

# DEPOZÍCIA ELEMENTOV V LESNÝCH EKOSYSTÉMOCH SLOVENSKA – VÝSLEDKY MONITORINGU

Jozef Mind'áš – Slávka Tóthová

Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T.G.Masaryka 22, 960 92 Zvolen, [mindas@fris.sk](mailto:mindas@fris.sk)

## Úvod

Vzrastajúce znečisťovanie ovzdušia v osemdesiatych rokoch viedlo k rozsiahlemu zhoršeniu zdravotného stavu lesov v Európe. Preto európske štáty prijali r. 1985 Medzinárodný kooperatívny program hodnotenia a monitorovania účinkov znečisteného ovzdušia na lesy (UN-ECE ICP Forests). Vzápätí prijali krajiny Európskej únie Council Regulation No. 3528/86 program o Ochrane lesov pred atmosferickým znečisťovaním (Protection of Forests against Atmospheric Pollution). Tým sa vytvorila legislatívna báza pre financovanie národných programov. Podľa metodiky UN – ECE ICP Forests sa pripravil národný program aj na Slovensku r. 1987, pričom od r. 1993 sa úlohy riešia v rámci Čiastkového monitorovacieho systému Lesy (ČSM Lesy).

R. 1994 sa krajiny EÚ dohodli na vzniku Paneurópskeho programu intenzívneho monitoringu lesných ekosystémov, do ktorého sa zapojila aj Slovenská republika, pričom k 1.1.1998 vznikla na Slovensku národná sieť intenzívneho monitoringu pozostávajúca z 8 monitorovacích plôch. V súčasnosti sa zúčastňuje na plnení Paneurópskeho programu 38 krajín. Údaje a výsledky monitorovacích programov sa využívajú pri strategických rozhodnutiach týkajúcich sa zlepšenia kvality ovzdušia, obmedzenia procesov vedúcich k zakysľovaniu prírodných ekosystémov, eutrofizácie (prebytok výživových látok v prírode najmä dusíka a fosforu), zníženia koncentrácie troposférického ozónu, zabezpečenie trvalo udržateľného obhospodarovania lesov, klimatických zmien, ako aj biodiverzity (rozmanitosť rastlín a živočíchov) v lesných porastoch. Výsledky programu boli podkladom k vypracovaniu viacerých rezolúcií ministerských konferencií o ochrane lesov v Európe (Štrasburg, Helsinky, Lisabon, Viedeň). K monitorovacím činnostiam a metódam v rámci súčasne používaného intenzívneho monitoringu patria: Hodnotenie stavu koruny lesných stromov, pôdne analýzy (pevná zložka), pôdne roztoky (voda), listové analýzy, prírastok drevín, depozícia znečisťujúcich látok a kvalita ovzdušia, meteorologické parametre, fytoecologické hodnotenie, fenologické pozorovania (rašenie a kvitnutie stromov) a diaľkový prieskum Zeme.

Hodnotenie depozičných vstupov patrí medzi najdôležitejšie prieskumy a predstavuje základnú bázu údajov aj pre hodnotenie výsledkov kritických záťaží ako depozičných ekologických limitov.

## Metodika

Odber všetkých vzoriek vôd pre chemické analýzy sa vykonával rovnakým spôsobom, a to preliatím vzoriek zo záchytných, resp. zberných nádob do čistých, chemicky ošetrovaných polyetylenových nádob. Tieto boli presne označené nezmazateľným spôsobom ihneď po odbere a transportované do chemických laboratórií, kde sa okamžite uskladnili v tme pri teplote 4-5 °C. Najneskôr do 36 hodín (spravidla do 5 hodín) po odbere, boli všetky vzorky prefiltrované cez chemicky inertný filter za účelom odstránenia nečistôt (zvyšky organických látok, hrubý prach a pod.) zo vzoriek. Až do vykonania príslušných chemických analýz sa vzorky vôd skladovali v tme pri teplote 4-5 °C. Všetky zberné nádoby boli pravidelne

ošetrované a po každom odbere umývané deionizovanou vodou a to aj v období, keď sa zrážky nevyskytli.

Záchyt vody stečenej po kmeňoch vybraných vzorníkov buka sa uskutočnil pomocou golierov z polyuretánovej peny, kde vnútorný priestor žliabku bol vyplnený chemicky testovanou silikónovou hmotou. Týmto sa zabezpečila využiteľnosť tohto spôsobu merania pre stanovenie množstva aj kvality stečenej vody po kmeňoch. Zachytená stekajúca voda sa zhromažďovala do zberných polyetylénových nádob, odkiaľ sa odoberala príslušná vzorka pre potreby chemických analýz. Odber aj chemické analýzy sa vykonávali separátne pre každý vzorník buka.

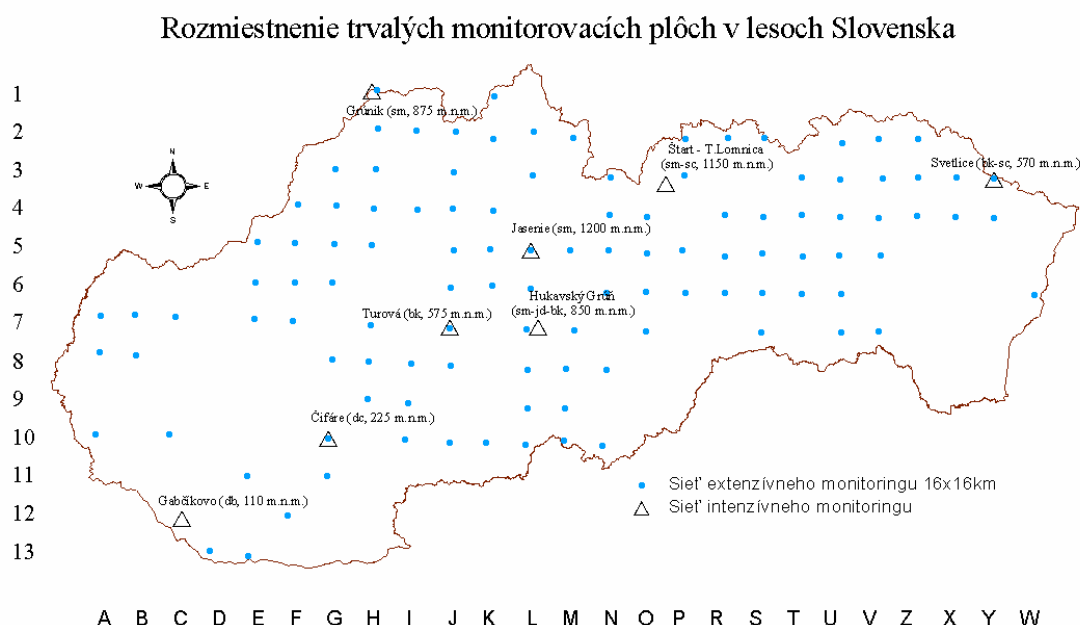
Prevažná väčšina vzoriek vôd sa analyzovala v chemickom laboratóriu na Lesníckom výskumnom ústave, časť vzoriek v súvislosti s riešením tém diplomových prác a riešením vedeckotechnického projektu "Racionálne obhospodarovanie a využívanie územia biosférickej rezervácie Poľana", bola analyzovaná v laboratóriách na Katedre prírodného prostredia LF TU vo Zvolene. Tabuľka 1 podáva informáciu o použitých analytických metódach v oboch laboratóriách.

Laboratórium LVÚ je účastníkom programu AQA (Analytical Quality Assurance) na zabezpečenie kvality chemických rozborov v rámci chemických laboratórií rezortu pôdohospodárstva, ďalej účastníkom projektu AQUACON-MedBas PROJECT Subproject No.6 - Acid rain analysis a držiteľom certifikátov na zabezpečenie kvality chemických analýz vôd vydaných národným referenčným laboratóriom pri VÚVH v Bratislave, čo dokumentuje zabezpečenie presnosti chemických rozborov zrážkových a lyzimetrických vôd.

**Tab.1** *Prehľad analytických metód použitých pre analýzy zrážkových a lyzimetrických vôd na lokalite Poľana - Hukavský grúň*

KOMPONENT	ANALYTICKÁ METÓDA	
	Laboratóriá KPP LF TU	Laboratórium OLP LVÚ
pH	potenciometricky, pomocou sklenenej vysokoohmovej elektródy	potenciometricky, pomocou sklenenej vysokoohmovej elektródy
EC	elektrometricky pri 20 °C	elektrometricky pri 20 °C
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	titračne s dusičnanom olovnatým na indikátor ditizon v acetónovom prostredí	iónová chromatografia
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	kolorimetricky so salycilanom sodným v prostredí kyseliny sírovej	iónová chromatografia
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	kolorimetricky s Nesslerovým činidlom	iónová chromatografia
Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup>	plamenná fotometria	plamenná atómová absorpčná spektrofotometria
Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	atómová absorpčná spektrofotometria	atómová emisná spektrometria

Prevažná väčšina experimentálnych a analytických prác sa sústredila na trvalé monitorovacie plochy II. úrovne (8 TMP). Ich geografická rajonizácia je dokumentovaná na obr.1. Detailnejší popis plôch možno nájsť v ročných správach za „ČMS Lesy“ (BUCHA *et al.* 2000, 2001)



**Obr.1**

## Výsledky

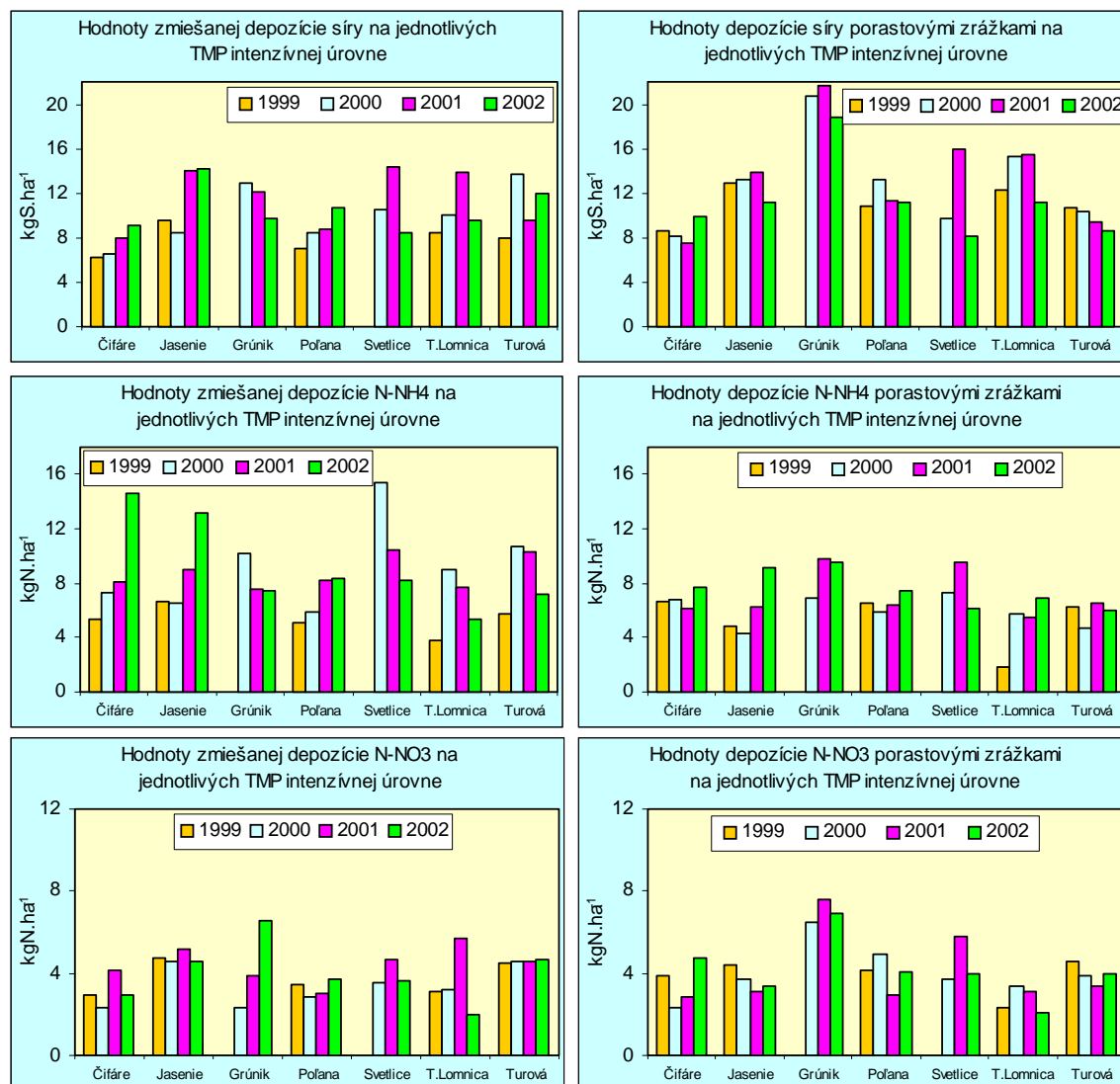
V rámci riešenia projektu sa zabezpečoval kontinuálny monitoring depozície na 8 plochách intenzívnej úrovne v 14 dňových intervaloch. V tejto správe prezentujeme výsledky za roky 1999-2002. Rok 2003 ešte nemá ukončené merania.

Výsledky ročných depozičných vstupov acidifikačných komponentov ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$ ) pre voľnú plochu a porastové zrážky sú dokumentované na obr.2. Hodnoty depozície síry na voľnej ploche sa pohybovali v intervale 6-15  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , pričom najvyššie hodnoty sa spravidla vyskytli v roku 2001 resp.2002. Najnižšie depozície síry na voľnej ploche sa vyskytovali v Čifároch a na Poľane, vyššiu depozíciu síry v Gabčíkove v roku 1999 treba spájať s pravdepodobným lokálnym vplyvom. Depozícia síry porastovými zrážkami je vyššia oproti voľnej ploche a pohybuje sa v rozpätí 8-21  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , pričom najvyššie hodnoty dosahuje na plochách Grúnik, Jasenie a Tatranská Lomnica.

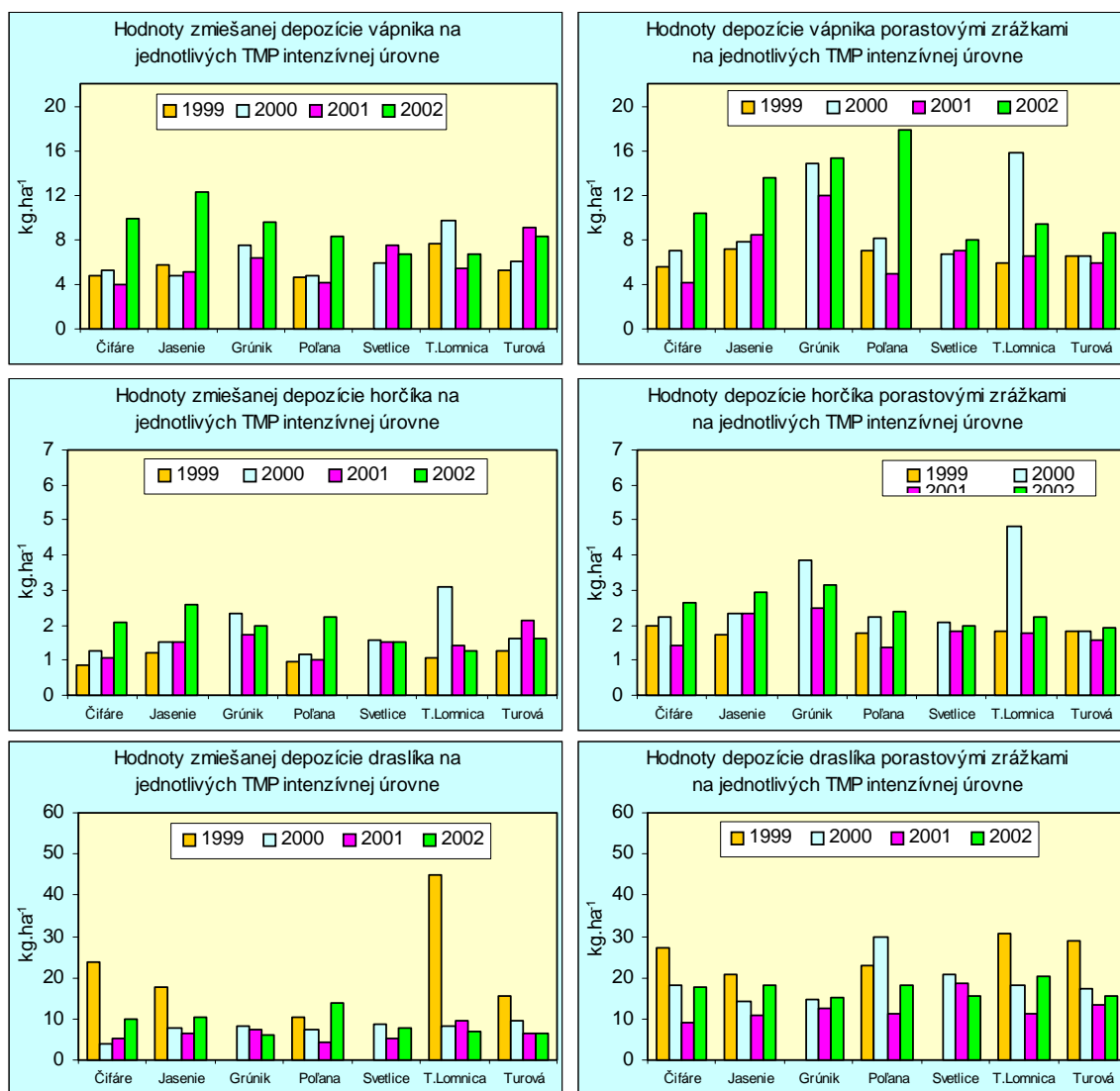
Hodnoty depozície amoniakového dusíka sú na voľnej ploche vo všeobecnosti o niečo vyššie ako depozície nitrátového dusíka. Najvyššia depozícia  $\text{N-NH}_4^+$  sa pozorovala na lokalite Svetlice. V porastových zrážkach pozorujeme mierny pokles depozície amoniakového dusíka v dôsledku jeho pohlčovania asimilačným aparátom lesných drevín („hnojenie na list“). U nitrátového dusíka tento efekt nepozorujeme. Celkové depozície dusíka sa pohybovali na voľnej ploche v intervale 8-19  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , v porastových zrážkach je to o niečo menej.

V depozíciách bázičných katiónov (obr.3) dominujú hodnoty depozície draslíka, ktoré sa na voľnej ploche pohybujú spravidla do hodnoty 15  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , výnimočne však aj nad 40  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Gabčíkovo, T. Lomnica). Hodnoty depozície vápnika na voľnej ploche sa pohybujú spravidla v intervale 4-8  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , u horčička je to v rozpätí 1-3  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . U všetkých troch

spomínaných bázičických katiónov pozorujeme zvýšenie ich obsahu v porastových zrážkach, pričom najmarkantnejšie je to v prípade draslíka. Vo všeobecnosti však tieto hodnoty v prípade bázičických katiónov musíme hodnotiť opatrne, nakoľko hodnoty namerané v porastových zrážkach nemôžeme priamo stotožňovať s hodnotami celkovej depozície báz. Hodnoty v porastových zrážkach sú však silne ovplyvnené vnútorným kolobehom báz v ekosystéme (vymývanie z vnútorných pletív asimilačného aprátu drevín), a preto hodnoty celkovej depozície musíme korigovať pomocou stanovenia „faktora suchej depozície“. Tento faktor je možné odvodiť na základe „canopy budget modelu“, ktorý bol aplikovaný na lokalite Poľana (MINĎÁŠ 2001) a postupne bude vyhodnotený pre všetky plochy intenzívneho monitoringu.



**Obr.2** Ročné hodnoty zmiešanej depozície a depozície porastovými zrážkami  $S-SO_4^{2-}$ ,  $N-NH_4^+$ ,  $N-NO_3^-$  na plochách intenzívnej úrovne monitoringu v rokoch 1999-2002



**Obr.3** Ročné hodnoty zmiešanej depozície a depozície porastovými zrážkami základných kationov ( $Ca_2^+$ ,  $Mg_2^+$ ,  $K^+$ ) na plochách intenzívnej úrovne monitoringu v rokoch 1999-2002

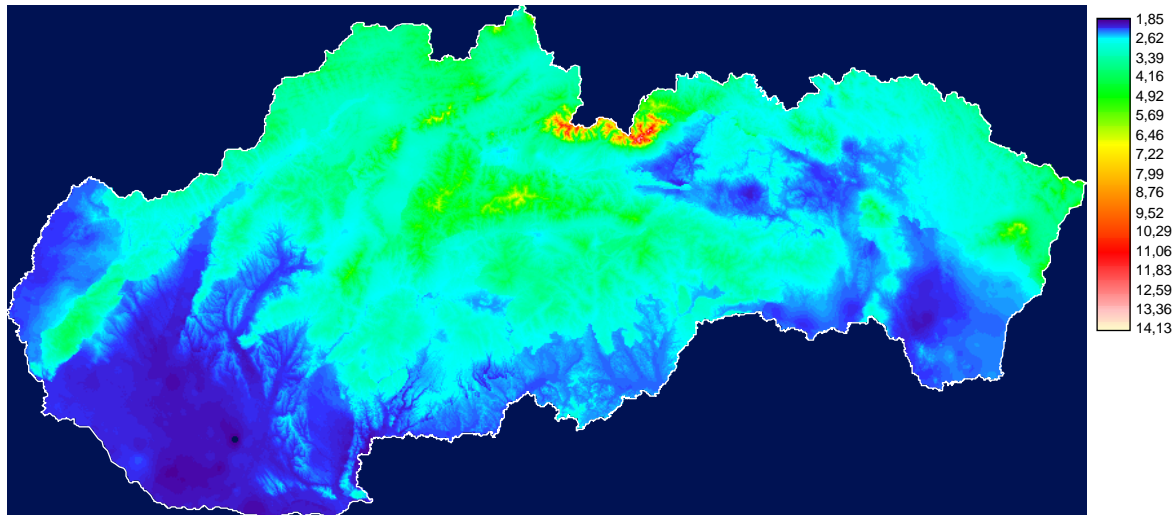
Pre potreby vyhodnotenia prekračovania kritických záťaží pre olovo a kadmium sa taktiež realizovali výpočty depozičných tokov týchto elementov. Za týmto účelom sme využili dostupné merania koncentrácií ťažkých kovov v atmosférickom aerosole na monitorovacích staniciach regionálneho znečistenia ovzdušia a merania koncentrácií ťažkých kovov v zrážkových vodách na plochách druhej úrovne monitoringu lesov na Slovensku.

Hodnoty celkovej depozície sa počítali podľa vzťahu (1):

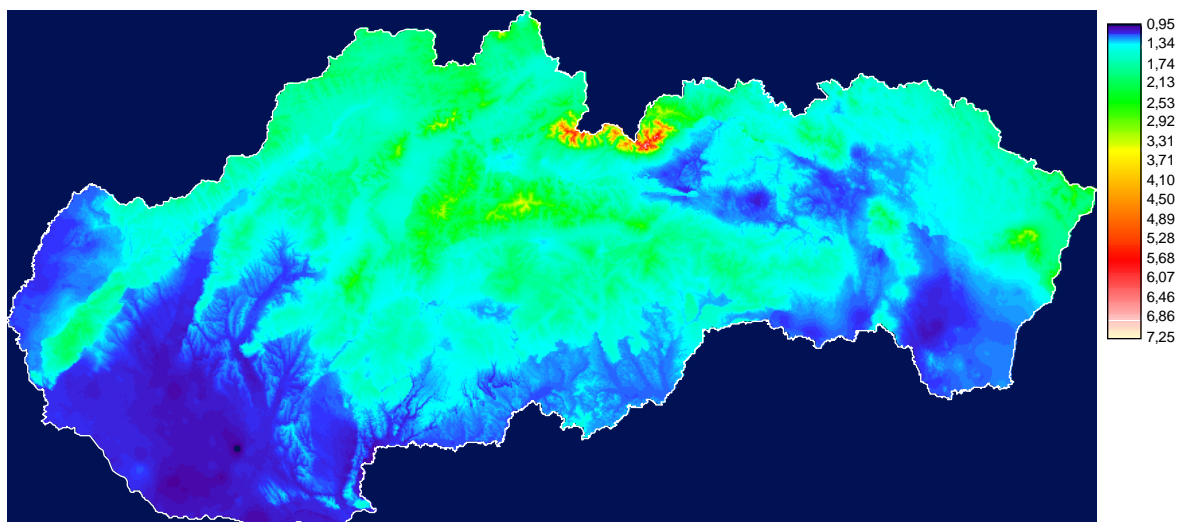
$$Dep(M) = v_d * C_A(M) * K_1 + C_w(M) * R * K_2 \quad (1)$$

kde M je vybraný ťažký kov (Pb, Cd),  $v_d$  je rýchlosť suchej depozície,  $C_A(M)$  je koncentrácia ťažkého kovu v aerosole,  $C_w(M)$  je koncentrácia ťažkého kovu v zrážkovej vode, R je úhrn zrážok a  $K_1$ ,  $K_2$  sú koeficienty prepočtu jednotiek.

Pre tento rámcový výpočet sme brali hodnotu suchej depozície 0,1 cm/s (hodnoty adekvátne pre jemnú zložku atmosférického aerosolu). Konkrétny výpočet sme urobili pre podmienky roku 2000, kedy hodnoty koncentrácií ťažkých kovov v aerosóle sa pohybovali v intervale 0,15 – 0,58 ng.m<sup>-3</sup> (Cd) resp. 3,47 – 18,47 ng.m<sup>-3</sup> (Pb) a koncentrácie v zrážkových vodách v intervale 0,06 – 0,39 ug.l<sup>-1</sup> (Cd) 0,06-0,92 ug.l<sup>-1</sup> (Pb). Výsledky kalkulácie hodnôt depozície Pb a Cd v gridovom rozlíšení 30 x 30 m sú prezentované na obr.4 a 5.



**Obr.4** Predbežné kalkulované hodnoty depozície (suchá + mokrá) Pb na území Slovenska (g.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>)



**Obr.5** Predbežné kalkulované hodnoty depozície (suchá + mokrá) Cd na území Slovenska (g.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>)

## Diskusia

Pre hodnotenie výsledkov je dôležitá ich komparácia nielen s domácimi údajmi, ale aj s hodnotami depozície v lesných ekosystémoch v rámci Európy. Z prehľadu európskych výsledkov meraní koncentrácií napr. dusičnanov (Tab.2) môžeme konštatovať, že podobne ako pri síranoch, tu dochádza k zvyšovaniu koncentrácií prechodom cez korunovú vrstvu

lesného porastu a taktiež k ich významnej transformácii v pôdnom prostredí. Význam drevinového zloženia na koncentrácie dusičnanov v zrážkových a lyzimetrických vodách veľmi dobre ilustrujú výsledky z lokality Solling v Nemecku (Tab.2), kde koncentrácie dusičnanov v pôdnom roztoku v hĺbke 100 cm pod smrekovým porastom sú viac ako 12-násobne vyššie ako v tej istej hĺbke pod bukovým porastom.

**Tab.2** Porovnanie hodnôt koncentrácií dusičnanov v zrážkových a lyzimetrických vodách na vybraných európskych lokalitách a Hukavskom grúni

mg.l <sup>-1</sup>	1	2	2	3	4	5	5	6	6
Drevina	Bk	Bk	Sm	Sm	Bk	Sm	Bk	Sm	Bk
Vek	120 r.	28 r.	100 r.	90 r.	150 r.	110 r.	110 r.	95 r.	95 r.
Oblasť	južné Švédsko	Želivka, ČR	Želivka, ČR	Rájec, ČR	južné Anglicko	Solling Nemecko	Solling Nemecko	Poľana H. grúň	Poľana H. grúň
Obdobie	1989-90	1994-95	1994-95	1976-90	1984-85	1971-83	1971-83	93-97	93-97
VP	4,7	4,0	4,0	7,0	3,2	3,7	3,7	2,4	2,4
PZ	6,8	4,5	9,0	16,1	4,6	9,1	5,8	6,0	2,8
L0	-	25,3	9,2	12,6	19,5	-	-	-	12,5
LP	12,4	7,4	5,1	9,1	-	13,6	1,1	-	3,3
LP-hĺbka	30 cm	20 cm	30 cm	A-horiz.		100 cm	100 cm		33 cm
Pôdny typ	Dystrická kambizem	Kambizem typická	Luvizem	Kambizem kyslá	Luvizem	Dystrická kambizem	Dystrická kambizem	Kambizem andozemná	Kambizem andozemná

- 1 BERGKVIST, FOLKESON (1992) VP - Zrážky voľnej plochy
- 2 LOCHMAN (1997) PZ - Podkorunové zrážky
- 3 KLIMO *et al.* (1996) L0 - Priesak pod nadložným humusom
- 4 GOWER *et al.* (1995) LP - Priesak v minerálnej pôde
- 5 BREDEMEIER *et al.* (1990)
- 6 TMP POLANA

Podobne aj údaje z vybraných európskych lokalít (Tab.3) poukazujú na značné diferencie v obsahu vápnika v zrážkach na voľnej ploche, čo je výsledkom lokálnych odlišností jednotlivých regiónov a to polohou vo vzťahu k terigénnym (vápencové a sprašové oblasti) alebo antropogénnym (cementárne) zdrojom vápnika v atmosférickom aerosole. Obohacovanie podkorunových zrážok vápnikom nie je tak výrazné ako pre draslík, pričom vyššie faktory obohatenia sa zväčša vzťahujú pre smrek, nižšie pre buk. Na takmer všetkých lokalitách dochádza k zvýšeniu obsahu vápniku po prechode zrážok vrstvou nadložného humusu, čo svedčí o intenzívnom vyplavovaní vápnika z odumretých a rozkladajúcich sa organických zvyškov. Obsah vápnika v pôdnom roztoku v minerálnej pôde je už spojený s celkovým stavom acidifikácie pôdneho prostredia vo vzťahu k sorpčnému komplexu pôdy. Vysoký obsah vápnika v priesakovej vode, napr. na lokalite Želivka v hĺbke 30 cm pod smrekovým porastom (Tab.3), dokumentuje vplyv acidifikácie na vyplavovanie vápnika zo sorpčného komplexu pôdy.

## Záver

Výsledky meraní depozície elemnetov na plochách intenzívneho monitoringu na Slovensku plne zapadajú do rámca celoeurópskych výsledkov a sú dobrým východiskom preč spresňovanie celoplošných zisťovaní depozícií pre jhodnotenie prekračovania kritických záťaž. Hodnoty depozície vykazujú značné medziročné zmeny závislé predovšetkým na režime atmosférických zrážok v danom roku.

**Tab.3** Porovnanie hodnôt koncentrácií vápnika v zrážkových a lyzimetrických vodách na vybraných európskych lokalitách a Hukavskom grúni

mg.l <sup>-1</sup>	1	2	2	3	4	5	5	6	6
Drevina	Bk	Bk	Sm	Sm	Bk	Sm	Bk	Sm	Bk
Vek	120 r.	28 r.	100 r.	90 r.	150 r.	110 r.	110 r.	95 r.	95 r.
Oblasť	južné Švédsko	Želivka, ČR	Želivka, ČR	Rájec, ČR	južné Anglicko	Solling Nemecko	Solling Nemecko	Poľana H. grúň	Poľana H. grúň
Obdobie	1989-90	1994-95	1994-95	1976-90	1984-85	1971-83	1971-83	93-97	93-97
VP	0,5	2,1	2,1	7,5	4,6	1,0	1,0	1,0	1,0
PZ	2,2	2,3	7,0	17,8	7,2	4,2	2,8	2,7	1,4
L0	-	9,7	13,1	14,4	26,0	-	-	-	8,0
LP	6,9	5,3	22,7	14,2	-	3,4	1,8	-	3,2
LP-hĺbka	30 cm	20 cm	30 cm	A-horiz.		100 cm	100 cm		33 cm
Pôdny typ	Dystrická kambizem	Kambizem typická	Luvizem	Kambizem kyslá	Luvizem	Dystrická kambizem	Dystrická kambizem	Kambizem andozemná	Kambizem andozemná

- |   |                               |      |                               |
|---|-------------------------------|------|-------------------------------|
| 1 | BERGKVIST, FOLKESON 1992      | VP - | Zrážky voľnej plochy          |
| 2 | LOCHMAN 1997                  | PZ - | Podkorunové zrážky            |
| 3 | KLIMO <i>et al.</i> 1996      | L0 - | Priesak pod nadložným humusom |
| 4 | GOWER <i>et al.</i> 1995      | LP - | Priesak v minerálnej pôde     |
| 5 | BREDEMEIER <i>et al.</i> 1990 |      |                               |
| 6 | TMP POLANA                    |      |                               |

## Literatúra

- BERGKVIST, B.- FOLKESON, L., 1992: Soil acidification and element fluxes of a *Fagus sylvatica* forest as influenced by simulated nitrogen deposition. *Water, Air, and Soil Pollution*, 65, 1992: 111-133.
- BREDEMEIER, M.-MATZNER, E.-ULRICH, B., 1990: Internal and external proton load to forest soil in Northern Germany. *J. Environ. Qual.*, Vol.19, No.2: 469-477.
- BUCHA, T.-MAŇKOVSKÁ, B.-MINĎÁŠ, J.-PAVLENDA, P.-PAJTÍK, J.-RAŠI, R.-MOLNÁROVÁ, H., 2001: Zdravotný stav lesov Slovenska. Správa z monitoringu 2000. Zvolen, LVÚ 2001, 51s.+prílohy.
- GOWER, C., ROWELL, D.L., NORTCLIFF, S., WILD, A., 1995: Soil acidification: comparison of acid deposition from the atmosphere with inputs from the litter/soil organic layer. *Geoderma* 66 (1995): 85-98.
- KLIMO, E., KULHAVÝ, J., VAVŘÍČEK, D., 1996: Changes in the quality of precipitation water passing through a norway spruce forest ecosystem in the agricultural - forest landscape of the Dražanská vysočina uplands. *Ekológia (Bratislava)*. Vol. 15, No 3, 1996: 295-306.
- LOCHMAN, V., 1997: Vývoj zatížení lesních ekosystémů na povodí pekelského potoka (objekt Želivka) a jeho vliv na změny v půdě a ve vodě povrchového zdroje. *Lesnictví - Forestry*, 43, 1997 (12): 529-546.
- MINĎÁŠ, J., 2001: „Canopy budget model“ application for dry and wet deposition estimation of elements at Poľana-Hukavský grúň site. In: Mindáš, J.(ed.): *Perspectives of the Ecological Research in Mountain Forest Ecosystems. Conference Abstracts Proceedings, 22-25 October 2001, Poľana, Slovak Republic, LVÚ Zvolen 2001, p.45-46.*