

Monitorovanie abiotických prvkov v lesných ekosystémoch

J. Mindáš, J. Škvarenina, P. Pavlenda: *Monitoring of Abiotic Elements in Forest Ecosystems. Život. Prostr., Vol. 40, No. 2, p. 76 – 79, 2006.*

Monitoring of changes in terrestrial ecosystems is fundamental to understanding of global change. Changes in temperate forests result from both anthropogenic and natural causes. These changes in turn influence many other processes significant for understanding the Earth as a system, including biosphere/atmosphere interactions, biogeochemical cycles, and hydrology. The Intensive Monitoring of forest ecosystems is discussed. Harmonised methods for the sampling and assessment have been agreed. Additional measurements on part of the plots include the atmospheric deposition, meteorological, hydrological and soil parameters. The Intensive Monitoring is considered to be an important tool for evaluation and further development of air pollution protocol by giving insight in the effects of present emission control measures.

Medzinárodný kooperatívny program na sledovanie vplyvov znečisteného ovzdušia na lesy (*International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests – ICP Forests*) bol ustanovený na 3. zasadnutí Dohovoru o diaľkovom prenose látok znečisťujúcich ovzdušie r. 1985, ako reakcia na neustále zhoršovanie zdravotného stavu lesov v Európe. Tento program súčasne slúži aj na napĺňanie rezolúcií S1 a H4 ministerských konferencií o ochrane európskych lesov (Štrasburg, 1990; Helsinki, 1993).

Ciele programu sú zamerané na získanie poznatkov o stave lesa a jeho vzťahu k stresovým faktorom, predovšetkým k látkam znečisťujúcim atmosféru v regionálnom, národnom a medzinárodnom meradle v prvej a druhej úrovni, na lepšie pochopenie vzťahov medzi znečistením ovzdušia a ostatnými stresovými faktormi a stavom lesných ekosystémov prostredníctvom intenzívneho monitoringu so špecifickým zameraním na abiotické prvky ekosystémov.

Monitorovanie abiotických prvkov *atmosféry, hydrosféry a pedosféry* vyžaduje špecifický prístup, ktorý vychádza z individuálnych požiadaviek monitorovania každého prvku, pričom však jednotlivé prvky sú navzájom do určitej miery prepojené. Jednotlivé prvky majú diametrálne odlišnú časovú aj priestorovú variabilitu, čo monitorovací systém musí zohľadňovať. Mo-

onitorovanie abiotických prvkov v lesných ekosystémoch by malo byť vždy súčasťou komplexného monitorovania aj biotickej zložky lesných ekosystémov.

Monitorovanie meteorologických prvkov

Meranie základných parametrov atmosféry (žiarenia, teploty, vlhkosti vzduchu, zrážok a pod.) sa realizuje na štandardnej voľnej ploche, t. j. na základnej klimatologickej stanici (podľa metodiky Svetovej meteorologickej organizácie – *World Meteorological Organisation* – WMO). Profilové merania v lesných porastoch majú už charakter mikroklimatických meraní a ich interpretovateľnosť a aplikovateľnosť vychádza z účelu monitorovania (toky látok a energií, fenologický monitoring, zdravotný stav porastov a pod.).

Monitorovanie znečistenia ovzdušia a zrážok

Monitorovanie znečisťujúcich látok v atmosfére sa špecifikuje podľa druhu aj formy polutantov. Sú hlavným podkladom na stanovenie ekologických limitných hodnôt pre pôsobenie imisií v ekosystéme, ktoré označujeme ako kritické úrovne a záťaž (Kunca, 2003). Významný komponent predstavuje sledovanie *plynného znečistenia* (koncentrácií SO₂, NO_x, O₃ a i.), druhu

Tab. 1. Kritické úrovne hlavných znečisťujúcich látok

Škodlivina	Ekosystém	Kritická úroveň [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]	Priemer za obdobie
Oxid siričitý (SO_2)	les	20	ročný priemer aj priemer za október – marec
	les (ETS* < 1 000 °C)	15	
	prírodná vegetácia	20	
	poľnohospodárske plodiny	30	
Ozón (O_3)	všetky kategórie	150	hodinový priemer
	všetky kategórie	60	8-hodinový priemer
	všetky kategórie	600 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$ nad 80 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ kritická expozícia – suma koncentrácií sa počíta zo všetkých hodín od východu do západu slnka – za svetla	
Oxidy dusíka (NO_x)	všetky kategórie	30	ročný priemer
	všetky kategórie	95	4-hodinový priemer
Amoniak (NH_3)	všetky kategórie	3 300	hodinový priemer
	všetky kategórie	270	24-hodinový priemer
	všetky kategórie	23	mesačný priemer
	všetky kategórie	8	ročný priemer
Znečistené zrážky:			
H^+ (pH)	poľnohosp. plodiny	1 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (pH 3)	vegetačná sezóna
H^+ (pH)	les	0,3 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (pH 3,5)	zrážková situácia, hmla
H	les	0,6 $\text{kg H}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}$	ročná depozícia
SO_4^{2-} sírany v zrážkach	les	14 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	zrážková situácia, hmla
SO_4^{2-} (častice)	les	1 $\mu\text{g S}\cdot\text{m}^{-3}$	ročný priemer pre častice
NH_4^+ amon. kat. v zrážkach	les	5,4 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	zrážková situácia, hmla

* ETS = suma teplôt nad 5 °C

a množstva *prachových a aerosólových častíc*. Monitorovanie sa uskutočňuje automatickými analyzátormi, resp. pasívnymi metódami. Z hľadiska ekosystémov je však významná tzv. „suchá“ depozícia (usadzovanie plynov a častíc v aktívnom povrchu rastlinstva, pôdy, materiálov). Suchú depozíciu plynov a častíc môžeme zjednodušiť ako multiplikáciu priemernej koncentrácie znečisťujúcej látky a jej depozičnej rýchlosti (tab. 1).

Meranie *kvality atmosférických zrážok* je komplikovanejšie ako meranie ich kvantít, pretože treba minimalizovať možnosti kontaminácie vzorky po záchyťe, zabrániť jej prípadnej evaporácii a ďalším nepriaznivo pôsobiacim faktorom (riasam). V tejto fáze je kľúčový časový faktor – od záchyťu vzorky až po jej odber. Fáza transportu a uskladnenia má zabezpečiť nemennosť chemických charakteristík odobratej vzorky.

Pri analýze je veľmi dôležitý výber metódy stanovenia, aby získané výsledky boli hodnotné a presné. Tab. 2. prináša odporúčané metódy chemických analýz zrážkových vôd.

Tab. 2. Odporúčané metódy na stanovenie chemického zloženia zrážkových vôd

Parameter	Metóda stanovenia
pH	potenciometria
SO_4^{2-}	iónová chromatografia spektrofotometria (Thorinova metóda) izotopová analýza potenciometria
NO_3^-	iónová chromatografia spektrofotometria (Griessova metóda) iónovoselektívne elektródy
Cl^-	iónová chromatografia spektrofotometria Hgtyocyanát-Fe titrácia s AgNO_3
NH_4^+	spektrofotometria iónovoselektívne elektródy
Bázické kationy	atómová absorpčná spektrometria ICP emisná spektrometria



Monitoring znečistenia ovzdušia pojazdným monitorovacím vozidlom.
Foto: J. Škvarenina

Meranie kvantity zrážok

Metodika merania podkorunových zrážok spravidla vychádza z metodických postupov merania vertikálnych zrážok v klasickej klimatológii. Použitie rovnakej metodiky merania však naráza na problémy spojené s charakterom transformácie vertikálnych a horizontálnych zrážok v korunovej vrstve lesného porastu, čoho dôsledkom je značná variabilita poľa podkorunových zrážok. Základné zdroje variability poľa podkorunových zrážok možno definovať nasledovne:

- striedanie korún stromov a medzier medzi nimi,
 - habitus určitého druhu drevín,
 - rozdiely v hustote, tvare a výške jednotlivých korún, prerastanie korún susedných stromov a postavenie stromov v poraste (stromové triedy),
 - rôzna veľkosť, tvar a poloha medzier medzi korunami.
- K týmto základným biotickým zdrojom variability podkorunových zrážok prístupujú zdroje abiotické, súvisiace predovšetkým s poveternostnými faktormi, a preto silne premenlivé v čase:
- rozdielne vlastnosti zrážok, najmä sila, intenzita a trvanie,
 - rozdielne prúdenie vzduchu pri zrážkach.

Presnosťou merania podkorunových zrážok a súvisiacimi metodologickými otázkami sa u nás zaoberalo viac autorov, no osobitným problémom je meranie stoku zrážkovej vody po kmeni stromov. Tento problém treba vidieť v dvoch rovinách, a to v rovine merania a v rovine transformácie výsledkov merania na jednot-

livých vzorníkoch pre celý porast. Meranie sa spravidla vykonáva pomocou žlabov z rôzneho materiálu obtočených okolo celého obvodu kmeňa a stekajúca voda sa zachytáva do zberných nádob. Otvorený však ostáva problém zachytnej plochy žlabov vo vzťahu k podkorunovým zrážkam. S týmto možným zdrojom nadhodnotenia množstva stekajúcej vody sa pri meraniach neuvažuje.

Závažnejším problémom je interpretácia diskretných meraní na celý porast. Na prepočet sa zväčša využívajú rôzne dendrometrické charakteristiky porastu, ako je plocha vertikálneho priemetu koruny, kruhová základňa a hrúbka stromov. Doteraz nebola jednoznačne stanovená najvhodnejšia metóda prepočtu hodnôt stoku po kmeni na celý porast. Pri takomto spôsobe merania je problémom jednak značný objem zachytenej vody, jednak presnosť merania veľkých objemov stečenej vody.

Komplikované je tiež meranie horizontálnych zrážok. Významnejšie je najmä meranie hmlových zrážok a námrazy. Doteraz sa neprijala jednotná metodika merania tohto druhu zrážok, najmä pre závislosť usadeného, resp. zachyteného množstva na konkrétnom druhu povrchu, pričom priame meranie na lesných drevinách je nerealizovateľné.

Vodná bilancia lesných ekosystémov

Bilancia vody v lesnom ekosystéme vyjadruje vzťah medzi príjmovými zložkami vody (atmosférickými zrážkami) a výdajovými zložkami vody (evapotranspiráciou, odtokom do povrchových a podzemných vôd). V prípade, že sú atmosférické zrážky (Z) jediným zdrojom vody pre lesný porast, všeobecná rovnica vodnej bilancie má tvar:

$$Z = DW + ET + O$$

Z dlhodobého hľadiska preto platí, že priemerný úhrn zrážok sa rovná evapotranspirácii (ET) a odtoku (priesaku) vody (O). DW je zmena zásob vody v pôde a fytomase.

Pri posudzovaní účinku lesov na transformáciu zrážok do povrchového (hydrologického) odtoku musíme osobitne zohľadňovať dve situácie.

V prvom prípade ide o hodnotenie vplyvu lesa na celkovú vodnosť povrchových tokov, pričom rozhodujúcu úlohu zohráva veľkosť celkovej evapotranspirácie (celkový výpar) lesných porastov, ktorá vo vzťahu k množstvu spadnutých zrážok udáva, koľko vody opúšťa lesný ekosystém vo forme povrchového, resp. podzemného odtoku.

V druhom prípade ide o hodnotenie lesa z hľadiska jeho protipovodňovej účinnosti, najmä vo vzťahu k tvor-

be povrchového odtoku (stekaniu zrážkovej vody po povrchu pôdy), pričom je rozhodujúce hodnotenie okamžitého záchytu zrážok v korunách lesných porastov (intercepcie) a stavu bylinnej vrstvy a vrstvy nadložného humusu, ktoré majú rozhodujúci podiel na infiltráciu padajúcich dažďových kvapiek do pôdneho prostredia. Evapotranspirácia lesných ekosystémov zahŕňa tri dôležité zložky: tzv. neproduktívny (intercepčný) výpar (výpar zrážkovej vody zachytenej najmä v korunách lesných drevín), ďalej výpar z pôdy, a napokon výpar z lesných drevín, krovín a bylín (výdaj vody rastlinami prevažne cez prieduchy listov a ihlič – transpiráciu).

Pedosféra

Pri monitorovaní stavu pôd sa možno vo všeobecnosti zamerať na tri hlavné skupiny vlastností: fyzikálne, chemické a biologické.

- **Fyzikálne vlastnosti** sa hodnotia buď periodicky (napr. momentálna vlhkosť), alebo ide o jednorazové stanovenie (obsah skeletu, zrnitostné zloženie jemnozeme, objemová hmotnosť). Aj keď sú hodnotené fyzikálne parametre pôd relatívne stabilné, a teda nie sú predmetom opakovaného hodnotenia, sú veľmi dôležité ako vstupné údaje modelových výpočtov (napr. kritických záťaží).

- **Chemické vlastnosti** tvoria v súčasnosti najrozsiahlejší a najdôležitejší súbor údajov pre existujúce monitorovacie systémy a stanovené ciele (vplyv znečisteného ovzdušia na lesné ekosystémy). Štandardnou súčasťou monitorovania sú základné pôdoznalecké vlastnosti (reakcia, obsah humusu), obsahy živín – celkové alebo prístupné, resp. výmenné formy (N, P, K, Ca, Mg atď.) a rizikové prvky – ťažké kovy (najmä Cd, Pb, Hg a iné). Pri účelovom monitorovaní možno zahrnúť aj obsah rizikových látok, napr. PAU, PCB a pod.

- **Biologické vlastnosti** možno analyzovať buď na základe priameho hodnotenia (kvantita a kvality pôdneho edafónu), alebo formou hodnotenia biologickej aktivity (súhrnný indikátor – respirácia CO₂). Biologické vlastnosti sú väčšinou súčasťou účelového (výskumného) hodnotenia, nie sú súčasťou celoplošného monitoringu pôd.

Monitorovanie pôd má svoje špecifické problémy, ktoré ovplyvňujú metodiku odberov vzoriek, analýz vzoriek i interpretáciu výsledkov. V prvom rade je to deštruktívny spôsob odberu vzoriek a získavania údajov o pôdach, ako aj značná priestorová variabilita mnohých vlastností. Ďalším problémom je porovnateľnosť údajov z hľadiska hodnotenej hĺbky pôdy v rámci súboru plôch s rôznymi typmi pôd.



Sledovanie mikroklimy poškodených oblastí pomocou miniatúrnej meteorologickej stanice. Foto: J. Škvarenina

Základné ciele a metodické postupy monitorovania pôd v kontexte ich ovplyvňovania znečisteným ovzduším definuje v súčasnosti pre európsky program manuál ICP Forest, pre informačné systémy Ministerstva životného prostredia SR je to manuál Čiastkového monitorovacieho systému Lesy.

Literatúra

- Kunca, V.: Kritické záťaže vo vybraných lesných ekosystémoch Biosférickej rezervácie Poľana. Vedecké štúdie, 4/2003/A. Zvolen : Technická univerzita, 2003, 72 s.
- Manual on Methods and Criteria for Harmonized Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the Effects of Air Pollution on Forests. PPC West Hamburg and PCC East Prague, 3rd edition, 1994, 177 s.
- UN/ECE-EC: Manual on Methods and Criteria for Harmonized Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the Effects of Air Pollution on Forests. ICP, Hamburg, 1994.
- UN/ECE-EC: Forest Soil Condition in Europe. Results of a Large-Scale Soil Survey. Brussels, Geneva, 1997, 260 s.

Prof. Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc., Katedra prírodného prostredia Lesníckej fakulty Technickej univerzity vo Zvolene, Masarykova 24, 960 53 Zvolen
jarosk@vsld.tuzvo.sk

Doc. RNDr. Ing. Jozef Mindáš, PhD., mindas@nlcsk.org
Ing. Pavel Pavlenda, PhD., pavlenda@nlcsk.org
 Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav
 Zvolen, T. G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen