amotsdalen a Digranes. Na Slovensku z oblasti Rudňany a Kováčová pochádza muchárik bielo-krký (*Ficedula albicollis*), brhlík obyčajný (*Sitta europea*) a sýkorka uhliarka (*Parus ater*). Koncentrácie ortuti vo vajčkách a v pečeni vybraných druhov vtákov z oblasti Rudňany niekoľkonásobne prevyšujú obsahy ortuti z priemyselnej oblasti Odda v Nórsku, ako aj z ostatných kontrolných lokalít v Nórsku a na Slovensku.

Kontaminácia hmyzu

Akumulácia ortuti v hmyzom organizme sa sledovala na 7 lokalitách v priemyselnej oblasti Rudňany u druhov z radov *Coleoptera* (chrobákovité), *Aranea* (pavúkovité), *Lepidoptera* (motýle), čeľade *Tettigoniidae*

(kobyľky) a rodu *Ophilione* (lumkovité). V nórskej priemyselnej oblasti Odda a kontrolných oblastiach (Amottdalen a Digranes) u druhov z radu *Diptera* (dvojkřídlovce), *Lepidoptera* (motýle) a čeľade *Formicidae* (mravcovité). Výber druhov hmyzu urobili špecialisti z Katedry botaniky na Univerzite v Trondheime. Obsah ortuti vo všetkých druhoch hmyzu bol významne zvýšený v blízkosti Železnorudných baní v Rudňanoch v porovnaní so všetkými nóorskymi lokalitami. Ortuť sa dostáva do potravných reťazcov hmyz-vták.



Priemyselné imisie ovplyvňujú lesné ekosystémy v oblasti stredného Spiša. Na základe analýz smrekového ihličia machov, hmyzu a vtákov sme zistili:

- Najvyššie hodnoty hliníka, arzénu, kadmia, kobaltu, medi, fluóru, ortuti, mangánu, dusíka, niklu, rubídia, síry, selénu a vanádu sme našli v priemyselnej oblasti stredného Spiša; bária, vápnika, chrómu, lítia, horčíka, sodíka, stroncia a zinku v NAPANT-e. Imisná záťaž vyjadrená K_z predstavuje 1,74 zvýšenie na strednom Spiši a 1,3 v NAPANT-e.
- Na povrchu smrekového ihličia bol prítomný hliník a železo ako súčasť minerálov a popolčiek. Ďalšie prvky, ako arzén, chróm, meď, nikel, rubídium, stroncium, vanád a zinok boli prítomné iba v prieduchoch smreka zo stredného Spiša.
- Aritmetický priemer kvality voskov (C_o) predstavoval na strednom Spiši asi 45 % poškodenie epistomatálnych voskov v porovnaní s 20 % v NAPANT-e.
- Koncentrácie kadmia, medi, železa, ortuti, niklu, olova, vanádu a zinku v machoch sú v priemyselnej oblasti stredného Spiša viacnásobne vyššie ako v NAPANT-e.
- Obsah ortuti vo všetkých druhoch hmyzu, vajčkách a pečeni vybraných druhov vtákov z oblasti Rudňany bol významne zvýšený v porovnaní so všetkými nóorskymi lokalitami. Ortuť sa dostáva do potravných reťazcov hmyz-vták.

3. Koncentrácie prvkov v 3-ročných segmentoch machov *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens* a *Dicranum sp.* z priemyselnej oblasti stredný Spiš a NAPANT-u v [mg.kg⁻¹]

Literatúra

- ICP, 1994: Manual on Methods and Criteria for Harmonized Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the Effects of Air Pollution on Forest. 3rd Edition, Programme Coordinating Centre West, BHF, Hamburg, Germany, 173 pp.
- Maňkovská, B., 1996: Geochemical Atlas of Slovakia – Forest Biomass. Geologic Servis of Slovakia, 87 pp.
- Rühling, A. a kol., 1994: Atmospheric Heavy Metal Deposition in Europe-Estimation Based on Moss Analysis. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 53 pp.
- Trimbacher, C., Eckmüllner, O., 1997: A Methods for Quantifying Changes in the Epicuticular Wax Structure of Norway Spruce Needles. Eur. J. For. Path. 27, p. 83–93.

„Krásné jsou lesy, kde zůstala zachována symbióza lesa a půdního porostu, kde mech poskytuje dostatek vláhy stromům. Hodně pamatují a procházka lesem mě často vyděsí. Mám pocit, že se ztratila podstata lesa, jeho duše, kterou lidé nahradili tupou monokulturou...“

Konrad Lorenz
(Zachraňme naději)

Ing. Blanka Maňkovská, DrSc. (1942), vedecká pracovníčka Lesníckeho výskumného ústavu, T. G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen. E-mail:mankov@fris.sk