
LABORATORNÍ PŘÍSTROJE A POSTUPY

Chem. Listy 92, 807 - 815 (1998)

SLEDOVÁNÍ CIZORODÝCH LÁTEK V LESNÍCH EKOSYSTÉMECH

HANA UHLÍŘOVÁ, VÁCLAV LOCHMAN,
VÍT ŠRÁMEK a ZDEŇKA SOVOVÁ

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Jíloviště-Strnady, 156 04 Praha 5 - Zbraslav

Došlo dne 4.IX. 1997

Obsah

1. Úvod
2. Metodické přístupy
3. Charakteristika ploch a historie měření
4. Výsledky

1. Úvod

Sledování cizorodých látek v lesních ekosystémech s možností kontaminace potravinového řetězce se provádí buď jako součást mezinárodního kooperativního programu ICP Forests (International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests) a nebo na účelově založených zkusných plochách.

Hlavní náplní tohoto výzkumného programu je sledování vlivu lesních porostů na chemismus podkorunových srážek a na změny koncentrací rozpuštěných látek v půdní vodě protékající humusovým horizontem a minerálním půdním profilem. Na plochách, kde je sledována depozice imisních látek spolu s chemismem půdní vody, je periodicky sledován i chemismus půd. Na vybraných plochách jsou zmíněná měření doplněna analýzami mechu *Hypnum cupressiforme* jako vhodného bioindikátoru depozice vybraných zátěžových kovových elementů, analýzami jehličí pro sledování zátěže sloučeninami síry a fluoru z ovzduší a také kontinuálním sledováním vybraných plyných sloučenin v ovzduší.

2. Metodické přístupy

Metodické přístupy vycházejí z jednotných evropských metodik již výše zmíněného programu ICP Forests. Mezinárodní kooperativní program ICP Forests je jedním z programů naplňování Konvence o dálkovém přenosu látek znečišťujících ovzduší (CLRTAP - Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution). Tento program sleduje a vyhodnocuje vliv znečištění ovzduší na lesy a byl započat ještě v ČSSR v roce 1986.

Cíle ICP Forests

- shromažďovat v rámci Evropy srovnatelné údaje o změnách v lesních porostech souvisejících s aktuální stavem prostředí
- přispět k lepšímu pochopení vztahu příčin a následků

Organizace programu

Programové koordinační centrum v Hamburku řídí jednotlivá národní koordinační centra. Národní koordinační centrum ICP Forest pro ČR je ve VÚLHM Jíloviště-Strnady.

Plnění cílů

- přednostně podle Manuálu¹ harmonizujícího metody a kriteria zkoumání, hodnocení, monitorování a analýzy vlivu znečištění ovzduší na lesy
- dále podle vlastních metod prověřených léty na trvale sledovaných zkusných plochách

Rozsah měření

Vedle hlavního programu, tj. hodnocení defoliace jednotlivých stromů (ročně 12-14 tisíc stromů) na plochách nadnárodní sítě s velikostí ok 16 x 16 km, regionálně zahuštěné na 8 x 8 km, jsou pravidelně sledovány i další parametry:

půdy - organické i minerální horizonty: makro- i mikrobiogenní prvky, cizorodé prvky Al, As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn

asimilační orgány dřevin: makro- i mikrobiogenní prvky, kde S je současně uvažována i jako zátěžový prvek, cizorodé prvky F, Al, As, Cd, Cr, Ni, Hg a Pb

depozice hlavních složek: C_{ox} , H^+ , NH_4 , NO_3^- , Cl^- , F^- , PO_4^- , SO_4^- , P, K, Na, Ca, Mg, Cu, Mn, Zn, Al, Fe
depozice těžkých kovů: analýza mechů - As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn

Metodiky odběru vody a jejího transportu jsou i v současné době shodné s metodikami osmdesátých let. Odběr půdních horizontů i asimilačních orgánů dřevin je podřízen jednotné evropské metodice. Ke stanovení celkové zásoby živin i zátěžových elementů jsou organické i minerální půdní horizonty vyluhovány lučavkou královskou. Vzorky listů, jehličí a mechů jsou rozkládány kyselinou dusičnou s přidávkou peroxidu vodíku v mikrovlnné pídce. Vzorky vod jsou filtrovány a okyselovány. Anionty (SO_4^{2-} , F^- , Cl^- , NO_3^-) jsou stanovovány iontovou chromatografií. Kationty (Ca, K, Mg, Na, Al, As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn), celkový P a S jsou měřeny pomocí ICP-OES. Rtuť je stanovována analyzátozem AMA.

Laboratoř VÚLHM, která analýzy provádí, se pravidelně a úspěšně účastní mezinárodních i národních kruhových testů pro jednotlivé druhy analýz.

3. Charakteristika ploch a historie měření

Měření znečištění ovzduší

Potřeba měření znečištění ovzduší vznikla ve VÚLHM jako důsledek rychle narůstajících škod na lesních porostech, zejména v severozápadní části České republiky. První údaje o „kouřových škodách“ na lesích se objevily sice již na počátku století², k jejich nárůstu v širším rozsahu však začalo docházet až v šedesátých letech. První měření oxidu siřičitého coulometrickou metodou byla prováděna ve spolupráci s ČHMÚ v letech 1968-70. Cílem tehdy řešeného výzkumného úkolu bylo určení potenciálního vlivu plánované elektrárny Šabina na zdravotní stav lesů v zázemí Sokolovské pánve³. V roce 1972 byla v návaznosti na tento úkol zřízena síť 26 stanic sledujících v oblasti západních Čech denní koncentrace SO_2 Westovou-Gaeckovou metodou. Na rozdíl od ČHMÚ, OHS a dalších organizací byly stanice VÚLHM lokalizovány tak, aby charakterizovaly imisní zatížení lesních porostů a poskytly tak podklady pro hlubší pochopení reakce lesních ekosystémů na antropogenní zátěž, umožnily plánování pěstebních a ochranných opatření v lesním hospodářství a v neposlední řadě také výpočet náhrad znečišťovatelů za poškozené porosty^{4,5}.

V sedmdesátých a osmdesátých letech, kdy se poškozování lesů imisemi stalo celoevropským problémem, byly

zakládány stanice v dalších zatížených oblastech: Děčínském Sněžníku, Jizerských horách, Krkonoších a Orlických horách. Srovnávací měření bylo zavedeno na Šumavě. Kromě těchto stanic, kde byly měřeny denní koncentrace oxidu siřičitého Westovou-Gaeckovou metodou, byly na vybraných lokalitách v severních Čechách, Jeseníkách, na Českomoravské vrchovině a v jižních Čechách sledovány čtrnáctidenní koncentrace SO_2 a fluoru v ovzduší sorpční metodou. Čtrnáctidenní měření koncentrací fluoru bylo také prováděno na některých stanicích v oblasti Sokolovska a Krušných hor.

V devadesátých letech došlo ke změně množství i spektra látek znečišťujících ovzduší. V tradičně silně zatížených oblastech byl patrný pokles koncentrací SO_2 , imise fluoru nevykazovaly výrazný trend, koncentrace oxidů dusíku se zvyšovaly, intenzivně začala být diskutována otázka vlivu ozonu na lesní dřeviny^{6,7}. Za této situace se původní síť stanic stala nevyhovující. Proto byla v roce 1996 ukončena dlouhodobá řada měření v původním rozsahu a byla vytvořena nová struktura staniční sítě. Z původních 13 stanic v oblasti Sokolovska a Krušných hor pokračuje měření pouze na 6 lokalitách, které mají z hlediska umístění nejlepší vypovídací schopnost. Redukován byl také počet stanic v Jizerských horách. Stanice měřící čtrnáctidenní koncentrace sorpční metodou byly z části zrušeny, z části převedeny na čtyřadvacetihodinový chod. U měření koncentrací fluoru je v roce 1997 testována nová metodika s třídním chodem.

V roce 1993 se VÚLHM podařilo v rámci mezinárodních dohod získat od švýcarské vlády šest automatických stanic vybavených analyzátozem DASIBI pro kontinuální měření koncentrací oxidu siřičitého (fluorescenční metodou), ozonu (absorpce UV záření) a oxidů dusíku (chemiluminiscenční metodou). Stanice byly umístěny na lokalitách ve Slavkovském lese, na Českomoravské vrchovině a v Jeseníkách. V roce 1997 byly tyto stanice vybaveny systémem pro dálkový přenos dat a příslušným softwarem firmy ENVItech, který do budoucna umožňuje přímé zapojení těchto stanic do národní sítě automatického imisního monitoringu.

Cílem monitorovacích aktivit VÚLHM v oblasti znečištění ovzduší není vytvoření komplexní sítě pokrývající celé území České republiky. Hlavní zájem je o doplnění národní sítě o lokality charakterizující zatížení lesních porostů a o podrobnější měření v oblastech, kde lze předpokládat negativní působení na konkrétní lesní ekosystémy (Jeseníky - ozon, Krušné hory - fluor). Pro umístění stanic jsou vybírány lokality, které umožňují propojení s dalšími aktivitami, jako je měření depozic, meteorologických fak-

torů, půdních poměrů a sledování zdravotního stavu porostů (viz tabulka I). Údaje ze stanic mohou pochopitelně zároveň sloužit i v dalších oblastech, jako je vytváření modelů zatížení, studium koloběhu látek v krajině, hodnocení kvality rekreačních území apod.

Tabulka I

Přehled stanic měřících kvalitu ovzduší v lesních ekosystémech

Název	Oblast	Nadm. výška [m n. m.]
<i>Automatické stanice</i>		
Kolová	Slavkovský les	580
Lazy	Slavkovský les	820
Zhoř	ČM vrchovina	590
Chaloupky	ČM vrchovina	650
Černava	Jeseníky	1060
Švýcárna	Jeseníky	1370
<i>Manuální stanice</i>		
Klínovec	Krušné hory	1300
Přebuz	Krušné hory	900
Studeneč	Nejdecká vrchovina	660
Habartov	Sokolovská pánev	498
Kolová	Karlovarsko	580
Horní Lazy	Slavkovský les	820
Růžová	Děčínský Sněžník	350
Bílý potok	Jizerské hory	620
Jizerka	Jizerské hory	900
Medvědí	Krkonoše	1234
Želivka	ČM vrchovina	450
Kučice	Kralický Sněžník	450
Kvilda	Šumava	990

Monitoring chemismu vody

Výzkumný program metodicky navazuje na výzkumné úkoly s problematikou chemismu vody v lesních ekosystémech. Kontinuita prací je zajišťována šetřením na objektech vybudovaných a využívaných v období do roku 1991. Řešení výzkumného programu probíhá především na povodích s měrnými přepady nebo na plochách v porostech, kde se v blízkosti vyskytuje povrchový vodní zdroj (pramen, potůček)⁸.

Nejdelší období sledování chemismu vody v lesních ekosystémech probíhá na povodí Pekelského potoka (výzkumný objekt Želivka). Na výzkumných horských povodích v Beskydech (Červík a Malá Ráztoka) byla hydrologická měření zahájena již v roce 1953, ale chemismu vody byla věnována pozornost až od počátku osmdesátých let. Na povodí „U vodárny“ v Jeseníkách, vybudovaném koncem osmdesátých let (roku 1988) je pravidelně sledován chemismus srážek a vody v potoce na přepadu od roku 1991.

Výzkumné plochy v náhorní části Krušných hor na Moldavě a na Nové Vsi v Horách byly také založeny v blízkosti sledovaných vodních zdrojů a reprezentují porostní a půdní poměry jejich povodí^{9,10}.

V Orlických horách jsou plochy umístěny na svahu Šerlichu exponovanému převážujícímu západnímu proudění vzduchu. Plochy v povodí „U lizu“ reprezentují imisně mírně zasaženou oblast Šumavy.

V bezprostředním okolí Prahy byl již v roce 1990 ukončen výzkum na plochách v Sulicích, ale současně jsme založili nové plochy v porostech borovice a buku na Třebotově.

V jižních Čechách byla věnována zvýšená pozornost lesům v okolí Temelína, kde však s ohledem na výskyt srážkově chudých období v posledních letech je obtížné v blízkosti sledovaných porostů též vyhledat povrchový vodní zdroj (pramen) v zalesněném povodí s možností periodických odběrů vody. Tato možnost se nám však nabízí v blízkosti nově vybudovaných ploch Vojřív na Jindřichohradecku, v blízkosti hranic s Rakouskem.

Zjištění příjmu elementů z ovzduší do lesního ekosystému pomocí elementární analýzy mechů

Nejčastějšími bioindikátory pro monitoring vzdušného znečištění různými elementy a zvláště „těžkými kovy“ jsou mechy, které absorbují četné látky z ovzduší velmi účinně. Často jsou označovány jako „metal-tolerant“ bioakumulátory. Mezinárodní kooperativní program ICP Forest a exekutiva mezinárodní dohody o dálkovém přenosu vzdušných polutantů ustanovila Ad Hoc Přípravnou skupinu pro těžké kovy, na jejímž 2. zasedání v Ženevě 5.-7.7.1995 byly vybrány k trvalému sledování ve složkách lesních ekosystémů (včetně mechů) tyto těžké kovy: arsen (As), kadmium (Cd), chrom (Cr), měď (Cu), rtuť (Hg), nikl (Ni), olovo (Pb) a zinek (Zn). Monitoring tohoto typu byl na plochách ICP Forests a několika účelově vybraných plochách odstartován v letech 1995-1996. Výběrem vhodného bioindikátoru - epifytického mechu *Hypnum cupressiforme*

me¹¹ současné šetření úzce navazuje na bavorsko-český projekt uskutečněný v letech 1994–1995 v oblastech západní Šumavy.

Monitoring zatížení lesních ekosystémů sloučeninami síry a fluoru z ovzduší je orientován vedle přímého měření na analýzu jehličí v souladu s metodikou ICP Forests.

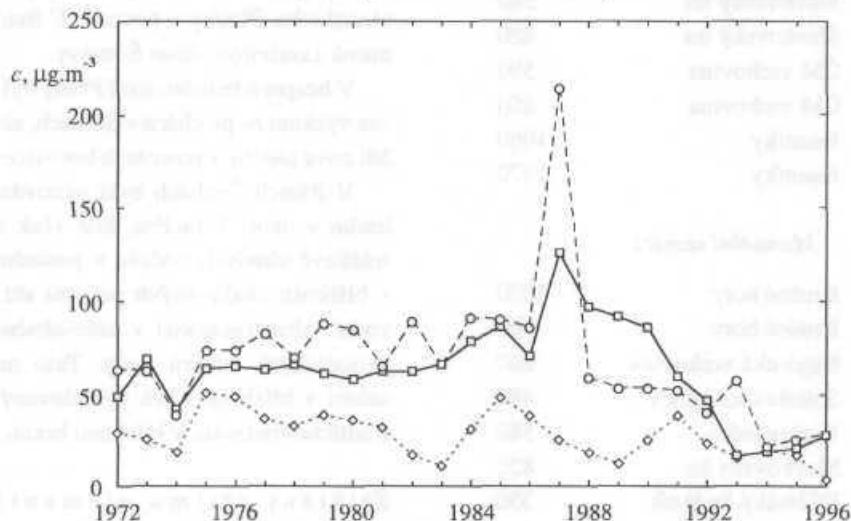
4. Výsledky

Měření znečištění ovzduší

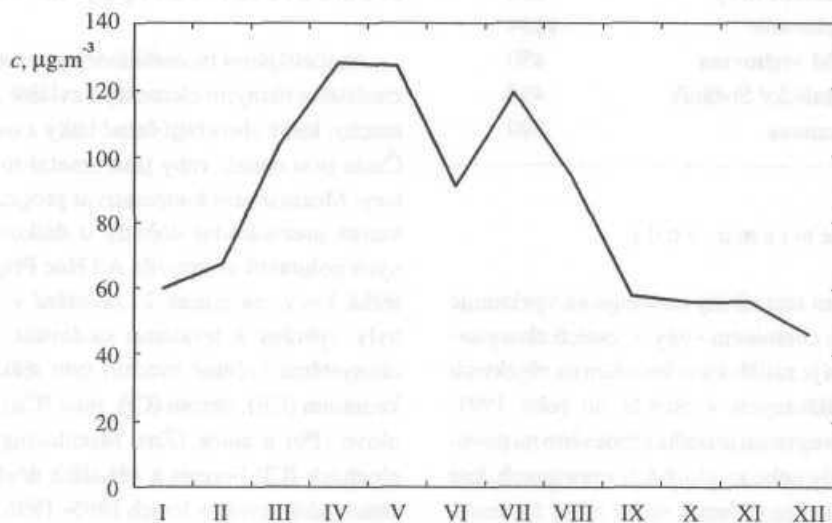
Z dlouhodobých řad měření koncentrací v západních Čechách je patrný postupný vzestup ročních průměrných koncentrací oxidu siřičitého v období 1972–1987. Z obr. 1

je patrné, že nejvyšší průměrné koncentrace SO_2 byly zaznamenány na lokalitách exponovaných ke zdrojům emisí v nadmořských výškách 600–800 m, kde se v zimním období často pohybuje hranice inverzní vrstvy (stanice Studenec, 660 m n. m.). V nižších polohách bylo znečištění poněkud mírnější a silně záviselo na expozici vůči lokálním zdrojům (stanice Kolová, 580 m n. m.). Stanice Klínovec (1300 m n. m.) ležela často nad hranicí inverze a průměrné koncentrace oxidu siřičitého zde byly nízké i v osmdesátých letech,

Pokles imisní zátěže byl na Krušnohorských stanicích patrný již ve druhé polovině osmdesátých let. Vývoj na jednotlivých stanicích byl výrazně ovlivněn tím, zda se na předchozím znečištění podílel spíše dálkový přenos, nebo lokální zatížení. Na všech stanicích byl však v devadesátých letech,



Obr. 1. Vývoj koncentrací SO_2 v západních Čechách; - - \diamond - - Klínovec, - - \circ - - Studenec, — \square — Kolová



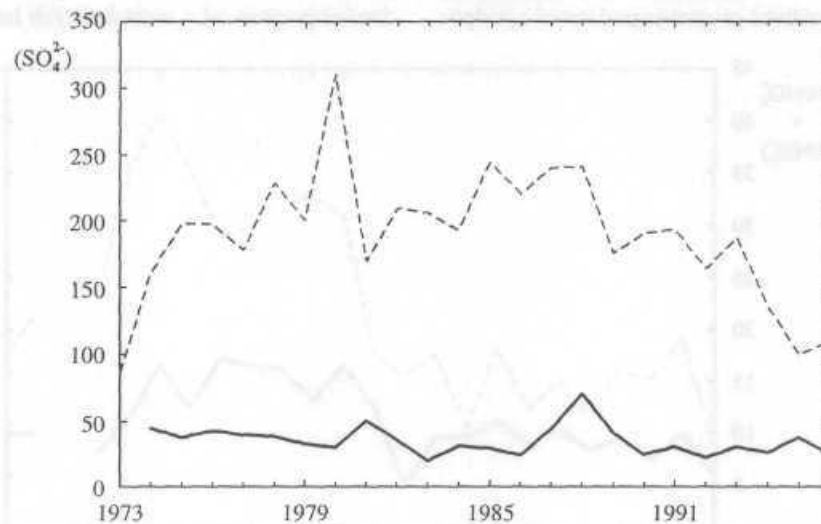
Obr. 2. Koncentrace přízemního ozonu na lokalitě Švýcárna (1995)

tých letech prokázán významný pokles znečištění. Současné průměrné roční hodnoty SO_2 jsou v západních Čechách nejnižší za celé sledované období. Přesto se za zhoršených meteorologických podmínek vyskytují i velmi vysoké koncentrace.

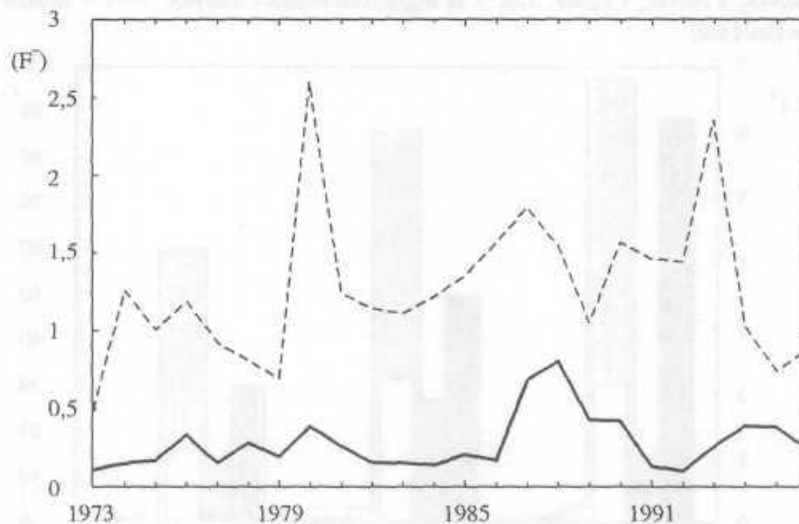
Z dosavadního měření koncentrací ozonu vyplývá, že nejvýraznější je jeho negativní vliv v horských oblastech. Vůbec nejvyšší hodnoty byly naměřeny na stanici Švýčarna (1370 m n. m.), která měla v roce 1995 druhý nejvyšší roční průměr O_3 (viz obr. 2). Nejvyšší roční průměr zaznamenala stanice ČHMÚ Bílý Kříž v Beskydech. Vysoké hodnoty ozonu jsou dosahovány zejména v jarních (IV–V) a letních (VII–VIII) měsících.

Monitoring chemismu vody

Kvalita (chemismus) vody odtékající do vodních zdrojů závisí především na obsahu cizorodých látek v atmosférických srážkách, na jejich obohacování v korunách stromů, na uvolňování bioprvků z materiálu pokravného humusu a na jejich příjmu kořeny vegetace. Důležitou roli hraje struktura a chemismus půdy a vlastnosti geologického podloží (matečné horniny). Cizorodé látky ve znečištěném ovzduší působí nejen na velké části území naší republiky latentní nebo akutní poškození lesních dřevin, ale i narušení biologického koloběhu prvků.



Obr. 3. Spad síranů (SO_4^{2-} v $\text{kg.ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) se srážkovou vodou - Želivka; — smrkový porost 5. věkové třídy, — volná plocha (holá seč)



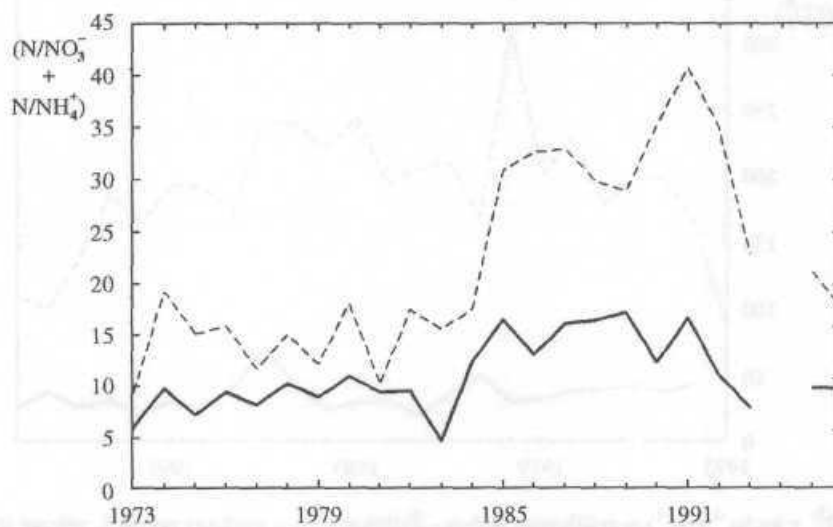
Obr. 4. Spad fluoru (F v $\text{kg.ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) se srážkovou vodou - Želivka; — smrkový porost 5. věkové třídy, — volná plocha (holá seč)

Hodnoty koncentrací iontů ve vodě povrchových zdrojů ovlivňuje působení zvětralinového pláště. Koruny stromů zpravidla zvyšují koncentrace sledovaných imisních látek v podkorunových srážkách, ty se zde zachycují ve formě aerosolů plynů a tuhých látek. Nejvyšší koncentrační nárůsty se projevují u H^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , F, a také u těžkých kovů.

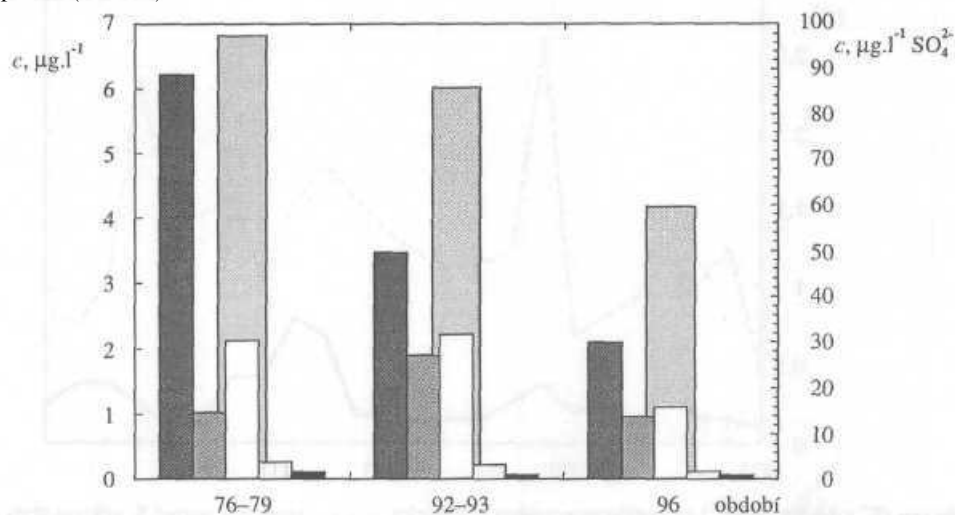
V lesních půdách, zejména ve rhizosféře, jsou z odtékající vody odlučovány vodíkové ionty, sloučeniny dusíku, těžké kovy a v půdní spodině sírany a fluoridy. Ve srovnání s poměry v zemědělsky obhospodařovaných povodích poskytují lesní ekosystémy do zdrojů vodu příznivějšího chemického složení z hygienických hledisek. S výjimkou hydromorfních půd se pozitivně projevuje podzemní a podpo-

vrchový odtok preferenčními cestami a nižší zásoba živin v lesních půdách, zejména sloučenin dusíku a fosforu, které jsou ve vitálních porostech nebo na zabařených plochách intenzivně využívány. Vyšší depozice cizorodých látek probíhá v jehličnatých porostech, hlavně ve smrku, než v listnatých porostech. Významnou roli hraje i exponovanost porostů vůči proudění vzduchu, ze kterého jsou v korunách stromů i přízemní vegetaci odlučovány t.zv. „suché spady“.

Vývoj znečištění ovzduší emisemi ze zdrojů především se spalováním hnědého uhlí, se projevuje ve vývoji depozice sloučenin síry (SO_4^{2-}) fluoru (F) a méně zřetelně u sloučenin dusíku ($NO_3^- + NH_4^+$). Vzestup imisního zatížení se projevoval v sedmdesátých letech a jeho snižování



Obr. 5. Spad dusíku ($N/NO_3 + N/NH_4$ v $kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$) se srážkovou vodou - Želivka; — smrkový porost 5. věkové třídy, - - - volná plocha (holá seč)



Obr. 6. Koncentrace látek ve vodě potoka - Hrušková, • sírany, ■ dusičnany, • fluoridy, • Al, DMn, ■ Zn

Tabulka II

Průměrné koncentrace prvků v sušině organických půdních horizontů a mechů [mg.kg⁻¹]

1996, n = 27	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Hypnum								
Průměr	10,96	1,03	5,95	13,10	0,222	6,31	54,42	143,85
Sm.odch.	9,96	0,69	3,30	5,10	0,087	4,70	55,97	71,85
Min.	2,50	0,43	2,28	7,04	0,117	2,15	16,23	51,68
Max.	53,30	3,80	15,99	27,66	0,557	29,00	264,80	338,90
Dicranum								
Průměr	7,806	0,89	5,03	11,86	0,235	3,74	26,40	77,08
Sm.odch.	3,92	0,49	0,49	4,22	0,085	1,87	20,87	35,72
Min.	2,57	0,30	1,98	6,16	0,122	0,73	10,65	37,36
Max.	17,65	1,81	11,90	23,39	0,475	6,43	98,63	175,80
Humus								
Průměr	21,56	0,17	22,85	31,83	0,73	13,49	201,15	84,25
Sm.odch.	21,65	0,32	16,50	18,17	0,16	5,25	209,15	58,87
Min.	3,00	0,05	7,60	13,60	0,49	4,60	73,10	43,10
Max.	74,84	1,10	71,60	86,90	1,14	25,50	1120,00	335,00
Opad								
Průměr	4,71	0,17	12,36	14,33	0,33	10,85	64,85	50,35
Sm.odch.	4,42	0,32	10,69	5,62	0,21	5,88	59,43	14,61
Min.	3,00	0,02	1,80	5,60	0,13	0,02	16,70	9,20
Max.	21,43	1,10	51,60	30,80	1,22	26,60	295,00	108,00

je patrné na konci osmdesátých let (viz obr. 3-5). Výrazný pokles je zjišťován v posledních letech v Krušných horách (Moldava), u přehradní nádrže Želivka i v dalších imisemi zatěžovaných oblastech. Snižování depozice imisních látek se projevuje i ve složení vody povrchových zdrojů, zejména ve vzestupu hodnot pH. Obr. 6 zobrazuje průměrné koncentrace cizorodých látek ve vodě potoka u Hruškové (Sokolovsko).

Snižování kontaminace vody povrchových zdrojů horských zalesněných povodí nitráty (NO₃) lze přičíst vedle snížení depozice sloučenin dusíku i revitalizaci a rozvoji dřívě intenzivněji poškozovaných lesních porostů, spojenými se zvýšenými nároky na spotřebu živin.

Zjištění příjmu elementů z ovzduší do lesního ekosystému pomocí elementární analýzy mechů

Většina již výše zmíněných „těžkých kovů“ je dálkově přenášena ve formě prášných částic nebo aerosolových

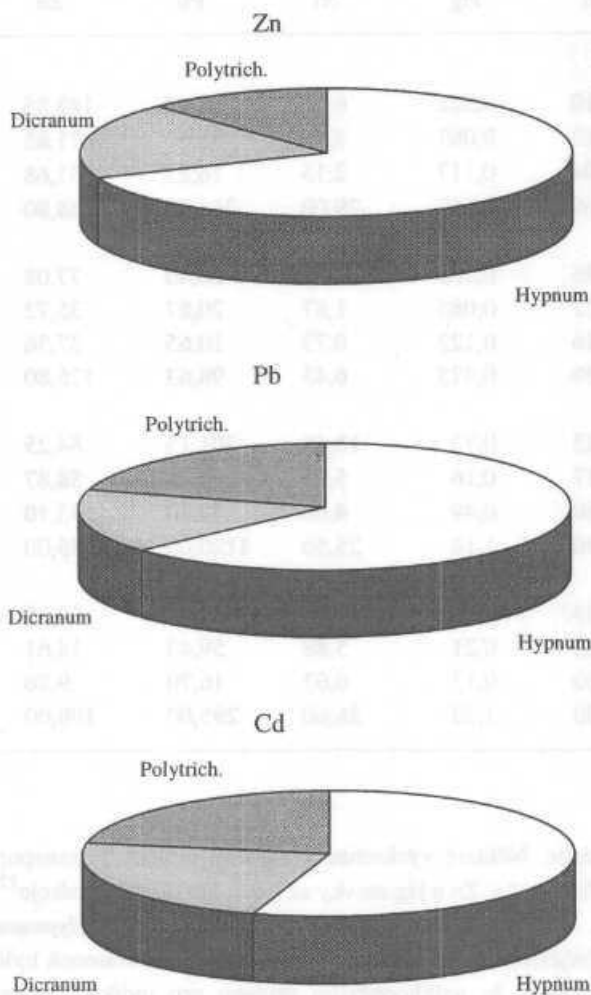
částic. Některé výzkumné programy prokázaly transport Pb, Cd, As, Zn a Hg stovky až tisíce km od místa zdroje¹².

Porovnání analýz 3 rodů mechů (*Dicranum*, *Hypnum*, *Polytrichum*) na lokalitách Babí kámen a Svratouch bylo zjištěno, že nejvhodnějším druhem pro indikaci zvolených prvků je epifytický mech *Hypnum cupressiforme* (viz obr. 7).

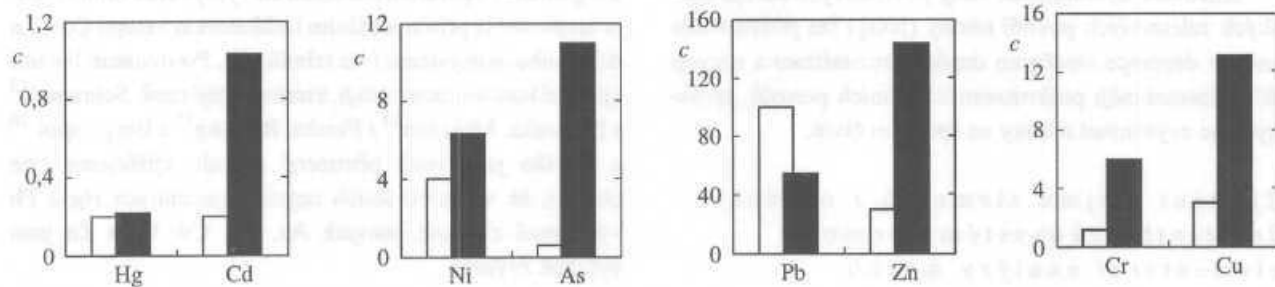
Ze zjištěných koncentrací kovů v mechové biomase a organických půdních horizontech vyplývá, že druh *H. cupressiforme* je přímo ideálním indikátorem vstupu Cd a Zn do lesního ekosystému (viz tabulka II). Porovnáme-li námi zjištěné koncentrace s údaji, které uvádějí např. Schramel¹³ z Německa, Mäkinen¹⁴ z Finska, Rühling¹⁵ a Berga spol.¹⁶ z Norska jako ještě přirozené pozadí, zjišťujeme (viz obr. 8), že v našich lesích nejsou koncentrace Hg a Pb významně zvýšené, naopak As, Cu, Cd, Cr a Zn jsou výrazně zvýšené.

Pokud se použijí pro monitoring tři nejmladší segmenty mechových stélek, pro které odvodili severští badatelé¹⁵ následující vztah:

koncentrace kovu v mechu v $\text{mg.kg}^{-1} =$
 $= 4x$ atmosferická depozice kovu v $\text{mg.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}$



Obr. 7. Schopnost mechů *Hypnum*, *Dicranum* a *Polytrichum* absorbovat vybrané kovy z ovzduší



Obr. 8. Průměry zjištěných koncentrací kovů c (mg.kg^{-1}) v *Hypnum cupressiforme* v porovnání s hodnotami udávanými jako přirozené prostředí; • přirozené pozadí, • mech

je možné poměrně levnou a nenáročnou metodou získat přehled o depozicích těžkých kovů na plochách v každém roce.

LITERATURA

1. Anonym: *Manual on Methods and Criteria for Harmonized Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the Effects of Air Pollution on Forest*. PCCW-BFH Hamburg, PCCE VÚLHM, Jíloviště-Strnady 1994.
2. Stoklasa J.: *Beschädigung der Vegetation durch Rauchgase und Fabrikexhalationen*. Urban und Schwanzenberg, Berlin 1923.
3. Materna J.: *Zprávy lesnického výzkumu* 12, 14 (1966).
4. Materna J.: *Zprávy lesnického výzkumu* 19, 21 (1973).
5. Materna J.: *Zprávy lesnického výzkumu* 25, 7 (1980).
6. Šrámek V.: *Zprávy lesnického výzkumu* 39, 38 (1994).
7. Šrámek V.: *Zprávy lesnického výzkumu* 41, 17 (1996).
8. Lochman V.: *Lesnictví-Forestry* 43, 529 (1994).
9. Lochman V.: *Lesnictví-Forestry* 39, 58 (1993).
10. Lochman V.: *Lesnictví-Forestry* 42, 437 (1996).
11. Uhlířová H., Miovská B., Fabiánek P.: *Zprávy lesnického výzkumu* 40, 27 (1995).
12. Andreae H.: *Ecological Impacts of Some Heavy Metals related to Long-range Atmospheric Transport*. Materiál UN/ECE ICP Forests, Sächsische Landesanstalt für Forsten (1996).
13. Schramel, P., Wolf, A., Lill, G.: *Fresenius J. Anal. Chem.* 317, 471 (1984).
14. Mäkinen A.: *Symposia Biologica Hungarica* 35, 777 (1987).
15. Rühling A.: *Atmospheric Heavy Metal Deposition in Europe - Estimations Based on Moss Analysis*. Nord 1994, 9.

16. Berg T., Royset O., Steinnes E., Vadset M.: Environ. Pollut. 88, 67 (1995).

H. Uhlířová, V. Lochman, V. Šrámek, and Z. Sovová
(Forestry and Game Management Research Institute, Prague-Zbraslav): **Monitoring of Foreign Compounds in Forest Ecosystems**

The review describes monitoring of foreign compounds in forest ecosystems linked up with the international cooperative programme „ICP Forests” which is one of the programmes fulfilling the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (CLRTAP). This monitoring follows the air pollution directly in the forest, it measures

and evaluates the deposition of selected elements and the influence of forest growth on the changes in their concentrations in soil water and in water flowing into drinking water sources. Monitoring the rainfall chemism is supplemented by analyses of selected bioindicators with a high accumulation ability, e.g. the moss *Hypnum cupressiforme*, organic soil horizons, leaves and needles of trees. From a long-range series of measurements the long-lasting increase in SO_2 concentrations can be seen between 1972 and 1987. Then an abrupt decrease down to the present concentrations is obvious. A similar trend is evident in the deposition of SO_4^{2-} by rainfalls. The nitrogen fall-out exhibited a maximum in the years 1985-1992, then it started to decrease. The accumulation of some heavy metals in forest ecosystems is still very topical.