

# VYUŽITIE INFORMÁCIÍ A METÓD INTENZÍVNEHO MONITORINGU LESNÝCH EKOSYSTÉMOV V OCHRANE LESA

JOZEF MINDÁŠ, PAVEL PAVLENDÁ, HANA PAVLENDOVÁ

## Úvod

V roku 1994 sa krajiny EÚ dohodli na vzniku Paneurópskeho programu intenzívneho monitoringu lesných ekosystémov, do ktorého sa od začiatku zapojila aj Slovenská republika. K 1. 1. 1998 vznikla národná sieť intenzívneho monitoringu pozostávajúca z 8 TMP.

V súčasnosti participuje na paneurópskom programe 38 krajín. Údaje a výsledky monitorovacích programov sú využívané pri strategických rozhodnutiach týkajúcich sa zlepšenia kvality ovzdušia, obmedzenia procesov acidifikácie, eutrofizácie, zníženia koncentrácie troposférického ozónu, zabezpečenia trvalo udržateľného obhospodarovania lesov, klimatických zmien, biodiverzity. Výsledky programu boli podkladom pri príprave rezolúcie S1 (Štrasburg), H1 (Helsinki) a L2 (Lisabon) ministerských konferencií o ochrane lesov v Európe, v ktorých boli stanovené základné rámce ochrany lesov v Európe a definované Paneurópske kritériá a indikátory pre trvalo udržateľné obhospodarovanie lesov. Za kľúčové kvantitatívne indikátory pre posúdenie zdravotného stavu a vitality lesných ekosystémov boli zvolené:

- Zmeny v defoliácii lesov podľa klasifikácie UN/ECE a EÚ (stupne poškodenia 2,3,4) za posledných 5 rokov.
- Zmeny v rovnováhe živín a kyslosti pôd (pH) za posledných 10 rokov, úroveň nasýtenia sorpčného komplexu bázami na TMP.
- Celkové množstvo a zmeny depozícií imisí za posledných 5 rokov (hodnotené na TMP).

## Prehľad monitorovacích aktivít a metód v rámci intenzívneho monitoringu

Prehľad monitorovacích aktivít na plochách intenzívneho monitoringu a časové cykly sledovania jednotlivých parametrov sú uvedené v tab. 1.

**Tabuľka 1. Prehľad monitorovacích aktivít a navrhnutý cyklus ich opakovania**

Monitorovacie aktivity	Cyklus opakovania
Hodnotenie stavu koruny	ročne **
Pôdne analýzy (pevná zložka)	po 5 rokoch **
Pôdne roztoky	priebežne *
Listové analýzy	každé 2 roky **
Prírastok	každých 5 rokov *
Depozícia a kvalita ovzdušia	priebežne *
Meteorologické parametre	priebežne *
Fytcenologické hodnotenie	každých 5 rokov *
Fenologické pozorovania	priebežne *
Diaľkový prieskum Zeme	pri založení plochy *

\*\* činnosti plne realizované v rámci národného monitorovacieho programu

\* činnosti čiastočne vykonávané v rámci národného monitorovacieho programu

Všetky pozorovania na plochách intenzívneho monitoringu lesov sú navzájom harmonizované s uplatňovaním princípov zabezpečovania kontroly kvality meraní a výsledkov. Metodickým jednotiacim základom je vydaný národný „Manuál metód a kritérií pre harmonizáciu odberov, hodnotenia a analýz vplyvu znečistenia ovzdušia na lesy“ (BUCHA et al., 1998), ktorý obsahuje podrobné popisy meraní, hodnotení a metód chemických analýz pre nasledovné oblasti: 1) Vizuálne hodnotenie zdravotného stavu drevín, 2) Pôda a pôdny roztok, 3) Listové analýzy, 4) Monitoring depozície v lesných ekosystémoch a 5) Hodnotenie prírastku. V rámci riešenia VTP „Metódy intenzívneho monitoringu lesov“ (obdobie 1999-2002) sa dopracovali ďalšie metodické postupy pre fotografickú dokumentáciu defoliácie lesných drevín, fenologické pozorovania a vizuálne hodnotenie poškodenia lesných drevín ozónom. Tieto metodické otázky pripomínáme najmä preto, že v oblasti hodnotenia vplyvu znečistenia ovzdušia na lesy sa častokrát používajú metodické prístupy nezodpovedajúce úrovni súčasného poznania.

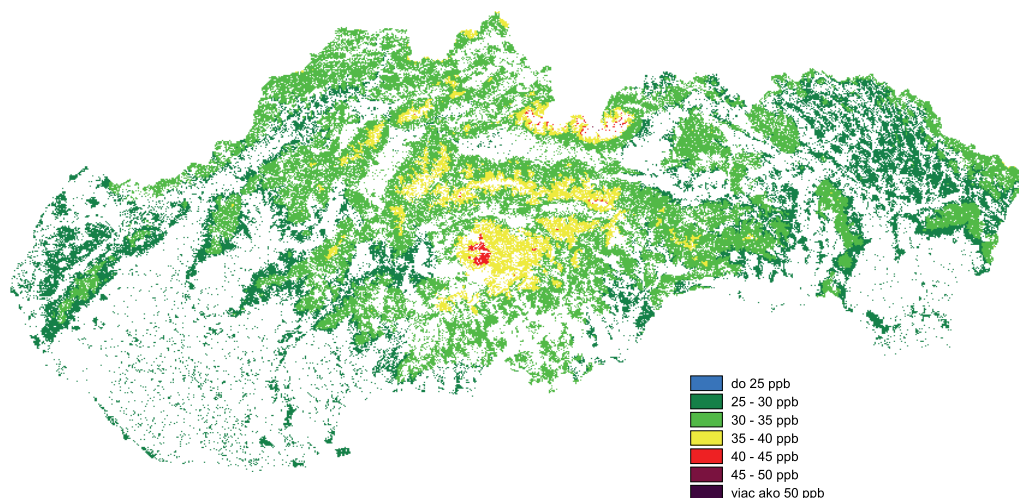
## Využitie výsledkov intenzívneho monitoringu lesných ekosystémov v ochrane lesa

Výsledky získané v rámci intenzívneho monitorovania lesných ekosystémov sa môžu efektívne uplatniť najmä vo vzťahu k problematike fyziologicky pôsobiacim abiotickým škodlivým činiteľom (sucho, záplavy, vysoké a nízke teploty, nedostatok alebo nadbytok živín) a k antropogénnym škodlivým činiteľom (znečistenie ovzdušia a zrážok). Pritom rámec výsledkov intenzívneho monitoringu nemožno vidieť iba cez prizmu výsledkov z 8 TMP. V súčasnosti už disponujeme metodickými nástrojmi pre získavanie celoplošných hodnotení najrozličnejších parametrov. Nakoľko ČMS Lesy je súčasťou Informačného systému ŽP, máme vybudované dobré kooperačné vzťahy aj s inými ČMS (napr. klíma, ovzdušie, voda), z ktorých vieme získavať a využívať doplnkové informačné bázy a transformovať ich pre potreby monitoringu lesov a lesníctva všeobecne. Nasledujúce kapitoly podávajú podrobnejšie informácie o súčasnom stave informačných a poznatkových báz intenzívneho monitoringu lesov (MINDÁŠ et al., 2002).

## Súčasný stav hodnotenia znečistenia ovzdušia

### Ozón

Na nasledujúcich mapkách (obr. 3) je znázornené rozloženie priemerných koncentrácií ozónu z rokov 1995 – 2000 na území lesov SR. Na ďalšom obrázku (obr. 1) sú priemerné ročné koncentrácie pre jednotlivé roky daného obdobia pre lesy SR.



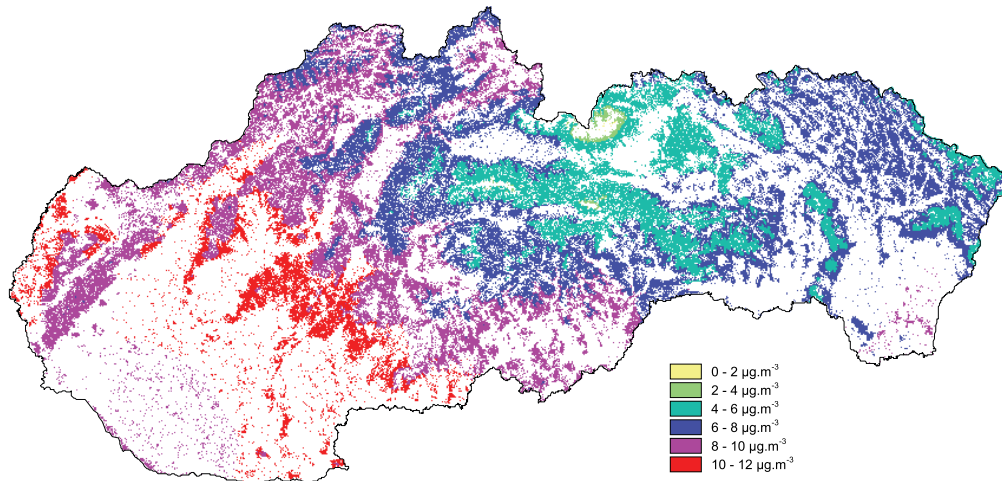
**Obr. 1. Priemerné koncentrácie troposférického ozónu za obdobie 1995 – 2000**

Prekračovanie krátkodobých imisných limitov sa vyhodnocuje spravidla iba pre 24-hod. priemer, ktorého kritická úroveň je 32,5 ppb. Kritická úroveň pre 1-hod. priemer 100 ppb býva prekračovaná pomerne zriedkavo, iba na niektorých monitorovacích staniciach, a to najmä v závislosti od fotochemických podmienok v danom roku. Naproti tomu kritická úroveň 32,5 ppb pre 24-hod. priemer býva prekračovaná bežne aj na monitorovacích staniciach s nižšou nadmorskou výškou. Vo fotochemicky priaznivých rokoch, ako bol napr. 1999 je potom táto hodnota pravidelne prekračovaná počas celej vegetačnej sezóny.

Na výpočet modelu prekračovania kritickej úrovne indexu AOT 40 sa používa vzorec odvodený Kremlerom v roku 1998 ( $AOT=5000+420*\sqrt{(h-100)}$ ; h-nadmorská výška). Z aplikácie modelu vyplýva, že hodnota indexu AOT 40 prekračuje 10 000 ppb.h približne od nadmorskej výšky 250 m, čo zahŕňa takmer všetky lesy SR, s výnimkou porastov na Podunajskej a Východoslovenskej nížine a na Záhorí.

### ***Oxid siričitý***

Priemerné koncentrácie oxidu siričitého v období 1995 – 2000 sú znázornené na obr. 2. Koncentrácie sa pohybovali od 1 do 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Limitná hodnota ročného priemeru je 20, resp. 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

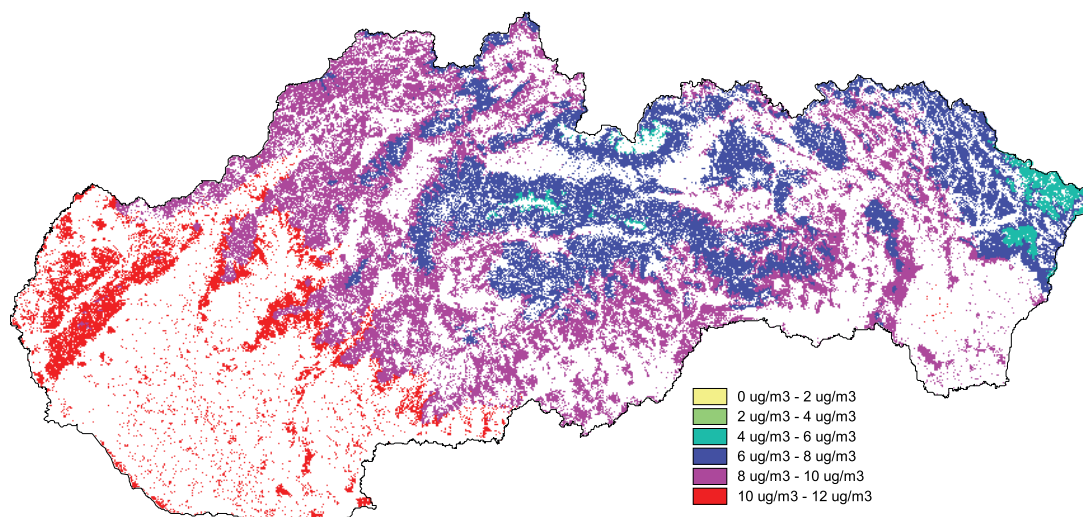


**Obr. 2. Priemerné koncentrácie oxidu siričitého v období 1995 – 2000 na území lesov SR**

Z prezentovaných výsledkov je zrejmé, že v súčasnosti nie sú prekračované kritické úrovne oxidu siričitého na celej ploche lesov SR. Treba však poznamenať, že tento model celkom nereprezentuje reálne pole znečistenia ovzdušia oxidom siričitým, nakoľko tento modelový postup neumožňuje celkom zohľadniť vplyv väčších lokálnych zdrojov znečistenia ovzdušia. Toto bude možné až v prípade aplikácie celoplošného rozptylového modelu, ktorý sa v súčasnosti vyvíja na SHMÚ a k dispozícii bude až v roku 2003.

### ***Oxidy dusíka***

Priemerné koncentrácie oxidov dusíka v období 1995 – 2000 sú znázornené na obr. 3. Koncentrácie sa pohybovali spravidla od 2 do 12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Limitná hodnota ročného priemeru je 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Obr. 3. Priemerné koncentrácie oxidov dusíka v období 1995 – 2000 na území lesov SR**

Z prezentovaných výsledkov je zrejmé, že v súčasnosti nie sú prekračované kritické úrovne oxidov dusíka na celej ploche lesov SR. Treba však poznamenať, že tento model, podobne ako u  $\text{SO}_2$ , celkom nereprezentuje reálne pole znečistenia ovzdušia oxidmi dusíka. Tento modelový postup neumožňuje celkom zohľadniť vplyv väčších lokálnych zdrojov znečistenia ovzdušia ako aj vplyv dopravy. Toto bude možné až v prípade aplikácie celoplošného rozptylového modelu, ktorý sa v súčasnosti vyvíja na SHMÚ a k dispozícii bude až v roku 2003.

### **Index regionálneho znečistenia ovzdušia**

Index regionálneho znečistenia ovzdušia (IRZO) v sebe integruje hodnotenie znečistenia ovzdušia pre tri hlavné znečisťujúce komponenty: oxidy síry, dusíka a ozónu, pričom ako váhy sú použité hodnoty kritických úrovní pre lesné ekosystémy. Celkové výsledky plošného mapovania IRZO sú znázornené na obr. 3, ktoré je klasifikované podľa nasledovnej tabuľky hodnôt:

Hodnota IRZO	Stav znečistenia ovzdušia
menej ako 0,8	zanedbateľné
0,8-1,2	slabé
1,2-1,6	mierne
1,6-2,0	stredné
2,0-2,4	silné
viac ako 2,4	veľmi silné

Z výsledkov je zrejmé, že približne polovica územia lesov Slovenska sa nachádza v oblasti silného až veľmi silného regionálneho znečistenia ovzdušia. Je to spôsobené predovšetkým vysokými hodnotami indexu AOT 40 pre ozón.

### **Depozícia kyslých elementov**

Pre potreby plošného hodnotenia kritických záťaží acidity sme vypočítali aj plošné hodnoty depozície síry a dusíka pre rôzne časové obdobia, aby sme mohli porovnávať zmenu depozičnej úrovne v lesných ekosystémoch na prekračovanie kritických záťaží. Výpočet bol prevedený pomocou postupu, ktorý je podrobne popísaný v práci MINDÁŠA a ŠKVARENINU (1998), a ktorý spočíva vo výpočte čistej mokrej depozície odvodennej zo zrážkového úhrnu a ročných

vážených priemerov koncentrácií jednotlivých elementov v zrážkovej vode, ktorá je ďalej prenášobaná depozičným faktorom (závisí na nadmorskej výške a drevine). Depozícia síry a dusíka sa stanovila a plošne vyjadřila pre tri rôzne časové hladiny: 1997-2000, 1990 a 1951-2000.

### **Kritické záťažé síry a dusíka**

Kritické záťažé (KZ) síry a dusíka sa vypočítali jednak v plošnom vyjadření a jednak osobitne pre 111 plôch I. úrovne monitoringu. Pre monitorovacie údaje sa využili čo najpresnejšie údaje, ktoré sa odvodili z dendrometrických údajov (prírastok dreva a kôry) ako aj priamych analýz (analýza obsahu dusíka a bázických katiónov v dreve a kôre) pre stanovenie príjmu dusíka a báz v biomase stromov. Na základe presnejších pedologických podkladov sa stanovili aj zvetrávacie koeficienty podľa princípov použitých aj pri celoplošnom mapovaní KZ (MINĐÁŠ *et al.*, 1999; POSCH *et al.*, 1999). Podľa získaných presnejších údajov sa modifikovali aj niektoré údaje v databázach celoplošných vstupných parametrov pre výpočet KZ (najmä hodnoty príjmu dusíka a báz).

V percentuálnom vyjadření sa plošné percento prekročenia KZ pohybuje v intervale 25-39 %. Konkrétne hodnoty pre jednotlivé časové horizonty sú uvedené v nasledovnom prehľade:

<b>Depozičný priemer</b>	<b>Percento prekročenia KZ z celkovej plochy lesov SR</b>
1997-2000	25 %
1990-95	30 %
1990	39 %
1951-2000	<b>33 %</b>

Ako reprezentatívnu hodnotu je potrebné brať úroveň 33 % (obdobie 1951-2000), čo znamená, že zhruba jedna tretina plochy našich lesov je reálne dlhodobu ohrozená pôsobením kyslej depozície, čo sa skôr či neskôr prejaví v nerovnováhe výživy, zhoršovaní pôdnych podmienok a zhoršovaním rastových podmienok pre lesné dreviny.

### **Podporný rozhodovací systém hodnotenia vplyvu znečistenia ovzdušia na lesy**

Hlavnou úlohou podporného rozhodovacieho systému pre hodnotenie vplyvu znečistenia ovzdušia na lesné ekosystémy je reálne zhodnotiť mieru ohrozenia lesných ekosystémov vplyvom znečistenia ovzdušia a zrážok s využitím dostupných relevantných informácií o abiotických aj biotických zložkách lesných ekosystémov. Na splnenie tejto úlohy je potrebné zdefinovať bázu vstupných údajov, bázu znalostí a prostriedky pomocou ktorých získame výslednú vizualizovanú požadovanú informáciu.

Správne zdefinovanie bázy vstupných údajov, či už vo forme digitálneho obrazu (GIS vrstva) alebo databázovej forme, je jednou z kľúčových podmienok úspešného fungovania celého rozhodovacieho systému. Jednotlivé informačné bázy vstupných údajov môžeme z hľadiska riešenia nášho konkrétneho problému rozdeliť na niekoľko skupín:

1. *všeobecné informačné údaje*
2. *informačné zdroje o znečistení ovzdušia a zrážok*
3. *informačné zdroje o pôdnom prostredí*
4. *informačné zdroje o biotickom prostredí*

Všeobecné informačné údaje zahŕňajú predovšetkým všeobecné informačné GIS vrstvy, ktoré tvoria základné prostredie pre aplikáciu špecifických informačných báz. Ide predo-



všetkým o digitálny model terénu s príslušnými geografickými atribútmi, ďalej je to, napr. vrstva drevinového zloženia lesov, pôdných typov a pod.

Informačné zdroje o znečistení ovzdušia predstavujú informácie o faktoroch, u ktorých hodnotíme vplyv na abiotickú aj biotickú zložku lesných ekosystémov. V našom prípade ide predovšetkým o hodnoty znečistenia ovzdušia, vyjadrené napr. pomocou indexu regionálneho znečistenia ovzdušia a o hodnoty depozičné, napr. hodnoty depozície síry a dusíka ako nositeľov kyslej depozície do lesných ekosystémov.

Informačné zdroje o pôdnom prostredí sú reprezentované predovšetkým tými hodnotami, ktoré majú priamy vzťah k vplyvu najmä kyslej depozície na lesy. Môže ísť napr. o priame charakteristiky pôd ako je hodnota pH ako ukazovateľ celkovej kyslosti, zásoba bázických kationov v pôde ako ukazovateľ neutralizačnej kapacity lesných pôd a pod. alebo môže ísť o komplexné bilančné ukazovatele pre pôdu ako napr. maximálna kritická záťaž pre síru (vyjadruje celkovú bilanciu bázických kationov v pôde) alebo maximálna kritická záťaž pre dusík (vyjadruje bilanciu dusíka v pôde) a pod.

Informačné zdroje o biotickom prostredí sú reprezentované predovšetkým tými hodnotami, ktoré majú priamy vzťah k vplyvu znečistenia ovzdušia na lesné dreviny. Môže ísť napr. o hodnoty defoliácie ako ukazovateľa zdravotného stavu lesných drevín alebo o obsahy makro a mikroživín v asimilačných orgánoch lesných drevín ako ukazovateľ stavu výživy alebo obsahy toxických elementov v asimilačných orgánoch ako ukazovateľ miery toxicity.

**Tabuľka 2. Charakteristika výsledných hodnôt stupňa záťaže lesných ekosystémov vplyvom znečistenia ovzdušia a zrážok**

Stupeň záťaže	Slovné vyjadrenie	Základná charakteristika
0	žiadna záťaž	Nedochádza k prekračovaniu kritických úrovní a kritických záťaží, hodnoty defoliácie sú nižšie ako celoslovenský priemer, nevyskytujú sa poruchy vo výžive lesných drevín v dôsledku znečistenia ovzdušia
1	mierna záťaž	Dochádza k prekračovaniu kritickej úrovne maximálne u jedného plynného polutanta, kritická záťaž nie je prekračovaná, hodnoty defoliácie spravidla neprekračujú celoslovenský priemer, u niektorých výživových elementov môže byť zaznamenaný stav nedostatku resp. nadbytku, môžu sa vyskytovať zvýšené obsahy niektorých toxických prvkov v pôde a asimilačných orgánoch
2	stredná záťaž	Dochádza k prekračovaniu kritickej úrovne maximálne u jedného plynného polutanta, kritická záťaž môže byť prekračovaná, index regionálneho znečistenia je vyšší ako 1,2, hodnoty defoliácie spravidla prekračujú celoslovenský priemer, u niektorých výživových elementov môže byť zaznamenaný stav nedostatku resp. nadbytku, vyskytujú sa zvýšené obsahy niektorých toxických prvkov v pôde a asimilačných orgánoch
3	silná záťaž	Dochádza k prekračovaniu kritickej úrovne aspoň u jedného plynného polutanta, kritická záťaž je prekročená, stupeň regionálneho znečistenia je vyšší ako 2, hodnoty defoliácie prekračujú celoslovenský priemer, u väčšiny výživových elementov je zaznamenaný stav nedostatku resp. nadbytku, vyskytujú sa zvýšené obsahy väčšiny toxických prvkov v pôde a asimilačných orgánoch
4	extrémna záťaž	Dochádza k prekračovaniu kritickej úrovne aspoň u dvoch plynných polutantov, kritická záťaž je prekročená, stupeň regionálneho znečistenia je vyšší ako 2,4, hodnoty defoliácie prekračujú celoslovenský priemer, u väčšiny výživových elementov je zaznamenaný stav nedostatku resp. nadbytku, vyskytujú sa zvýšené obsahy u väčšiny toxických prvkov v pôde a asimilačných orgánoch

Výsledkom podporného rozhodovacieho systému hodnotenia vplyvu znečistenia ovzdušia na lesné ekosystémy je stanovenie stupňa záťaže lesného ekosystému vyjadreného hodnotami 0-4. V tab. 2 uvádzame bližšiu charakteristiku výsledných hodnôt jednotlivých stupňov záťaže lesných ekosystémov vplyvom znečistenia ovzdušia a zrážok. Tieto hodnoty budú v danom prostredí vizualizované s vyhodnotením ich plošného výskytu.

Nakoľko pre jednotlivé stupne záťaže vieme vyjadriť kriteriálne hodnoty, vieme do istej miery tieto uplatniť v budúcnosti aj vo vzťahu k aplikácii konkrétnych melioračných a ozdravných opatrení v lesných porastoch Slovenska.

## Literatúra

- BUCHA, T., PAJTÍK, J., PAVLENDÁ, P., MAŇKOVSKÁ, B., MINĎÁŠ, J., 1998. *Manuál metód a kritérií pre harmonizáciu odberov, hodnotenia a analýz vplyvu znečisteného ovzdušia na lesy - ČMS Lesy*. Zvolen : LVÚ, 1998, 122 s.
- MINĎÁŠ, J., PAVLENDOVÁ, H., PAVLENDÁ, P., MAŇKOVSKÁ, B., SEDMÁKOVÁ, D., PAJTÍK, J., PRIWITZER, T., IŠTOŇA, J., KONÓPKA, B., BUCHA, T., VLADOVIČ, J., ŠMELKO, Š., 2002. *Metódy intenzívneho monitoringu lesov*. Záverečná správa čiastkového projektu VTP 2729-02. Zvolen : LVÚ, 236 strán, 9 strán príloh, 135 obr., 75 tab.
- MINĎÁŠ, J.-PAVLENDÁ, P.-ŠKVARENINA, J.-KREMLER, M.-PUKANČIKOVÁ, K.-ZÁVODSKÝ, D., 1999. *Critical Loads of Acidity for Slovak Forest Ecosystems*. Meteorologický časopis - Meteorological Journal, 2, 1, s. 15-24.
- MINĎÁŠ, J.-ŠKVARENINA, J., 1998. Stanovenie depozície elementov ako podklad pre výpočet kritických záťaží lesných pôd. In *Lesy a lesnícky výskum pre tretie tisícročie*. Zborník referátov z medzinárodnej vedeckej konferencie, 14.-18.október 1998, Zvolen : LVÚ, s. 341-345.
- POSCH, M., DE SMET, P.A.M., HETTELINGH, J.P., DOWNING, R.J., 1999. *Calculation and Mapping of Critical Thresholds in Europe: Status Report 1999*. Coordination Center for Effects, RIVM, Bilthoven, the Netherlands.

*Kontaktná adresa:*

**RNDr. Ing. Jozef MINĎÁŠ, PhD.**

Lesnícky výskumný ústav Zvolen  
T. G. Masaryka 22  
960 92 Zvolen

*e-mail:* <mindas@fris.sk>