

Záťaž lesných ekosystémov kyslými dažďami, dusíkom a sírou

Karpatské lesné ekosystémy sú kvantitatívne najviac zafaržené zlúčeninami dusíka a síry. Spolu s ďalšími kyslými zložkami v ovzduší spôsobujú priame okysľovanie kvapalných i pevných zrážok. Ich výskumu a kvantifikácii v lesnom pôdnom fonde Slovenskej republiky sa venuje Ústav ekológie lesa SAV, Výskumný ústav lesného hospodárstva i pracovníci Lesníckej fakulty VŠLD vo Zvolene.

Kyslé zrážky

Z chemického hľadiska sa za deliacu čiaru medzi kyslými a zásaditými roztokmi považuje hodnota pH 7. Je známe, že za predpokladu „normálneho“ zloženia vzduchu by sa malo pH destilovanej vody a teda aj zrážok pohybovať okolo 5,6. Posun do kyslej oblasti zapríčiňuje predovšetkým prirodzený obsah CO₂ v ovzduší. Podľa názoru niektorých autorov prirodzený obsah ďalších kyselinotvorných oxidov môže posúvať hodnotu pH zrážok k 4,6.

Z konkrétnych pozorovaní v listnatých i ihličnatých porastoch Slovenska vyplýva, že reakcia vertikálnych zrážok sa podstatnejšie mení len po prechode cez korunovú klenbu smrečín. Koruny smrekových porastov znižujú priemernú reakciu zrážok (pH 5,58) o 1–2 jednotky a zväčšujú rozpätie extrémnych hodnôt, ktoré siahalo od oblastí veľmi silne kyslej (pH 3,2–3,6) až po neutrálnu, príp. mierne alkalickú. So zvyšujúcim sa zakmenením ihličnatých porastov koncentrácia vodíkových iónov dusíka a síry v podkorunových zrážkach vzrastala (obr. 1). Časová dynamika reakcie podkorunových zrážok závisí od vstupov kyslejších, či alkalických substancií z atmosféry, najmä v prípade ihličnatých porastov, pretože ich filtračná schopnosť je vysoká po celý rok. Merania ukazujú, že lesné porasty môžu zvyšovať depozície vodíkových iónov 2–6 krát, dusíka 1,5–2,0 krát a síry dokonca 1,5–3 krát v porovnaní s bezlesím.

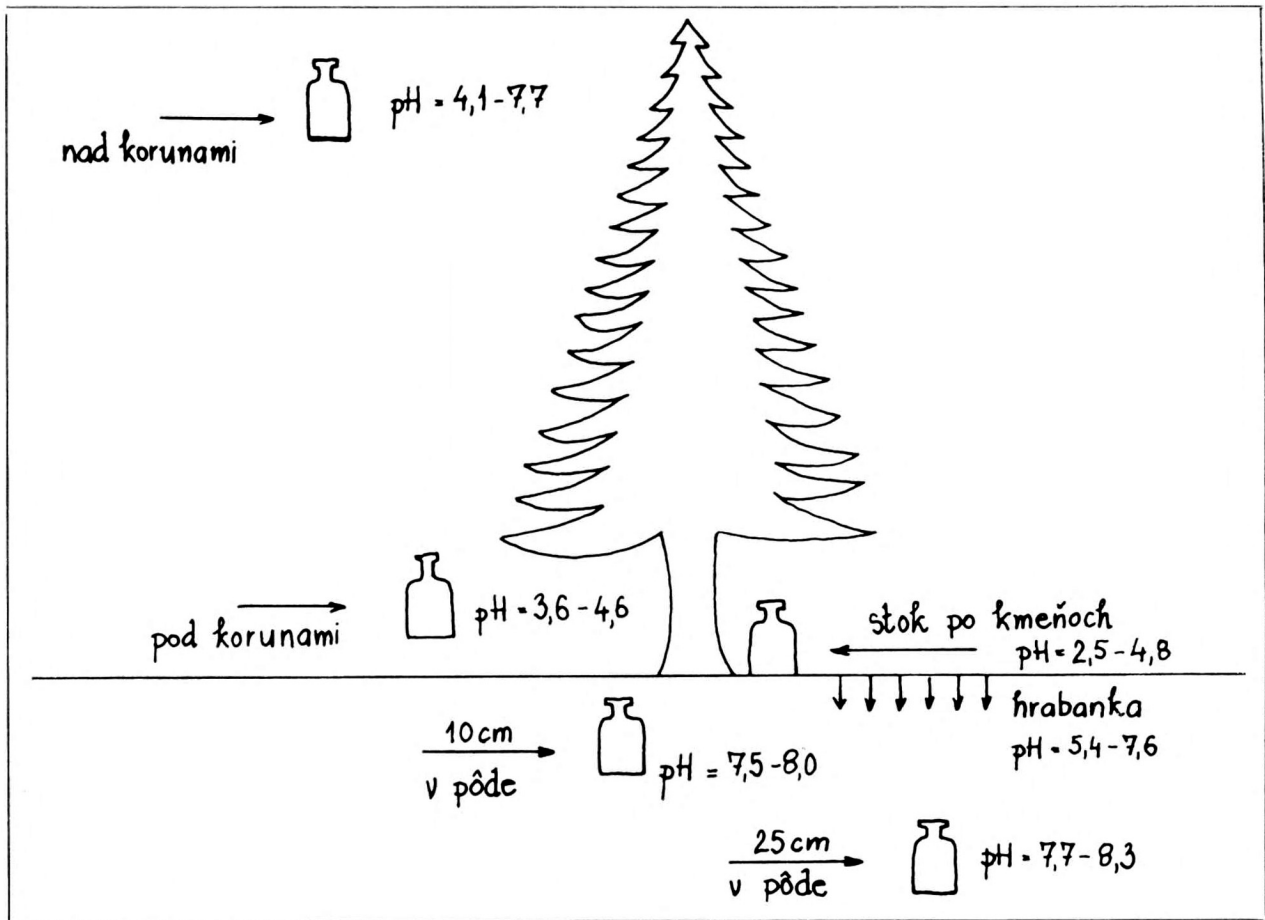
Pri prenikaní pôdou sa chemizmus zrážkových roztokov ďalej transformuje. Výrazne sa tu uplatňuje pufroviača schopnosť samotnej pôdy, ktorá v značnej miere závisí od zásob karbonátov. V prípade smrekových porastov dokázali hnedé rendziny už v povrchovom humuse zvýšiť reakciu prenikajúcich zrážkových roztokov z pH 3,6–4,6 na 5,4–7,6. Maximálne hodnoty sa zistili v prípade strmších svahov, kde sa mohli organické povrchové horizonty pôdy čiastočne premiešať s minerálnymi. Povrchový humus hnedých lesných pôd pod bukovými porastmi prejavuje tiež značnú pufroviaču schopnosť, pretože priemernú reakciu podkorunových zrážok s pH 4,4 zvýšil až o 1,2–1,8 jednotky.

Vstupy dusíka

Najviac dusíka sa do ekosystémov dostáva činnosťou mikroorganizmov fixujúcich dusík zo vzduchu. Najčastejšie sú to baktérie, ktoré po odumretí a nasledujúcej remineralizácii viazaného dusíka obohacujú pôdu o ca 25 kg N.ha⁻¹ za rok (Duvigneaud, 1988). Účinkom fotochemickej fixácie dusíka a vymývaním NO₃⁻ iónov syntetizujúcich sa z N₂ a O₂ pri elektrických výbojoch, môže sa z atmosféry do pôdy ekosystému dodať ďalších 1–4 (10) kg.ha⁻¹ nitrátového a nitritového dusíka. Na druhej strane sa však dusík môže z pôdy aj strácať v dôsledku nitrifikačných procesov, pri ktorých sa dusičnany v menej prevzdušnených pôdach menia až na elementárny dusík. Menšie množstvo NO₃⁻-N, alebo dusíka viazaného v rozpustených organických látkach (ca 5–8 kg.ha⁻¹), môže sa z vlhkej pôdy aj vymyť. V kyslých pôdach sa podľa niektorých autorov základnou zložkou strát dusíka stáva NO₂, ktorý sa v dôsledku malej stability ľahko rozkladá na NO.

Dusík sa do oboch typov ekosystémov dostáva predovšetkým v nitrátovej a amónnej forme. Na rozdiel od smrečín sa časť nitrátov (ca 3 kg.ha⁻¹.rok⁻¹) pri prieniku zrážok cez koruny bučín stráca, takže do pôdy sa ich dostane len asi 13 kg.ha⁻¹ za rok. Koruny smrečín zvyšujú celkovú depozíciu dusičnanového dusíka aj v zrážkach z 12 na 16–17 kg.ha⁻¹ za rok. Množstvo amónneho dusíka tvorí v bučinách približne polovicu z depozície dusičnanového dusíka, v prípade smrečín bol jeho podiel vyšší. Pri prechode zrážok korunami smrečín nastávala pravdepodobne oxidácia NH₄⁺-N, pretože jeho depozícia poklesla o dve tretiny, kým depozícia NO₃⁻-N sa o 25 % zvýšila. V smrečínach klesá podkorunový vstup amónneho N s poklesom zakmenenia porastov, v bučinách boli pomery viac-menej homogénne. Ročne sa pritom pôdy rúbanské obohacujú asi o 23–32 kg.ha⁻¹ minerálneho dusíka z mokrého a suchého atmosferického spad, kým pôdy porastov ho získavajú len asi 21–23 kg.ha⁻¹ (tab. 1).

Uvedené množstvá minerálneho dusíka sú pomerne vysoké, pretože už 30 kg.ha⁻¹ N za rok sa považuje



1. Zmena kyslosti zrážok a schéma ich odberu v lesnom ekosystéme.

za kritickú hodnotu. Nad touto hranicou nastáva totiž hypersaturácia lesných geobiocenóz, narúša sa optimálny pomer prístupných živín a sekundárne sa poškodzujú porasty účinkom abiotických, či biotických faktorov. V Škandinávii je dokonca dlhodobý prísun dusíka v množstve $10-20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ za rok pre mnohé ihličnaté porasty kritický.

V zrážkach prenikajúcich kambizemami bučín koncentrácie nitrátových iónov klesali, v rendzinách smrekových porastov spravidla vzrastali. Koncentrácie NH_4^+ -iónov naopak vždy klesali. V povrchovom humuse bučín sa $\text{NO}_3\text{-N}$ prakticky neakumuloval, zatiaľ čo amónneho dusíka sa v ňom ročne zachytilo ca $5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Vzniknutý rozdiel tvoria pravdepodobne volatilizačné straty dusíka. V smrečinách boli podobné straty N vyššie a v prípade obidvoch jeho foriem predstavovali $7,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ za rok.

Vstupy síry

Síra, na rozdiel od dusíka, dostáva sa do pôdy vo väčšom množstve aj zvetrávaním hornín. Uvoľňuje sa

pri rozklade hornín obsahujúcich pyrit alebo chalkopyrit, príp. sadrovec (v arídnych oblastiach). V anaeróbnych podmienkach sa uvoľnené sírany redukujú na sírniky až sírovodík, ktorý je pre organizmy jedovatý, príp. na elementárnu síru.

V biosfére cirkuluje síra hlavne vo forme sírovodíka, oxidu siričitého a síranov. Sírovodík vznikajúci pri rozklade organických látok v pôde a v mori sa uvoľňuje do atmosféry, kde sa oxiduje na SO_2 . Zdrojmi H_2S a SO_2 sú aj sopky. V súčasnosti sú oxidy síry a dusíka najbežnejšími zložkami znečisteného ovzdušia a väčšina z nich má antropogénny pôvod. Návrat týchto látok do ekosystému môže mať veľmi závažné dôsledky. V suchom a mokrom spade zvyšujú acidifikáciu prostredia. Tento jav, v minulosti viazaný len na blízke okolie priemyselných objektov, nadobudol v súčasnosti globálny charakter a bude sa musieť riešiť aj na nadnárodnej úrovni.

V ovzduší sa SO_2 premieňa čiastočne na SO_3 až H_2SO_4 , z ktorých sa v prítomnosti zlúčenín dusíka môže vytvoriť síran amónny. V dôsledku týchto pro-

Tab. 1. Záťaž lesných ekosystémov dusíkom

Hladina merania	Listnatý ekosystém			Ihličnatý ekosystém		
	N-NO ₃	N-NH ₄	spolu N	N-NO ₃	N-NH ₄	spolu N
	kg · ha ⁻¹ · rok ⁻¹					
Nad lesným porastom	16,2	6,9	23,1	12,3	19,8	32,1
Pod korunami	13,3	7,6	20,9	16,5	6,3	22,8
Pod hrabankou	14,1	1,2	15,3	9,2	1,3	10,5

Tab. 2. Záťaž lesných ekosystémov sírou

Hladina merania	Listnatý ekosystém		Ihličnatý ekosystém	
	SO ₄	S	SO ₄	S
	kg · ha ⁻¹ · rok ⁻¹			
Nad lesným porastom	100,5	33,5	148,2	49,4
Pod korunami	94,2	31,4	234,0	78,0
Pod hrabankou	62,8	21,0	72,9	24,3

cesov klesla reakcia zrážok v niektorých regiónoch z prirodzenej hodnoty pH 5,6 (voda v rovnováhe s parciálnym tlakom CO₂ v atmosfére) na hodnotu 3—4, čím nastáva poškodzovanie asimilačných orgánov rastlín, zrýchlené vylúhovanie pôd a narušenie biologického kolobehu látok (zmenšovanie výmenného, kolujúceho zásobníka živín). Zvlášť výrazne sa ihlice koniferov, ale aj púčiky listnatých drevín poškodzujú počas častejšieho výskytu inverzných hmiel, ktoré emisie neprepúšťajú. Z dlhodobšieho hľadiska môžu mať lesné porasty vplyv na zmeny trofických vlastností pôd, najmä ak sú tvorené z hornín slabo zásobných minerálmi.

K významným acidifikátorom zrážkových roztokov teda patrí aj siera. V podkorunových zrážkach sú priemerné koncentrácie síranov vždy vyššie ako na paralelnej rúbani (tab. 2). V smrečiniach dosahovali pritom priemerné ročné koncentrácie síranov v zrážkach ca 40—50 mg · l⁻¹, zatiaľ čo v bučiniach len 19—22 mg · l⁻¹. Priemerný ročný pokles podkorunovej depozície ele-

mentárnej síry v bučiniach bol v porovnaní s rúbaňou (33—34 kg · ha⁻¹) nižší len o málo (asi o 2 kg · ha⁻¹), v prípade smrečín sa zaznamenal vzrast z ca 50 kg · ha⁻¹ až na takmer 80 kg · ha⁻¹. Na povrch pôdy sa v smrečine dostáva približne 2,5 krát viac síry ako v bučine. Maximálna depozícia síry nastáva na jar, kedy jej spád v smrečine je 2—3 krát vyšší ako v ostatných častiach roka.

Vrstvy povrchového humusu bučín menia koncentráciu síranov v prenikajúcich roztokoch málo, v prípade smrečín ich koncentrácia podstatne klesá. Príčinou môže byť väzba síranov na humusový horizont rendzín. V roztokoch prenikajúcich do hlbších pôdnych vrstiev koncentrácia síranov nezávisle od typu pôdy spravidla vzrastá. Ročná akumulácia síry v povrchovom humuse pôd bukových porastov predstavovala okolo 10 kg · ha⁻¹, zatiaľ čo v mohutnejšej organickej vrstve pôd smrečín sa ich zachytilo až 54 kg · ha⁻¹.

* * *

Z uvedených základných údajov vyplýva, že lesné ekosystémy zohrávajú v transformácii kyslosti zrážok a v dynamike dusíka a síry dôležitú regulačnú úlohu. Ich pôdy modifikujú intenzitu kolobehu dusíka natoľko, že spravidla nenastáva dlhodobější vzrast jeho koncentrácie v gravitačných roztokoch nad hodnotu odporúčanú hygienickou normou pre pitnú vodu. Intenzívne uvoľňovanie látok viazaných v povrchovom humuse pôd nastáva zvyčajne len po odlesnení alebo veľkoplošnom hnojení lesných porastov, ktoré však prináša množstvo ďalších problémov. Taktéto postupy by sa preto mali uplatňovať len ak je to naozaj nevyhnutné.

Literatúra:

- Bublinec, E., 1975: Import of elements by precipitation, their outwash from vegetational organs and motion in soil. In Research project Báb (IBP). Progress report II., Bratislava. Veda, p. 487—492.
- Bublinec, E., 1977: Tok bioprvkov vo vodných roztokoch cez lesné porasty na piesočnatých pôdach. Vedecké práce VÚLH, 25, p. 33—72.
- Bublinec, E., Dubová, M., 1989: Celoročná dynamika kyslosti zrážok v bukových a smrekových ekosystémoch. Lesn. čas., 6, p. 463—475.
- Kukla, J., Bublinec, E., 1990: Vplyv antropogénnej záťaže na produkčnú schopnosť slovenských lesov. In Zborník Problémy antropogénnej záťaže lesov a možnosti riešenia účinných protipatrení. DT Žilina — Martin, p. 51—56.
- Duvigneaud, P., 1988: Ekologická syntéza. Academia Praha, 414 pp.
- Mihálik, A., Slávik, D., 1988: Kyslosť a kvalita zrážok CHKO Poľana a ich zmena po prechode cez korunovú vrstvu lesného porastu. Ochrana prírody, 9, p. 169—185.
- Tužinský, L., 1988: Aktuálne otázky vplyvu imisí na lesné systémy a na biosféru. Chránené územia Slovenska. Obzor, Bratislava, Zväzok 10, p. 13—16.