

Alpínske lúky Západných Tatier pod vplyvom dlhodobého znečistenia ovzdušia

Halada, E., Záhora, J., Gajdoš, P., Hreško, J., Tůma, I., David, S., Moyses, M., Bugár, G., Kohút, F., Boltižiar, M., Majzlan, O.: Alpine Grasslands of Western Tatra Mts. under Impact of Long-Term Air Pollution. *Životné prostredie*, 2016, 50, 2, p. 72 – 80.

The paper provides information about experimental research on consequences of increased nitrogen deposition to the ecosystem of alpine meadows in Jalovecká dolina (Western Tatra Mts., Slovakia). In this ILTER site we established 25 experimental permanent plots in 2002. The experiment consists of three treatments with addition of nitrogen (20, 60, and 150 kg.ha⁻¹.year⁻¹), one treatment with addition of phosphorus (50 kg.ha⁻¹.year⁻¹), and a control treatment. The site is equipped with a complex climatic station, rain gauge, collector for wet deposition measurements, micro-lysimeters and resin bags (later replaced by ion exchange discs). The results indicate saturation of the ecosystem by nitrogen and limitation of the primary production by phosphorus. They also suggest that a long legacy of acid deposition in the Western Tatra Mts. had already resulted in a depletion of both base cations and soluble aluminium, and an increase in extractable iron concentrations. In conjunction with this, we observed a nitrogen deposition-induced reduction in the biomass of vascular plants. In the paper we discuss also consequences of the experiment to species composition and abundance of vascular plants and epigeic invertebrates, as well as the role of the microbial communities in the nitrogen cycle and decomposition.

Key words: ILTER, geomorphic processes, nitrogen, acidification, eutrophication, alpine ecosystem, Western Tatra Mts., Slovakia

Jedným z najnaliehavejších globálnych problémov ľudstva je chemické znečistenie životného prostredia, ktoré ovplyvňuje rastliny, živočíchy, ekosystémy i ľudské zdravie. Nárast znečistenia ovzdušia súvisí najmä s rozvojom priemyslu. Ako globálny problém bolo znečistenie ovzdušia identifikované v druhej polovici 20. storočia, kedy sa podstatne zvýšilo v dôsledku výrazného rozvoja priemyslu, intenzifikácie poľnohospodárstva a nárastu intenzity automobilovej dopravy. Kyslé dažde spojené s výrazným poškodzovaním vodných, ale aj suchozemských ekosystémov viedli k snahám o odstránenie hlavných príčin znečistenia ovzdušia a najmä k investíciám do technológií s cieľom znížiť znečistenie sýrou. Tieto snahy boli úspešné, depozícia síry sa výrazne znížila. Pretrváva však zvýšené ukladanie (depozícia) dusíka. Hlavnými zdrojmi znečistenia ovzdušia dusíkom sú poľnohospodárstvo a spaľovacie procesy. V prípade poľnohospodárstva je to najmä plošná aplikácia hnojív na orných pôdach, v ktorých sa postupne zhoršuje ich schopnosť zadržať aplikovaný minerálny dusík. Zo spaľovacích procesov narastá významnosť automobilovej dopravy, keďže jej intenzita sa stále zvyšuje.

Pretrvávajúce znečistenie dusíkom predstavuje vážny problém. V niektorých ekosystémoch sa vstup antropicky viazaného dusíka stáva hlavnou zložkou cyklu dusíka, čo má vplyv na dostupnosť dusíka pre rastliny. Antropogénna depozícia dusíka je spájaná s viacerými ekologickými zmenami prírodných i človekom využíva-

ných ekosystémov, ako sú zvýšenie alebo zníženie druhovej diverzity a primárnej produkcie, zníženie obsahu kationov dôležitých pre rast rastlín, zvýšenie kyslosti pôdy a koncentrácie hliníka (Al³⁺) v pôde. Tieto účinky možno označiť ako acidifikáciu (okysľovanie prostredia) a eutrofizáciu (nadbytok dusíka v pôde). Eutrofizácia súvisí najmä s počiatočnými fázami depozície dusíka v terestrických ekosystémoch, kedy sa zvyšuje produktivita ekosystému v dôsledku zníženia alebo odstránenia limitácie dusíkom, čo často sprevádza zvýšenie abundancie tých druhov, ktoré vedú dusík dobre využiť. V niektorých prípadoch vstupy z depozície dusíka prekročia kapacitu rastlín na jeho využitie a prípadne aj pôd na jeho ukladanie. Ak sa dosiahne stav saturácie pôd dusíkom, nastáva okysľovanie pôd a povrchových vôd, sprevádzané zvýšeným vymývaním, stratou kationov a zvýšenou mobilitou Al³⁺ pôde.

Alpínske ekosystémy si zaslúžia zvýšenú pozornosť, pokiaľ ide o dôsledky depozície dusíka na živé organizmy, z niekoľkých dôvodov. Pomer depozície dusíka k množstvu biomasy je pri alpínskych ekosystémoch vysoký v porovnaní s ostatnými typmi ekosystémov, a tým je kapacita rastlín viazať vstupy dusíka obmedzenejšia než pri iných ekosystémoch. Tento trend je umocnený nízkou primárnou produkciou a silnými obmedzeniami na rast rastlín, akými sú plytké, skeletnaté pôdy a drsná klíma (Bowman et al., 1993). Približne polovica ročnej depozície dusíka sa uskutočňuje v období, keď sneh je prevládajúcou formou zrážok a značná časť

depozície dusíka sa tým akumuluje v snehovej pokrývke. Ďalším dôvodom je ťažko vyčísliteľný vstup depozície dusíka z horizontálnych zrážok, z kondenzácie vody na nadzemných častiach rastlín, ktorý môže dosahovať v horských oblastiach s častým výskytom hmiel a s prudkým striedaním teplôt i niekoľkonásobok hodnôt nameraných v prípade suchých a mokrych depozícií dusíka na voľnej ploche (Fabšičová a kol., 2003). Pozorované výrazné zvýšenie koncentrácií iónov NO_3^- vo vodných tokoch v alpínskom stupni počas vegetačného obdobia indikuje, že sa už dosiahol určitý stupeň nasýtenia pôd dusíkom (Kopáček, Blažka, 1994).

Myšlienka skúmať vplyv zvýšenej depozície dusíka na alpínske ekosystémy v Jaloveckej doline vznikla počas konferencie regionálnej siete ILTER pre strednú a východnú Európu *Long-Term Ecological Research – Current State and Perspectives in the Central and Eastern Europe*, ktorá sa uskutočnila v Nitre v dňoch 23. – 25. mája 2000. Seminára sa zúčastnil prof. W. D. Bowman (University of Boulder, Colorado, USA), ktorý mal záujem porovnať vplyv zvýšenej depozície dusíka na ekosystémy alpínskych lúk v strednej Európe a v Severnej Amerike (na lokalite Niwot Ridge v južnej časti Skalnatých vrchov, Colorado). Lokalita Niwot Ridge patrí k najstarším severoamerickým centráam vysokohorského výskumu (jej história siaha do roku 1905) a bola jednou zo šiestich lokalít, ktoré vybrala Národná vedecká nadácia (*National Science Foundation, NSF, USA*) v roku 1980 na dlhodobý výskum ekosystémov (tým sa začal program LTER). Jalovecká dolina bola vybraná po konzultácii s predstaviteľmi Výskumnej stanice Štátnych lesov TANAP-u, Ing. M. Koreňom a doc. Ing. P. Fleischerom, pričom sa zohľadnili aj predošlé skúsenosti Ústavu krajiny ekológie SAV z výskumu v tomto území i možnosť spolupráce s odborníkmi z Ústavu hydrológie SAV, ktorí študujú Jaloveckú dolinu dlhodo-

bo. Prvú etapu výskumu (2002 – 2005) predstavoval projekt *Odozva alpínskej vegetácie na vstup dusíka – porovnanie stredoeurópskej a severoamerickej lokality*, ktorý financovala NSF (projekt NSF 0112281) a Slovenská akadémia vied (vedecko-technický projekt INT-0112281). Projekt viedol prof. W. D. Bowman, partnermi boli Inštitút pre polárny a vysokohorský výskum (*Institute of Arctic and Alpine Research, University of Boulder, Colorado, USA*) a Ústav krajiny ekológie SAV. Na výskume sa aktívne



Obr. 1. Časť výskumného tímu na skúmanej lokalite (zľava: F. Petrovič, S. David, E. Halada, G. Bugár a J. Hreško, august 2003). Foto: Archív ÚKE SAV

podieľal aj Ústav hydrológie SAV a Výskumná stanica Štátnych lesov TANAP-u.

Od roku 2007 sa na výskume podieľa aj tím kolegov z Mendelovej univerzity v Brne a Botanického ústavu AV ČR, vedený Ing. J. Záhorom. Po skončení projektu NSF bol ďalší výskum financovaný z projektov grantovej agentúry VEGA 2/0217/09 *Vplyv experimentálne zvýšenej teploty a depozície dusíka na zraniteľné ekosystémy alpínskych lúk* (2009 – 2012) a 2/0117/13 *Hodnotenie stavu a dynamiky biotopov s využitím modelovania a diaľkového prieskumu Zeme* (2013 – 2016). Na výskume na lokalite LTER Jalovecká dolina sa podieľali a/alebo podieľajú:

- Ústav krajiny ekológie SAV: Ľuboš Halada, Juraj Hreško, Stanislav David, Peter Gajdoš, Matej Mojzes, František Kohút, František Petrovič, Gabriel Bugár, Martin Boltžiar, Jana Sedláková-Borovská, Juraj Lieskovský, Marek Halabuk, Martin Izsoff (obr. 1);
- Colorado University, Boulder, USA: William D. Bowman, Katherine Suding, Courtney Meier, Heidi Stetzer, Anthony Darrouzet-Nardi, Sara Desplaines, Corry Cleveland, Olofron Plume;
- Ústav hydrológie SAV: Zdenko Kostka, Ladislav Holko, Martin Rusina;
- Výskumná stanica Štátnych lesov TANAP: Peter Fleischer, Rudolf Šoltés, Zuzana Kyselová;
- Mendelova Univerzita, Brno a Botanický ústav AV ČR, v. v. i., Průhonice: Jaroslav Záhora, Ivan Tůma, Petr Holub, Antonín Kintl, Jitka Čermáková, Jana Vavříková.

Experimentálny výskum v Jaloveckej doline svojím charakterom i dĺžkou trvania spĺňa kritériá dlhodobého



Obr. 2. Niváciou a defláciou deštruované plôšky v periférnych polohách hrebeňa Grapov v závere Jaloveckej doliny (2004). Foto: Martin Boltížiar



Obr. 3. Pôdny profil podzolu modálneho na skúmanej lokalite v oblasti Salatína (2004). Foto: Martin Boltížiar

ekologického výskumu, a preto bola Jalovecká dolina zaregistrovaná v celosvetovej sieti lokalít pre dlhodobý ekologický výskum (ILTER – *International Long-Term Ecological Research*).

Študovaná lokalita sa nachádza v Západných Tatrách v komplexe Jaloveckej doliny približne 2 km západne

od vrcholu Salatína (2 047 m n. m.) na hrebeni v nadmorskej výške 1 895 m. Územie je súčasťou Tatranského národného parku (TANAP). V Jaloveckej doline sme sa popri experimentálnom výskume venovali aj skúmaniu zmien abiotického prostredia.

Geologické pomery, geomorfologické procesy a pôdy

Na geologickej stavbe oblasti Salatína sa podieľajú predovšetkým paleozoické granodiority až tonality s prechodom do muskoviticko-biotitických granodioritov (Nemčok a kol., 1993). V ich podloží na čelách a úpätiach chrbtov a rászoch, spadajúcich do Jaloveckej doliny, sú staropaleozoické ortoruly so zastúpením migmatitov až migmatizovaných rúl. Morfológicky výraznú skalnatú šošovku na chrbte pod Salatínom v blízkosti experimentálnych plôch tvoria horniny stredného až mladšieho triasu v podobe reiflinských vápencov a partnašských vrstiev. Geomorfologický vývoj bol v základných rysoch ovplyvnený pleistocénnym zaľadením, pričom ľadovec nezostúpil do predpolia doliny. Závery dolín predstavujú iniciálne kary bez výrazných erózných foriem a plies. Dná trogov sú vyplnené pozdĺžnymi valmi morén s členitým reliéfom chrbtov a zníženín. Asymetrický hrebeň Salatína podmienila intenzív-

na erózna činnosť ľadovcov zo severnej strany v karoch Salatínskej doliny a Zadnej Spálenej doliny. Začlenené boli aj závery vetiev Jaloveckej doliny (Mazúr, 1955).

Postglaciálny vývoj reliéfu ovplyvnil celý rad procesov, ktoré sú aktívne aj v súčasnosti. Patrí k nim aj nivácia – topenie snehových polí sa výrazne podieľa na deštrukcii vegetačného krytu a pôdy nad hornou hranicou lesa. Morfodynamický účinok nivácie sa v oblasti Salatína uplatňuje predovšetkým v záveroch lavínových a sutinovo-murových žlabov na silne zvetranom podloží mylonitových zón. V oblasti masívneho chrbta Salatína sú niváciou modelované hlavne odlučné hrany a jazvy gravitačných porúch (obr. 2). Geologická štruktúra kryštallického aj mezozoického masívu Západných Tatier vytvára priaznivé podmienky na rozvoj podpovrchových plazivých porúch tak, ako ich definoval Nemček (1982).

Vrcholový hrebeň Salatína a samotný vrchol sú zreteľne narušené paralelnými gravitačnými trhlinami skalného masívu v smere JV – SZ s dĺžkou od niekoľko desiatok metrov do 200 až 500 m. Severná strana vrcholu strmo klesá do bralného reliéfu, kým južná časť má hĺbny charakter. Výskyt procesov gravitačného rútenia a opadávaní lemujú bralné formy a skalné steny vo vrcholových, hrebeňových a svahových pozíciách. Výsledkom sú blokoviská, sutinové pokrovy a roztrúsené bloky na svahoch a v záveroch žlabov. Za hlavný proces, generujúci gravitačný rozpad hornín, považujeme mrazové zvetrávanie sústredené v puklinových systémoch vápencov, granitoidných hornín a metamorfítov.

Vrcholová časť Salatína je z južnej strany poznačená prítomnosťou soliflukčno-gravitačných girlandových valov a periglaciálnych sutín, resp. blokovísk. Eolické deflačné efekty sa sústreďujú hlavne do podchrbtových, chrbtových, podvrcholových a sedlových polôh. Eolicko-deflačný efekt je založený na turbulentnom, spätnom efekte prúdiaceho vetra, ktorým dochádza k vyvievaniu a odnosu jemnejších častiek pôdneho krytu alebo aj niváciou obnaženého zvetralinového plášťa vo vrchných častiach záveterných svahov, zvlášť na okrajoch chrbtov. Účinky deflácie pôsobia deštruktívne a neumožňujú úspešnejší proces sukcesie vegetácie. Mikroformy eolicko-deflačných plôšok, korýt a pásových štruktúrnych pôd sa vyskytujú na západnom hrebeni Jaloveckej doliny od vrcholu Babiek až po Salatín, ale aj na ďalších lokalitách, predovšetkým v oblasti sediel a zatrávnených chrbtov.

Vývoj pôd vo vysokohorských polohách je zreteľne limitovaný geologickým podloží, vlastnosťami klímy, vegetačným krytom a hydrickým režimom. V území sa vyskytujú iniciálne, hnedé, rendzinové a podzolové pôdy. Z iniciálnych pôd sú to litozeme, rankre a fluvizeme. Litozeme sú v oblasti Salatína zastúpené na strmých až bralnatých svahoch s výstupmi podložia. Ide prevažne o litozeme silikátové – kyslé, a v okolí vápencovej šošovky západne od Salatína o litozeme

karbonátové. Rankre predstavujú málo vyvinuté pôdy na nespevnených, resp. málo spevnených sutinových pokrovoch, v ktorých sa miestami stabilizuje humusový horizont. Vyskytujú sa aj v pásme lesa, v pásme kosodreviny a hlavne v alpínskom stupni. Podzoly sú pôdnym typom v podmienkach subalpínskeho pásma a pásma alpínskych lúk na kyslom žulovom podloží. Majú charakteristický popolavo sivý podzolový horizont pod tmavým humusovým horizontom. Svetlá farba potvrdzuje chemický rozklad a vyplavovanie zlúčenín železa a hliníka vrátane humínových látok do nižších častí pôdneho profilu (obr. 3). Podzoly sú veľmi kyslé pôdy s pH 3,0 – 3,8. Rendziny predstavujú azonálny pôdny typ, ktorý sa v území viaže na druhohorné vápence a dolomity oblasti hrebeňa Sivého vrchu a pod Salatínom na ostrovčeku vápencov, ktorý je torzom triasových vápencov chočského príkrovu.

Súbežne s ostatným výskumom sme sa zamerali v širšom okolí Salatína aj na zmeny intenzity vybraných morfodynamických procesov. Nadväzuje sa tak na náš výskum na vybraných transektoch začiatkom 90. rokov. Význam týchto meraní vzrastá najmä v kontexte globálnych zmien klímy, ktoré sa vo vysokohorskom prostredí prejavujú v ostatných deceniách aj zmenou distribúcie zrážok a teplôt počas roka. Merania vybraných procesov sa vykonávajú viacerými metódami. Metóda merania dĺžkových posunov zvetralinových úlomkov pomocou farebných profilov, nanášaných v časových intervaloch na povrch zvetralinovej pokrývky medzi pevne stabilizované body, sa uplatnila najmä pri meraní intenzity murových prúdov a gravitačného zliezania sutín. Soliflukčné pohyby sa merajú pomocou pevných oceľových značiek osadených mimo dynamickej niky. Rozširovanie okrajov eolických ník, resp. ich retrográdny ústup, sa meria pomocou profilu medzi dvoma pevnými bodmi. Pohyblivé merané body sú na priečne okraja plôšky a lanka upevneného medzi pevnými bodmi, pričom jeden z nich je stabilne umiestnený v plôške a ďalšie mimo nej. Všetky merania sa pravidelne opakujú, pričom z nameraných údajov sa následne vypočítavajú priemerné hodnoty dĺžkových zmien. Pri každom meraní sa na lokalitách vyhotovuje aj fotodokumentácia.

Experimentálny výskum

Predmetom experimentálneho výskumu je ekosystém alpínskych lúk na kyslom podloží. Ide o druhovo chudobné porasty, ktoré z vegetačného hľadiska patria do zväzu *Juncion trifidi*. Pôdy sú plytké (hĺbka max. 15 – 20 cm) humusovo-železité podzoly, vyvinuté na granodioritovom podloží. Priemerný ročný úhrn zrážok je približne 1 600 mm, priemerná ročná teplota 1,3 °C. Ročná mokrá atmosférická depozícia v Západných Tatrách na lokalite Salatín bola meraná v roku 2003 a 2004 a dosiahla hodnoty 8,1 – 16,2 kg N.ha⁻¹.rok⁻¹ a 8,2 – 13,3 kg S.ha⁻¹.rok⁻¹.



Obr. 4. Výskumná lokalita s klimatickou stanicou, totalizátorom a kolektorom na mokrú depozíciu, v pozadí Sivý vrch (2006). Foto: Ľuboš Halada

Experimentálny výskum v Jaloveckej doline na lokalite Salatín začal v máji 2002 založením 25 výskumných plôch o veľkosti 2 x 2 m. Experiment pozostáva z piatich typov ošetrovania. Na troch z nich je zvýšený prísun dusíka, ktorý je každoročne aplikovaný v koncentráciách 20, 60 a 150 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ vo forme vodného roztoku NH₄NO₃. Tieto plochy sú označené ako N2, N6 a N15. Štvrtý typ ošetrovania predstavuje aplikácia fosforu v množstve 50 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ vo forme roztoku KH₂PO₄ (označenie plôch P). Piatym typom plochy je kontrolná plocha bez aplikácie chemikálií (C). Na každý typ ošetrovania bolo založených päť plôch, takže celkový počet je 25 plôch. Štyri opakovania slúžia na nedeštrukčné merania, na plochách piateho opakovania sú možné aj deštrukčné merania. Uvedené koncentrácie aplikovaných chemikálií sú vysoké, cieľom experimentu však nie je simulovať znečistenie, ale dostať krivku odozvy ekosystému na pridávanie dusíka. Chemikálie sú aplikované trikrát ročne vo vegetačnej sezóne, pri každom postreku sa používa tretina celoročného množstva. V roku 2009 bola každá výskumná plocha rozdelená na dve polovice – kým v jednej polovici experiment pokračuje, v druhej polovici sme aplikáciu chemikálií ukončili a sledujeme možnú obnovu vlastností ekosystému.

Z projektu NSF bola zakúpená a na lokalite nainštalovaná komplexná automatická klimatická stanica, ktorú prevádzkuje detašované pracovisko Ústavu hydrológie SAV v Liptovskom Mikuláši. Meria teplotu a vlhkosť vzduchu a pôdy, zrážky v letnom období, rýchlosť a smer vetra, dopadajúce slnečné žiarenie a žiarenie odrazené od povrchu pôdy. Klimatickú stanicu dopĺňa vyhrievaný zrážkomer, totalizátor a kolektor na meranie mokrej depozície (obr. 4). V pôde boli inštalované mikrolyzimetre, ktoré zachytávajú pôdnu vodu, a v pr-

vom období aj rezínové vrecká, slúžiace na meranie intenzity výmeny iónov. Tieto boli neskôr nahradené diskovými iontomeničmi, ktoré sú schopné pútať ióny do svojej štruktúry. Na lokalite sa tiež exponovali vrecká na meranie rýchlosti dekompozície (rozkladu) naplnené jednak celulózou, jednak rastlinným materiálom priamo z lokality. Vybavenie dopĺňajú zemné pasce na odchyt epigeických bezstavovcov, využité predovšetkým na štúdium fauny pavúkov a chrobákov.

Vegetácia a jej odozva na experiment

Ako bolo spomenuté vyššie, vegetácia na lokalite patrí do zväzu *Juncion trifidi* Krajina 1933, ide o porasty asociácie *Junco trifidi-*

Festucetum supinae Krajina 1933. V bylinnom poschodí prevládajú trávy a trávam podobné rastliny (sitiny, ostrice; obr. 5). Najhojnejšie sú trávy hôlnica dvojradová (*Oreochloa disticha*) a kostrava nízka (*Festuca supina*), v menšom množstve sú zastúpené psinček skalný (*Agrostis rupestris*), ovsica pestrá (*Avenula versicolor*), metluška krivoľaká (*Avenella flexuosa*), sitina trojzárezová (*Juncus trifidus*) a ostrica čierna (*Carex nigra*). Zo širokolistých bylín sa najhojnejšie vyskytuje zvonček alpínsky (*Campanula alpina*; obr. 6), častý je aj jastrabník alpínsky (*Hieracium alpinum* agg.), menej je podbelice alpínskej (*Homogyne alpina*), brusnice obyčajnej (*Vaccinium vitis-idaea*) a hadovníka väčšieho (*Bistorta major*). Dôležitú súčasť rastlinného spoločenstva na tejto lokalite predstavuje machové a najmä lišajníkové poschodie. Z lišajníkov je dominantou pluzgierka islandská (*Cetraria islandica*), ktorú dopĺňajú menej často sa vyskytujúca alektória bledožltá (*Alectoria ochroleuca*) a druhy rodu dutohlávka (*Cladonia* spp.). Z machov je častý ploník *Polytrichum alpinum*, menej sa vyskytuje *P. sexangulare*.

Štruktúru vegetácie monitorujeme dvomi spôsobmi: fytoecologickými zápismi a bodovou dotykovou metódou. Pri bodovej dotykovej metóde je na každej trvalej ploche pravidelne rozmiestnených 100 bodov, v každom bode sa zaznamenávajú všetky vyššie rastliny, machorasty i lišajníky, ktoré sa v ňom vyskytujú. Priemerná druhová bohatosť vyšších rastlín na trvalých plochách bola v prvom období (2004 – 2006) 7,6 a varírovala v rozpätí 4 – 11 druhov. Priemerná hodnota Shannonovho-Wienerovho indexu diverzity bola 1,0 s rozpätím medzi 0,5 a 1,6.

Pridávanie dusíka do experimentálnych plôch sa prejavilo ústupom (menšou frekvenciou, resp. abun-

danciou) širokolistých bylín, najmä zvončeka alpínskeho a jastrabníka alpínskeho. Najvýraznejší však bol ústup lišajníkov, hlavne pľuzgierky islandskej, a to o 18 – 59 % na všetkých plochách (N2, N6 a N15). Zastúpenie kostravy nízkej sa zvýšilo na plochách P a N15. Znížila sa celková pokrývnosť rastlinného porastu a jeho vitalita. Naopak, na plochách, kde bol pridaný fosfor, ktorý je ďalším prvkom dôležitým pre výživu rastlín, bol porast bujný, viditeľne vyšší i hustejší a, ako potvrdili analýzy, celková biomasa bola vyššia ako pri ostatných typoch ošetrovania. Kontrolné plochy vykazovali nižšiu variabilitu pokrývnosti bylín ako ostatné plochy.



Obr. 5. Trvalá plocha 5P s aplikáciou fosforu (august 2014). Foto: Ľuboš Halada

Priemerná nadzemná biomasa cievnatých rastlín na študovanej lokalite bola odhadnutá na $109,4 \text{ g.m}^{-2}$. Na experimentálnych plochách tvoria podstatnú časť biomasy trávy ($91,02 \text{ g.m}^{-2}$) a sitina trojzárezová ($32,52 \text{ g.m}^{-2}$; Halada et al., 2009). Analýza nadzemnej primárnej produkcie na plochách so zvýšenými vstupmi dusíka zo zberov v roku 2005 potvrdila, že množstvo biomasy bolo významne ovplyvnené typom ošetrovania. Na plochách s pridaním fosforu sme zaznamenali nárast biomasy o 58 %. Keď sa analyzovali samostatne údaje z plôch s pridaním dusíka, zistil sa výrazný pokles biomasy s rastúcou koncentráciou dusíka – o 25 % menšie množstvo biomasy v dvoch najvyšších koncentráciách (N6 a N15). Koncentrácia dusíka v tkanivách rastlín sa zvyšovala so zvyšujúcim vstupom dusíka, aj keď v kombinácii s poklesom množstva biomasy sa celkový obsah dusíka výrazne nezvýšil (Bowman et al., 2008).

Chemizmus pôdy

Chemické analýzy preukázali, že alpínske lúky Salatína majú veľmi kyslé pôdy (pH 3,5 na kontrolných plochách). Predpokladáme, že ide o dôsledok dlhodobej kyslej depozície dusíka a síry v území, ktoré je navyše prirodzene kyslé (granodioritový podklad). Z územia Tatier sú dlhodobo udávané vysoké úrovne depozície dusíka a síry, minimálne počas predošlých piatich desaťročí (Kopáček et al., 2001). Ďalšou charakteristickou črtou pôd Salatína je nízky obsah tzv. biogénnych prvkov (prvkov nevyhnutných pre rast rastlín), menovite vápnika, draslíka, fosforu. Náš experiment s tromi stupňami záťaže minerálnym dusíkom preukázal, že alpínske lúky masívu Salatína sú dusíkom plne zásobené, že systém rastlina – mikrób – pôda má vyčerpanú kapacitu prijať a udržať akýkoľvek dodatočný vstup dusíka. Nami študovaný systém preto nie je limitovaný dusíkom, zistila sa však limitácia fosforom. Ak bol totiž do systému pridaný

fosfor, došlo nielen k stimulácii využitia dusíka všetkými prítomnými organizmami, ale tiež k výraznému zvýšeniu primárnej produkcie alpínskych lúk. Tým sa zväčšilo zásobenie pôdnej mikrobiológie uhlíkatými látkami a celý ekosystém bol počas experimentu ochránený pred ďalšou acidifikáciou, pred ďalšími nepriaznivými vplyvmi atmosférickej depozície.

Získané výsledky indikujú, že nadzemná biomasa rastlín sa na výskumných plochách znižovala so zvyšujúcim sa množstvom pridaného dusíka. Zároveň sa zvyšovala kyslosť pôdy a v pôdnom roztoku sa popri dominujúcich kationoch hliníka (Al^{3+}) zvyšovala koncentrácia kationov železa (Fe^{3+}) na hodnoty, kedy sú už oba prvky (hliník i železo) pre rastliny jedovaté. Predpokladáme, že nedostatok kationov, nevyhnutných pre rast rastlín (vápnik, fosfor, draslík), v kombinácii s toxickými účinkami hliníka a železa prispeli k slabšiemu rastu rastlín a znižovaniu nadzemnej biomasy (Bowman et al., 2008).

Mikrobiálna aktivita a dekompozícia

V priebehu posledného storočia došlo vplyvom človeka k zdvojnásobneniu vstupov reaktívneho dusíka do terestrických ekosystémov, pričom ako reaktívny dusík je označovaný každý atóm dusíka, viazaný v iných zlúčeninách, než je stabilná, dvojatómová molekula dusíka v atmosfére (Galloway, Cowling, 2002). Také množstvo dusíka má významný dopad na zníženie biodiverzity rastlinných spoločenstiev vo vyšších nadmorských výškach. Na zmenu ponuky dusíka, jedného z najdôležitejších biogénnych prvkov, reagujú pôdne mikrobiálne spoločenstvá vlastnou adaptáciou. Ekosystém ako celok prechádza postupne zo stavu limitácie dusíkom do stavu saturácie dusíkom (Agren, Bosatta, 1988). Význam pôdnych mikrobiálnych spoločenstiev, sprístupňujúcich rastli-



Obr. 6. Zvonček alpínsky – typický druh kyslých alpínskych lúk Tatier. Foto: Jaroslav Záhora

nám dusík z organických väzieb, sa počas tohto procesu znižuje. Pre rastliny prestáva byť výhodné investovať vlastné asimiláty do týchto mikrobiálnych sprostredkovateľov a postupne dochádza k znižovaniu tokov uhlíkatých látok do koreňovej sféry. V ekosystéme sa ustalať nová rovnováha medzi vstupmi a výstupmi reaktívneho dusíka. Zvýšený „prietok“ reaktívneho dusíka ekosystémom je sprevádzaný celým radom zmien, vedúcich k zvýšeniu nitrifikácie a k zvýšenej aktivite vodíkových iónov. Pôvodné úzkostlivé sledovanie každého cenného atómu reaktívneho dusíka zo strany pôdných mikroorganizmov stráca zmysel. Ekosystém stráca schopnosť kontrolovať osud dusíka a tým aj osudy bázických katiónov vrátane stopových prvkov, ktoré sa vyplavujú spoločne s nitrátmi, dochádza k acidifikácii.

Biochemické a fyzikálne procesy, kontrolované mikroorganizmami vrátane vyplavovania amónneho a nitrátového dusíka, sú významne ovplyvňované aj abiotickými faktormi (napr. pH, teplotou, štruktúrou pôdy, pórovitosťou). Až donedávna bolo riadenie procesov premien a strát dusíka v pôde prisudzované výlučne mikroorganizmom. Na prvý pohľad sa to zdalo logické: mikroorganizmy dominujú v biomase pôdných organizmov, obohacujú ekosystémy symbiotickou a nesymbiotickou fixáciou, mineralizujú organický pôdny dusík, redukovaný pôdny dusík nitrifikujú, nitráty denitrifikujú, kontrolujú dostupnosť pôdneho dusíka imobilizáciou do vlastných buniek a pod. Vplyv pôdnej fauny na cyklus dusíka v ekosystémoch sa väčšinou prehliadal. Úloha pôdnej fauny je pritom kľúčová, hoci nepriama: prostredníctvom trofických interakcií a vyhrabávaním chodbičiek, ktoré môžu silne ovplyvniť pôdnu mikrobiálnu dynamiku a fyzikálne vlastnosti pôdy. A práve najvýznamnejšie nové poznatky, umožňujúce lepšie pochopenie zložitosti

premien dusíka v pôde, pochádzajú z oblasti interakcií medzi rastlinným koreňom, pôdnymi mikroorganizmami a pôdnou faunou (Kuzyakov, Xu, 2013) a z oblasti štúdia premien a perzistencie uhlíkatých látok v pôde (Schmidt et al., 2011).

Napriek mimoriadnemu posunu poznania pôdných transformácií dusíka chýbajú v súčasnej dobe poznatky, objasňujúce mechanizmy spoluúčasti mikroorganizmov na zmenách druhového zloženia alpínskej vegetácie. Úbytok počtu druhov môže byť zapríčinený obmedzením množstva uhlíkatých látok, uvoľňovaných do pôdy rastlinami citlivými na zvýšenú depozíciu dusíka vrátane zníženého

ukladania asimilátov do koreňov a, naopak, zvýšeného investovania do nadzemnej časti. Vzhľadom k tomu, že depozícia dusíka v celom svete rastie, čo naďalej ovplyvňuje biodiverzitu a súvisiace funkcie ekosystému, je nevyhnutné zamerať sa na porozumenie mechanizmov straty citlivých, vnímavých druhov a, ak to bude možné, zvrátiť tieto účinky (Farrer et al., 2013).

Zvýšené depozície dusíka ovplyvňujú interakcie medzi pôdnymi mikroorganizmami a rastlinou. Pri nižších experimentálnych dávkach dusíka môžu dokonca viesť k zvýšeniu biomasy pôdných mikróbov a ich diverzity (Sun et al., 2014). Avšak interakcie medzi pôdnymi mikroorganizmami a rastlinou nie sú tou kľúčovou príčinou obmedzenia tokov rastlinného uhlíka do pôdy, príčiny treba hľadať vo zvýšení vstupov reaktívneho dusíka. K najväčšej strate biodiverzity dochádza skoro po zvýšení vstupov reaktívneho dusíka do ekosystémov s pôvodne nízkymi hodnotami vstupov dusíka (Stevens et al., 2010). Preto je súčasná biodiverzita alpínskych lúk pravdepodobne už znížená v porovnaní s minulosťou a súčasné druhové zloženie je výsledkom nedávnej adaptácie na vyššiu záťaž dusíkom. Porovnávanie dopadov experimentálne zvýšených dávok reaktívneho dusíka s kontrolnými plochami preto treba chápať ako relatívne porovnávanie.

Sledovaný experiment s tromi stupňami záťaže minerálnym dusíkom ukázal, že alpínske lúky masívu Salatína sú dusíkom plne zásobené, že systém rastlina – mikrób – pôda má vyčerpanú kapacitu prijať a udržať dodatočný vstup dusíka. Súčasne bolo zistené, že pri prebytku dusíka sa stala životne dôležitou dostupnosť fosforu. Keď bol totiž do systému pridaný fosfor, došlo nielen k stimulácii využitia dusíka prítomnými organizmami, ale tiež k výraznému zvýšeniu primárnej produkcie alpínskych lúk

(najmä k výraznému nárastu biomasy tráv, ale aj machov a lišajníkov). Tým sa zvýšilo zásobenie pôdnej mikroflóry uhlíkatými látkami a celý ekosystém bol počas experimentu chránený pred ďalšou acidifikáciou, pred ďalšími nepriaznivými vplyvmi atmosférickej depozície. Rozklad (dekompozícia) odumretej nadzemnej biomasy (starina, opad) prebiehala počas niekoľkých rokov sledovania viac-menej stabilnou rýchlosťou a zároveň najpomalšie v kontrolnom variante (C). Rýchlejšie dochádzalo k rozkladu vo variantoch s pridaním dusíka (N15), a najmä fosforu (P). Živiny uvoľňované počas dekompozičných procesov vo variante s aplikáciou fosforu však môžu byť skôr imobilizované v bunkách mikroorganizmov alebo v podzemnej biomase vyšších rastlín, zabezpečujúcej jej väčšiu produkciu vo vegetačnom období (pozri časť o zadržovaní a uvoľňovaní dusíka v rôzne ošetrovaných plochách), ale tiež vo väčšej biomase lišajníkov a machov (zistili sme, napríklad, výraznú akumuláciu fosforu v ich pletivách oproti iným variantom) a neodtekajú (nestrácajú sa) tak z ekosystému. Ďalší experiment s pridaním celulózy do pôdy znížil dostupnosť amónneho dusíka o viac než polovicu, a tým potvrdil tesnú väzbu pôdnych premien dusíka na dostupnosť pôdneho uhlíka. To isté sa nepotvrdilo v prípade nitrátového dusíka.

Tento výsledok výskumu však nie je možné chápať tak, že na ochranu alpínskej vegetácie ohrozenej nadmerným prísunom dusíka by sa mal začať umelo pridávať fosfor. Na ochranu jedinečnosti alpínskej vegetácie nie je možné vybalansovať nadmernú záťaž jednou živinou (reaktívnym dusíkom) pridaním inej živiny (fosforu) a prevziať poľnohospodársko-inžiniersky dohľad nad vitalitou vysokohorskej vegetácie.

Vybrané epigeické bezstavovce

Analýza vplyvu dusíka a fosforu na epigeické spoločenstvá bezstavovcov s dôrazom na epigeické spoločenstvá pavúkov a chrobákov bola realizovaná metódou zemných formalínových pascí od roku 2004. Vo všetkých vyššie uvedených typoch výskumných plôch (v piatom opakovaní, určenom na deštrukčné merania) boli umiestnené zemné pasce, ktoré sme vyberali počas vegetačných sezón v priebehu 12 rokov v mesačných intervaloch. Materiál pavúkov a chrobákov z nich je spracovaný do druhov. Ostatný materiál bezstavovcov za roky 2004 – 2005 bol spracovaný do radov. V epigeických spoločenstvách bezstavovcov dominovali nasledovné taxonomické skupiny: roztoče (*Acarina*), chrobáky (*Coleoptera*), chvostoskoky (*Collembola*), pavúky (*Araneae*) a kosce (*Opiliones*). Vyšší prísun dusíka mal významný vplyv na početnosť niektorých taxonomických skupín, napr. na plochách s najvyšším prísunom dusíka (N15) bola výrazne nižšia denzita roztočov a koscov v porovnaní s kontrolnou plochou C.

Zmeny v zložení spoločenstiev a celkovej početnosti sme detailne analyzovali na základe fauny pavúkov a chrobákov. Pavúky predstavovali viac ako 15 % odchy-

teného materiálu. Celkovo bolo na výskumných plochách doložených 38 druhov pavúkov, patriacich do 7 čeľadí. Zo zistených druhov je 9 druhov zaradených do Červeného zoznamu pavúkov Karpát (Gajdoš et al., 2014). Typický druh alpínskych lúk, sliedič *Pardosa saltuaria* z čeľade *Lycosidae*, bol najpočetnejšie zastúpený na všetkých skúmaných plochách (dominancia > 90 %).

Zmeny v druhovom bohatstve a v prítomnosti ohrozených druhov na výskumných plochách neboli jednoznačne preukázané, ale celková početnosť na ploche s najvyšším prísunom dusíka (N15) bola významne nižšia v porovnaní s kontrolou (C) a s plochami s nižším prísunom dusíka (N2 a N6). V kontraste s uvedeným celková početnosť na ploche s prísunom fosforu (P) bola výrazne vyššia v porovnaní s ostatnými skúmanými plochami.

Na výskumnej lokalite bolo celkovo zistených 65 druhov chrobákov s dominantne zastúpenými druhmi *Carabus sylvestris*, *Otiorhynchus arcticus*, *Calathus metallicus* a *Aphodius abdominalis*. Spoločenstvo na skúmanej ploche ošetrovanej najvyššou dávkou dusíka (N15) a spoločenstvo na ploche P vykazovali preukazné zmeny v zložení a v abundancii v porovnaní so spoločenstvom na kontrolnej ploche C (Majzlan, Gajdoš, 2007).

Tieto fakty indikujú, že vyššie koncentrácie dusíka a tiež prísun fosforu vplyvajú na zloženie a početnosť spoločenstiev bezstavovcov.

* * *

Hoci sa celková kyslá depozícia v Európe znižuje vďaka prísnejším predpisom, stále pretrvávajú nepriaznivé pôsobenie zvýšeného spádu dusíka. Vysokohorské lokality na kyslom podklade sú zvlášť citlivé na depozíciu dusíka a obnova z eutrofizácie pôd dusíkom a acidifikácie môže na týchto miestach trvať desaťročia. Pokračovanie experimentu na Salatíne má preto naďalej svoj význam. Pri našich pokusoch v Jaloveckej doline boli použité vyššie koncentrácie dusíka, než sa skutočne vyskytujú v prírode. Výsledky experimentu, ale aj výsledky z kontrolných (pokusom neovplyvnených) plôch však ukazujú na možné dôsledky dlhodobého pôsobenia zvýšenej depozície dusíka na ekosystémy alpínskych lúk, na ich pôdne vlastnosti a rastlinnú produkciu a sú akousi sondou do budúcnosti. Indikujú, že dlhodobo vysoký spád dusíka a síry viedli k presýtenosti ekosystémov alpínskych lúk dusíkom a k vyčerpaniu ich akumulčných schopností. Limitujúcim prvkom na regeneráciu schopnosti pôd využiť nadbytočné dusíkaté látky je fosfor. Mobilizácia železa (jeho uvoľňovanie do pôdneho roztoku) v pôdach s vysokou koncentráciou rozpustných iónov hliníka spolu s pokračujúcou stratou bázičných kationov vedú k nižšej primárnej produkcii rastlín na pôdach už aj tak dost ťažko acidifikáciou, a celá situácia sa ešte zhoršuje. Výsledky dokladujú, že kumulatívne účinky vysokých úrovní spádu dusíka zvýšili citlivosť alpínskych ekosystémov na pokračujúce vstupy dusíka a priblížili oblasť

Západných Tatier nebezpečne blízko toxickým podmienkam (Bowman et al., 2008).

Uvedené zistenia naznačujú, že depozícia dusíka na súčasnej úrovni v časti strednej Európy ohrozuje schopnosť niektorých horských ekosystémov poskytovať služby, akými sú čistá voda, prostredie na život vzácných a chránených organizmov, vhodné prostredie na rekreáciu. Upozorňujú na nutnosť venovať zvýšenú pozornosť opatreniam na znižovanie znečistenia ovzdušia, aby sa zredukovali nepriaznivé vplyvy chemického znečistenia na ekosystémy, čím by sa zlepšila ich stabilita a tiež kvalita nášho životného prostredia.

Príspevok vznikol s podporou Vedeckej grantovej agentúry MŠVVaŠ SR a SAV – projekt 2/0117/13 Hodnotenie stavu a dynamiky biotopov s využitím modelovania a diaľkového prieskumu Zeme. Poďakovanie patrí aj všetkým kolegom z Ústavu krajinskej ekológie SAV a študentom, ktorí sa podieľali a podieľajú na zachovaní experimentu na tejto lokalite. S vďakou a úctou spomíname na nášho zosnulého kolegu Mgr. Františka Kohúta, PhD., ktorý sa výraznou mierou podieľal na výskume v Jaloveckej doline.

Literatúra

- Agren, G. I., Bosatta, E.: Nitrogen Saturation of Terrestrial Ecosystems. *Environmental Pollution*, 1988, 54, p. 185 – 197.
- Bowman, W. D., Cleveland, C. C., Halada, L., Hreško, J., Baron, J. S.: Negative Impact of Nitrogen Deposition on Soil Buffering Capacity. *Nature Geoscience*, 2008, 1, p. 767 – 770.
- Bowman, W. D., Theodose, T. A., Schardt, J. C., Conant, R. T.: Constraints of Nutrient Availability on Primary Production in Two Alpine Communities. *Ecology*, 1993, 74, p. 2085 – 2098.
- Fabšičová, M., Sedláková, I., Holub, P., Tůma, I., Chytrý, M., Záhora, J.: Dynamika dusíku a expanzie ovsíku vyvýšeného (*Arrhenatherum elatius*) na vřesovištích v Národném parku Podyjí. In: Pivničková, M. (ed.): Sborník dílčích zpráv z grantového projektu VaV 610/10/00 Vliv hospodářských zásahů na změnu v biologické rozmanitosti ve zvláště chráněných územích. Příroda – Supplementum. Praha: AOPK ČR, 2003, s. 255 – 263.
- Farrer, E. C., Herman, D. J., Franzova, E., Pham, T., Suding, K. N.: Nitrogen Deposition, Plant Carbon Allocation, and Soil Microbes: Changing Interactions Due to Enrichment. *American Journal of Botany*, 2013, 100, 7, p. 1458 – 1470.
- Gajdoš, P., Moscaliuc, L. A., Rozwałka, R., Hirna, A., Majkus, Z., Gubányi, A., Heltai, M. G., Svatoň, J.: Red List of Spiders (Aranea) of the Carpathian Mts. In: Kadlečík, J. (ed.): Carpathian Red List of Forest Habitats and Species. Carpathian List of Invasive Alien Species. Banská Bystrica: The State Nature Conservancy of the Slovak Republic, 2014, p. 118 – 171.
- Galloway, J. N., Cowling, E. B.: Reactive Nitrogen and the World: 200 Years of Change. *Ambio*, 2002, 31, 2, p. 64 – 71.
- Halada, L., David, S., Halabuk, A.: Vegetation Structure and Aboveground Biomass at Mt. Salatín Long-Term Ecological Research Site, the West Tatra Mts., Slovakia. *Ekológia (Bratislava)*, 2009, 28, 2, p. 113 – 126.
- Halada, L., Oszlányi, J., Kanka, R.: Dlhodobý ekologický výskum (LTER) na Ústave krajinskej ekológie SAV. *Životné prostredie*, 2014, 48, 3, s. 161 – 163.
- Kopáček, J., Blažka, P.: Ammonium Uptake in Alpine Streams in the High Tatra Mountains (Slovakia). *Hydrobiologia*, 1994, 294, p. 157 – 165.
- Kopáček, J., Veselý, J., Stuchlík, E.: Sulphur and Nitrogen Fluxes and Budgets in the Bohemian Forest and Tatra Mountains during the Industrial Revolution (1850–2000). *Hydrology and Earth System Sciences*, 2001, 5, 3, p. 391 – 405.
- Kuzyakov, Y., Xu, X.: Competition between Roots and Microorganisms for Nitrogen: Mechanisms and Ecological Relevance. *New Phytologist*, 2013, 198, p. 656 – 669.
- Majzlan, O., Gajdoš, P.: Changes in Alpine Meadow Epigeal Fauna in the Západné Tatry Mts. Induced by Nitrogen and Phosphorus Additions to the Soil, and Analysed on Example of Beetles (Coleoptera) Assemblages. *Folia oecologica*, 2007, 34, p. 42 – 51.
- Mazúr, E.: Príspevok k morfológii Studeného potoka v Liptovských Tatrách. *Geografický časopis*, 1955, 7, 1 – 2, s. 15 – 45.
- Nemčok, A.: Zosuvy v slovenských Karpatoch. Bratislava: Veda, vydavateľstvo SAV, 1982, 319 s.
- Nemčok, J. a kol.: Vysvetlivky ku geologickej mape Tatier. Bratislava: GÚDŠ, 1993, 136 s.
- Schmidt, M. W. I. et al.: Persistence of Soil Organic Matter as an Ecosystem Property. *Nature*, 2011, 478, p. 49 – 56.
- Stevens, C. J., Duprè, C., Dorland, E., Gaudnik, C., Gowing, D. J., Bleeker, A., Diekmann, M., Alard, D., Bobbink, R., Fowler, D., Corcket, E., Mountford, J. O., Vandvik, V., Aarrestad, P. A., Müller, S., Dise, N. B.: Nitrogen Deposition Threatens Species Richness of Grasslands across Europe. *Environmental Pollution*, 2010, 158, 9, p. 2940 – 2945.
- Sun, S., Xing, F., Zhao, H., Gao, Y., Bai, Z., Dong, Y.: Response of Bacterial Community to Simulated Nitrogen Deposition in Soils and a Unique Relationship between Plant Species and Soil Bacteria in the Songnen Grassland in Northeastern China. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2014, 14, 3, p. 565 – 580.
-
- RNDr. Luboš Halada, CSc.,** lubos.halada@savba.sk
RNDr. Peter Gajdoš, CSc., p.gajdos@savba.sk
doc. PaedDr. Stanislav David, PhD.,
stanislav.david@savba.sk
Ing. Matej Mojses, PhD., matej.mojses@savba.sk
†Mgr. František Kohút, PhD.
Ústav krajinskej ekológie SAV, pobočka Nitra, Akademická 2, P. O. Box 22, 949 01 Nitra
-
- Ing. Jaroslav Záhora, CSc.,** zahora@mendelu.cz
Ing. Ivan Tůma, Ph.D., tuma@mendelu.cz
Ústav agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin Agronomické fakulty Mendelovy univerzity v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika
-
- prof. RNDr. Juraj Hreško, PhD.,** jhresko@ukf.sk
Mgr. Gabriel Bugár, PhD., gbugar@ukf.sk
Katedra ekológie a environmentalistiky Fakulty prírodných vied Univerzity Konštantína Filozofa v Nitre, Tr. A. Hlinku 1, 949 74 Nitra
-
- prof. PhDr. RNDr. Martin Boltiziar, PhD.,**
martin.boltiziar@savba.sk, mboltiziar@ukf.sk
Ústav krajinskej ekológie SAV, pobočka Nitra, Akademická 2, P. O. Box 22, 949 01 Nitra; Katedra geografie a regionálneho rozvoja Fakulty prírodných vied Univerzity Konštantína Filozofa v Nitre, Tr. A. Hlinku 1, 949 74 Nitra
-
- prof. RNDr. Oto Majzlan, CSc.,** majzlan@fns.uniba.sk
Katedra krajinskej ekológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, Ilkovičova 6, 845 15 Bratislava