

Sledovanie vplyvu zvýšenej teploty a depozície dusíka na alpínske lúky – výskumná plocha Kráľova hoľa (Nízke Tatry)

Halabuk, A., Bača, A., David, S., Gerhátová, K., Halada, L., Kohút, F., Mojses, M., Ponecová, Z.: Monitoring of Effects of Experimental Warming and Increased Nitrogen Deposition on Alpine Meadows – Research Plot Kráľova hoľa (Low Tatra Mts.). *Životné prostredie*, 2016, 50, 1, p. 44 – 50.

We established 24 experimental plots in Kráľova hoľa research site in the Low Tatra Mts. The plots were instrumented by air temperature, soil temperature and soil moisture sensors with data loggers. A complex vegetation analysis was performed including the assessment of species composition abundance, and estimation of aboveground phytomass. We installed 12 open-top chambers (OTC) in order to elevate temperature on experimental plots at the beginning of vegetation season. Continual monitoring of microclimate has preliminarily proved suitability of OTC for increasing of soil and air temperature up to 1–3 °C on average. During the whole season we regularly monitored reaction of alpine grassland ecosystem on changed microclimate and increased nitrogen inputs through the analyses of spectral vegetation indices and litter decomposition rates. The preliminary results indicate that due to high spatial and temporal variability of the simulated effects on measured indicators, the effects have not proven to be statistically significant and longer-term measurements are still necessary to reveal significant trends.

Key words: alpine meadows, litter decomposition, species composition, normalized differentiated vegetation index – NDVI, spectral vegetation indices, aboveground phytomass

Alpínske ekosystémy sú v dôsledku svojej dlhodobej adaptácie na špecifické podmienky prostredia obzvlášť senzitívne na globálne a klimatické zmeny. V podmienkach Slovenska sú to najmä alpínske lúky, ktoré predstavujú jedinečný ekosystém, skladajúci sa z primárnej travinno-bylinnej vegetácie a zabezpečujúci množstvo regulačných a podporných ekosystémových služieb. Zvýšená teplota a zvýšená depozícia dusíka ako odraz globálnych zmien atmosféry môžu v našich končinách významne ovplyvniť fungovanie a stabilitu týchto jedinečných ekosystémov. Oba uvedené faktory by mali stimulovať primárnu rastlinnú produkciu a prispieť tak k zvýšenej sekvestracii uhlíka (t. j. k naviazaniu vzdušného CO₂ do pôdy). Medzi príspevkami jednotlivých ekosystémov k celkovej sekvestracii uhlíka však existujú veľké odlišnosti, a to v závislosti od vzájomného pomeru medzi dekompozíciou a primárnou produkciou (Davidson, Janssens, 2006). Mnoho autorov sa domnieva, že variabilita dekompozičných procesov (Cornelissen et al., 2007), vzájomná komplikovaná interakcia cyklov uhlíka a dusíka, odlišné časové odozvy jednotlivých procesov a veľká priestorová variabilita iníciačných podmienok (Shaver et al., 2000) zapríčiňujú rôznu reakciu ekosystému na oteplenie a zvýšenú depozíciu dusíka.

Kvôli predpokladanému otepľovaniu a zároveň stále prebiehajúcej zvýšenej depozícii dusíka je potrebné poznať reakciu rozdielnych typov ekosystémov na tieto vplyvy a zhodnotiť možné dôsledky na bilanciu uhlíka.

Tieto poznatky sú dôležité z hľadiska možného vplyvu zvýšenej teploty a depozície dusíka na biodiverzitu, ako i z pohľadu novej spätnej odozvy druhového zloženia na bilanciu uhlíka (Saleska et al., 1999). V každom prípade bola zaznamenaná veľká odlišnosť v odozve jednotlivých rastlinných druhov na sledované efekty, a preto je pre ucelenejšie poznanie možných dopadov na alpínsku vegetáciu potrebných viac prípadových štúdií v špecifických typoch alpínskych ekosystémov.

Na základe uvedených skutočností sme sa v roku 2009 rozhodli založiť experimentálnu plochu vhodnú na dlhodobé štúdium dopadu zvýšenej teploty a depozície dusíka na ekosystémy alpínskych lúk. Jej základným atribútom je skutočnosť, že je prístupná pre vedcov a výskumníkov z rôznych vedných disciplín. Komplexné poznatky spolu s obdobnými experimentmi z iných lokalít vo svete prispievajú k ucelenému zhodnoteniu dopadov globálnych zmien na ekosystémy alpínskych lúk.

Výber lokality a inštrumentalizácia

Na realizáciu výskumných cieľov sme zvolili lokalitu masívu Kráľovej hole (1 946 m n. m.), ktorá sa nachádza v centrálnej časti geomorfologického celku Kráľovo-hoľské Tatry. Charakter vegetácie určilo spolupôsobenie klimatických faktorov a geologického zloženia hlavného hrebeňa, ktorý tvoria vyvreté a metamorfované horniny kryštallického jadra (granodiority, ruly, pararuly,



Obr. 1. Simulácia zvýšenia teploty na výskumnej lokalite Kráľova hoľa (blok A) pomocou tzv. zhora otvorených komôr – OTC (2010). Foto: Ľuboš Halada

svory a fylity). Na celom území sa uvádza vysoká lesnatosť (okolo 95 %), ktorej hodnota je sčasti zavádzajúca, nakoľko do uvedenej rozlohy lesnatosti patria aj rúbaniská, vyťažené plochy po kalamitách, mladé lesné kultúry a neprístupné a dlhodobo neobhospodávané ochranné lesy. Horná hranica lesa prechádza do pásma kosodreviny a v oblasti Kráľovej hole v nadmorskej výške 1 800 m do alpských lúk. Na plochách odlesnených počas valašskej kolonizácie vznikli tzv. sekundárne hole. Biodiverzitu vegetácie negatívne ovplyvňuje ukončenie tradičného obhospodarovania (kosenia a pasenia). To umožňuje nástup sekundárnej sukcesie, čoho výsledkom je zánik určitých typov biotopov a ústup druhov alpských lúk. Kráľova hoľa bola okrem prítomnosti vhodných typov ekosystémov zvolená na predmetný experimentálny výskum vegetácie i z hľadiska dobrej dostupnosti, ako i vďaka pochopeniu (a povoleniu) Správy Národného parku Nízke Tatry.

Samotný výskum rastlinstva a vegetácie Kráľovej hole má dlhú tradíciu. Najstaršie práce boli publikované v druhej polovici 19. storočia (A. Neilreich, A. Podhradszky) a v prvej polovici 20. storočia (K. Domin, P. Sillinger). Floristické pomery Kráľovej hole opísali Hroudá a kol. (1990), pričom uvádzajú aj prehľad botanických prác o Kráľovej holi s poznámkou o nedostatočnom poznaní jej vegetácie. Pre nelesnú vegetáciu vrcholovej časti je nápadný hojný výskyt ostrice (*Carex bigelowii* subsp. *Rigida*) v porastoch spoločenstiev *Junco trifidi-Festucetosum supinae* Krajina 1933 a *Seslerietum distichae* Krajina 1933. Významným príspevkom k syntaxonomii a poznaniu priestorového rozmiestnenia vegetácie Krá-

lovej hole bola diplomová práca Sekulovej (2005). Autorka analyzovala rastlinné spoločenstvá masívu Kráľovej hole na základe 156 fytocenologických zápisov. Pre nás je cenné spracovanie travinno-bylinných spoločenstiev subalpínskeho až subniválneho stupňa na silikátovom podklade zväzu *Juncion trifidi* Krajina 1933 na vrcholových alpských holiach.

V bylinnom poschodí sledovanej výskumnej plochy sme zaznamenali dominanciu tráv, t. j. tráv a trávam podobných rastlín (sitiny, ostrice). Najhojnejšie sú hôľnica dvojradohá (*Oreochloa disticha*), metluška krivoľaká (*Avenella flexuosa*) a ostrica Bigelowova (*Carex bigelowii*). V menšom množstve sú zastúpené chľapaňa gaštanová (*Luzula alpinopilosa*), kostrava nízka (*Festuca supina*), siti-na trojzárezová (*Juncus trifidus*) a ovsica pestrá (*Avenula versicolor*). Zo širokolistých bylín je najhojnejší zvonček alpínsky (*Campanula alpina*), časté sú aj podbelica alpínska (*Homogyne alpina*), soldanelka uhorská (*Soldanella hungarica*) a kôprovniček bezobalový (*Ligusticum mutellina*). Menej hojne sa vyskytujú starček abrotanolistý karpatský (*Senecio abrotanifolius* subsp. *carpathicus*), brusnica čučoriedková (*Vaccinium myrtillus*), roztrúsene aj jastrabník alpínsky (*Hieracium alpinum* agg.), kuklica horská (*Oreogalum montanum*), nátržník zlatý (*Potentilla aurea*), vres obyčajný (*Calluna vulgaris*) a borievka obyčajná (*Juniperus communis*). Dôležitou súčasťou rastlinného spoločenstva v týchto porastoch je machové, a najmä lišajníkové poschodie. Z lišajníkov dominuje pľuzgierka islandská (*Cetraria islandica*), ktorú dopĺňajú menej často sa vyskytujúce druhy rodu dutohlávka (*Cladonia* spp.) a vzácne aj alektória bledožltá (*Alectoria ochroleuca*).



Obr. 2. Klimatická stanica osadená na výskumnej lokalite Kráľova hoľa (blok A; 2014). Foto: Matej Mojses

Z machov je častý ploník (*Polytrichum alpinum*), menej sa vyskytujú druhy rodu rakyt (*Hypnum* spp.).

V roku 2009 sme vo vrcholovej časti komplexu Kráľovej hole založili a trvalo upevnili celkovo 24 výskumných plôšok v dvoch samostatných blokoch (A a B) vzdialených od seba približne 1 km. V každom bloku bolo vytvorených 12 plôšok: po tri plôšky so simulovaným efektom zvýšenia teploty (T), so zvýšenou depozíciou dusíka (N), s kombináciou zvýšenej depozície dusíka a zvýšenej teploty (TN) a s kontrolnou plôškou bez simulovaných efektov (K). Študijné plôšky boli rozmiestnené v čo najhomogénnejších podmienkach z hľadiska terénu, mikroreliefu, pôdných pomerov a druhového zloženia vegetácie. Na simuláciu vplyvu zvýšenej teploty sme použili experimentálny prístup manipulatívneho zvýšenia teploty na modelových lokalitách alpínskych lúk tzv. zhora otvorenými komorami (OTC, *Open Top Chambers*; obr. 1). V súčasnosti sa otvorené laminátové komory používajú na tento účel v terénnych podmienkach najčastejšie. V rámci medzinárodnej siete výskumu odozvy vegetácie arktickej a alpínskej tundry na experimentálne oteplenie (*International Tundra Experiment*, ITEX) existujú štandardizované OTC, zaručujúce metodologický štandard a umožňujúce porovnanie výsledkov (Molau, Molgaard, 1996). V roku 2010 bolo nainštalovaných 12 takýchto OTC komôr s priemerom 1,5 m a výškou 0,5 m z 3 mm hrubého polykarbonátu (Marion et al., 1997). Na simuláciu vplyvu zvýšenej depozície dusíka sa použil štandardný prístup prihnojova-

nia mokrým roztokom NH_4NO_3 päťkrát do roka v celkovom množstve $100 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$.

Pilotná fáza výskumného projektu sa realizovala v období rokov 2009 – 2012. Úvodná etapa výskumného projektu sa zameriavala na detailné preskúmanie iniciálnych podmienok lokality z hľadiska mikroklimy, druhového zloženia, nadzemnej fytohmoty a dekompozície opadu. Vzhľadom na špecifickosť ekosystému alpínskych lúk sa úvodná etapa sústredila i na otestovanie vhodnosti použitých metodík, ale hlavne na zachytenie referenčnej priestorovej variability sledovaných charakteristík medzi jednotlivými typmi plôšok (obrázok na str. 3 obálky).

Mikroklimatické ukazovatele

Na zachytenie referenčnej variability a následného zhodnotenia vplyvu OTC na mikroklimatické ukazovatele sme v roku 2009 na desiatich plôškach nainštalovali automatické registrátory teploty a vlhkosti vzduchu v prízemnej vrstve (vo výške cca 20 cm). Použili sme registrátory *HOBO Pro* s intervalom záznamu nastaveným na 1 hodinu. Tieto registrátory sa ukázali ako vhodné i do extrémnych vysokohorských podmienok. Teplotu a vlhkosť pôdy sme zaznamenávali pomocou registrátorov *Meteo Uni*. Tieto záznamníky si vzhľadom na napájanie (9 V batériou) a extrémne klimatické podmienky vyžadovali pravidelné výmeny batérií a sťahovanie dát v relatívne krátkych, približne 2-týždenných interva-

loch, čo niekedy predstavovalo značné riziko straty dát. V súlade s inými obdobnými štúdiami sme pod vplyvom OTC zdokumentovali zvýšenie priemernej dennej teploty o 1,5 °C a zníženie objemovej vlhkosti pôdy v priemere o 2 %. Na zachytenie priestorovej variability pôdnej vlhkosti je však nevyhnutná opätovná dlhodobá inštalácia záznamníkov pôdnej vlhkosti, umožňujúcich kontinuálne meranie i v nepriaznivých vysokohorských podmienkach. Veľkým prínosom pre výskumnú lokalitu bolo, že dňa 20. mája 2015 sa na nej osadila profesionálna klimatická stanica s GSM prenosom dát (GSM - Globálny systém mobilných komunikácií). Klimatická stanica zaznamenáva v 10-minútových intervaloch globálne žiarenie, fotosynteticky aktívne žiarenie (PAR), množstvo zrážok, relatívnu vlhkosť vzduchu, vlhkosť pôdy v hĺbke 20 cm, teplotu vzduchu vo výške 0,5 m a 2,0 m, teplotu pôdy v hĺbke 5 cm a 20 cm, smer a rýchlosť vetra (obr. 2).

Primárna produkcia a dekompozícia opadu

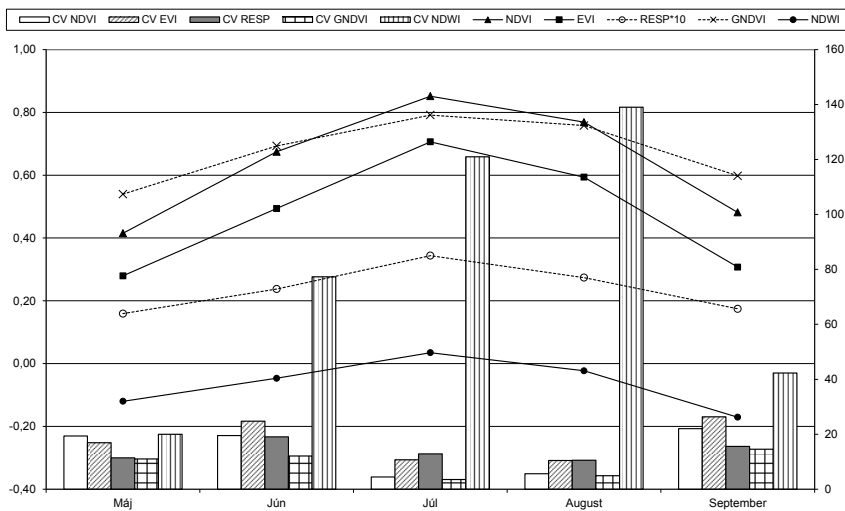
Cieľom experimentálnej plochy na Kráľovej holi je umožniť sledovanie dlhodobých vplyvov zvýšenej teploty a depozície dusíka na bilanciú uhlíka v alpínskych lúkach. V pilotnej fáze projektu sme mali za cieľ otestovať metodiky, ktoré by umožňovali dlhodobé nedeštruktúrne sledovanie základných indikátorov bilancie uhlíka, akými sú primárna produkcia a dekompozícia. Vzhľadom k dlhodobému charakteru experimentu sme na hodnotenie vplyvov zvýšenej teploty a depozície dusíka použili nedeštruktúrnú metódu na odhad rastlinnej produkcie, založenú na stanovení spektrálnych vegetačných indexov. Vegetačné indexy sú široko používané na odhad nadzemnej rastlinnej biomasy hlavne v súvislosti s dostupnými multispektrálnymi satelitnými snímkami. Na terénne experimenty sa používajú prístupy proximálneho snímkovania (alebo *field spectroscopy*, Milton et al., 2009) za pomoci príručných spektorrádiometrov. Pri výskume sme používali poľný spektorrádiometer *CropScan MSR16* s možnosťou hodnotenia spektrálnej odrazivosti v 16 spektrálnych pásmach (obr. 3). Odvodené spektrálne vegetačné indexy boli korelované s deštruktúrnymi odbermi nadzemnej rastlinnej fytohmoty mimo vlastných experimentálnych plôšok. Testovali sme viacero existujúcich vegetačných a vodných indexov: normalizovaný diferenčný vegetačný index (NDVI – *Normalized Differentiated Vegetation Index*, Rouse et al., 1974), normalizovaný diferenčný vodný index (NDWI – *Normalized Differentiated Water Index*, Gao, 1996), vylepšený vegetačný index (EVI – *Enhanced Vegetation Index*, Huete et al., 2002), zelený diferenčný vegetačný index (GNDVI – *Green Normalized Difference Vegetation Index*, Gitelson et al., 1996) a spektrálny index červeného okrajového spektra (RESP – *Red-Edge Spectral Parameter*, Vogelmann et al., 1993). Sezónny priebeh všetkých použitých spektrálnych indexov kopíroval vývoj nadzem-



Obr. 3. Terénne merania spektrálnej odrazivosti alpínskych lúk na výskumnej lokalite Kráľova hoľa (2010). Foto: Andrej Halabuk

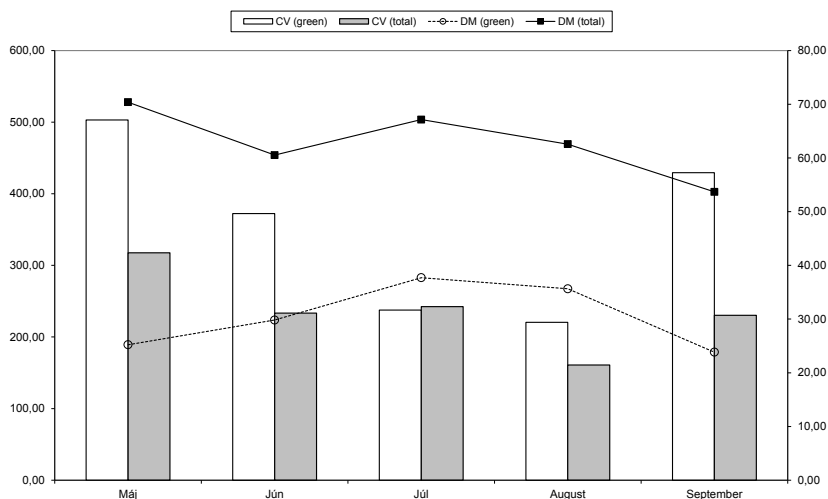
nej fytohmoty (obr. 4 – 5). Na finálne hodnotenie vplyvu sledovaných faktorov na nadzemnú produkciu sme vybrali normalizovaný diferenčný vegetačný index NDVI kvôli jeho rozšírenému použitiu. Tento index je založený na kontraste absorpcie listových pigmentov v červenej oblasti spektra a silnej odrazivosti v blízkej infračervenej oblasti spektra, čím sa stáva veľmi citlivým na obsah zelenej fytohmoty v poraste. Predbežné výsledky nepotvrdili štatistickú významnosť pôsobenia sledovaných faktorov na vývoj nadzemnej biomasy (obr. 6). Evidentná je však medziročná variabilita jednotlivých efektov (napr. porovnaním rokov 2010 a 2011 na bloku A, keď zvýšenie teploty výrazne znížilo hodnoty NDVI voči kontrolnej plôške K), ako i priestorová variabilita sledovaných efektov (na bloku B je viditeľný pozitívny vplyv dusíka na NDVI, kým na bloku A je skôr opačný efekt), čo dokazuje potrebu dlhoročného sledovania týchto efektov a ich dôkladnú analýzu spolu s klimatickými ukazovateľmi.

Dekompozíciu opadu sme hodnotili štandardnou metodikou exponovania nylonových vreciek (*Litter*



Obr. 4. Sezónny priebeh vybraných spektrálnych vegetačných indexov. Zdroj: Upravené podľa Halabuka et al. (2013)

Vysvetlivky: ľavá os – bezrozmerný vegetačný index, pravá os – koeficient variácie (CV) v percentách; *Indexy*: CV NDVI – koeficient variácie normalizovaného diferenčného vegetačného indexu, CV EVI – koeficient variácie vylepšeného vegetačného indexu, CV RESP – koeficient variácie spektrálneho indexu červeného okrajového spektra, CV GNDVI – koeficient variácie zeleného diferenčného vegetačného indexu, CV NDWI – koeficient variácie normalizovaného diferenčného vodného indexu, NDVI – normalizovaný diferenčný vegetačný index, EVI – vylepšený vegetačný index, RESP*10 – spektrálny index červeného okrajového spektra, ktorého hodnota je vynásobená desiatimi kvôli zjednoteniu mierky, GNDVI – zelený diferenčný vegetačný index, NDWI – normalizovaný diferenčný vodný index



Obr. 5. Sezónny vývoj nadzemnej fytomasy z výskumnej lokality Kráľova hoľa. Zdroj: Upravené podľa Halabuka et al. (2013)

Vysvetlivky: CV – koeficient variácie v percentách, DM – sušina v g.m⁻², green – zelená fytomasa, total – celková fytomasa

Bag Method, Harmon et al., 1999). Rastlinný materiál bol odoberaný v okolí výskumných plôšok na konci vegetačného obdobia pred prvými mrazmi (v októbri). Zloženie a zastúpenie konkrétnych rastlinných druhov

reflektovali charakter vegetácie výskumnej lokality. Materiál sme po vysušení v laboratórnych podmienkach vložili do nylonových vreciek s priemerom oka cca 0,5 mm a následne v novembri exponovali na výskumné plôšky po dobu jedného roka. Potom sme rastlinný materiál vysušili do konštantnej hmotnosti a stanovili pomer nerozloženej fytomasy. Žiaľ, údaje o dekompozícii opadu nemáme z referenčného obdobia pred inštrumentalizáciou lokality, takže sme nemohli otestovať významnosť jednotlivých efektov štandardnými štatistickými metódami. Z doterajších analýz však nie sú zreteľné trendy sledovaných faktorov (obr. 7) kvôli ich značnej variabilite v priestore (porovnaj napr. najvyššiu dekompozíciu s ošetrením dusíka v roku 2012 na bloku A oproti najnižšej s rovnakým ošetrením na bloku B) i čase (porovnaj napr. zvýšenie dekompozície opadu s ošetrením zvýšenia teploty v roku 2012 oproti kontrolnej plôške v porovnaní s ostatnými rokmi).

Vegetácia

Z hľadiska hodnotenia sledovaných efektov na vegetáciu sme vzhľadom na dĺžku projektu nepredpokladali výrazné zmeny v druhovom zložení, hoci odozva jednotlivých druhov by mohla naznačovať isté trendy. V strede každej plôšky sme zaznamenali zloženie vegetácie v rokoch 2009 a 2015 prostredníctvom 1 x 1 m mriežky s vytvorenými štvorcami 10 x 10 cm. Pre každý štvorec bola zaznamenaná pokryvnosť bylinného poschodia, pokryvnosť machov a lišajníkov a prítomnosť jednotlivých druhov. Z dôvodu ťažkého rozlišovania druhov *Oreochloa disticha*, *Festuca supina* a *Avenella flexuosa* v sterilnom stave bol ich výskyt zaznamenaný spoločne. Výsledky

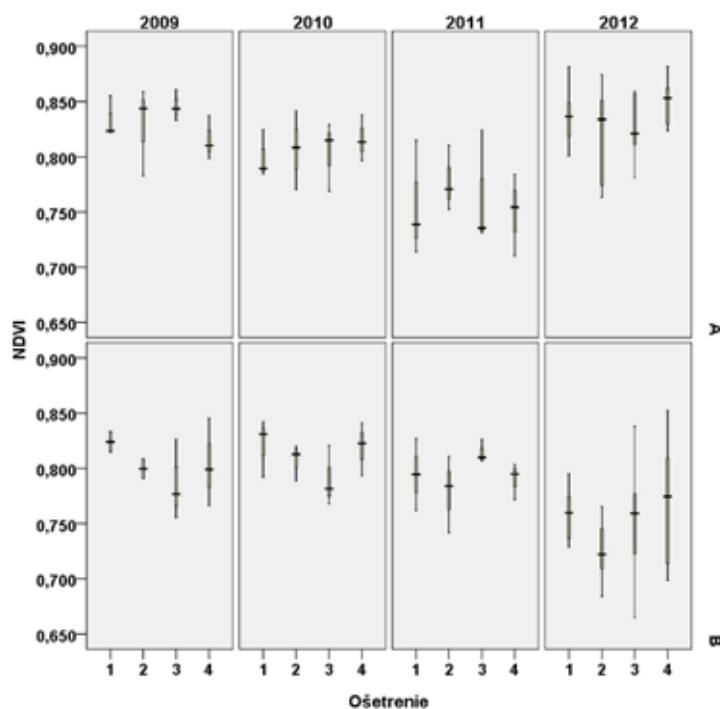
indikujú vplyv zvýšenia teploty na pokryvnosť bylinného poschodia a vplyv pridávania dusíka na pokryvnosť machov a lišajníkov. Pokryvnosť bylinného poschodia bola na plôškach so zvýšenou teplotou v roku 2015 vyš-

šia v priemere približne o 10 - 11 % (na plôškach T s hodnotami 79,5 % a TN 80,5 % oproti priemerným hodnotám na kontrolných plôškach K 69,9 % i oproti variantu s pridaním dusíka N 69,2 %). Pokryvnosť machov a lišajníkov bola oproti kontrolnej plôške (23,7 %) a variantu so zvýšenou teplotou (26,7 %) výrazne nižšia pri pridaní dusíka (13,3 %) a ešte nižšia pri variante s kombinovaným pridaním dusíka a zvýšením teploty (3,6 %). Výraznejšie zmeny vo frekvencii výskytu sme za obdobie 2009 - 2015 identifikovali iba pri niektorých druhoch. Lišajník *Cetraria islandica* i machy rodu *Hypnum* výrazne ustúpili na plôškach s pridaním dusíka (N, NT) oproti kontrolnej plôške (K). Menej výrazný negatívny efekt na frekvenciu výskytu oproti kontrolnej plôške (K) sme zaznamenali pri všetkých troch ošetreniach (T, N, TN) pri druhoch *Soldanella hungarica* a *Luzula alpinopilosa*. Sledovali sme tiež menej výrazné pozitívne vplyvy: v prípade zvýšenia teploty (T) sa zvýšila frekvencia výskytu taxónov *Senecio abrotanifolius* subsp. *carpathicus* a *Homogyne alpina* a v prípade zvýšenia dusíka (N) frekvencia druhov *Homogyne alpina*, *Hieracium alpinum*, *Ligusticum mutellina* a *Vaccinium myrtillus*. Kombinované zvýšenie teploty a pridávanie dusíka (TN) malo zreteľnejší efekt iba na zvýšenie frekvencie druhu *Carex bigelowii*.

Uvedené efekty sa vzťahujú na priemerné hodnoty z plôšok jednotlivých ošetrení. Keďže väčšina efektov bola málo výrazná a zaznamenali sme silnú variabilitu odozvy na jednotlivých plôškach v rámci daného typu ošetrenia, treba tieto výsledky považovať za predbežné. Naznačené trendy môžu potvrdiť až údaje z dlhšieho časového obdobia.

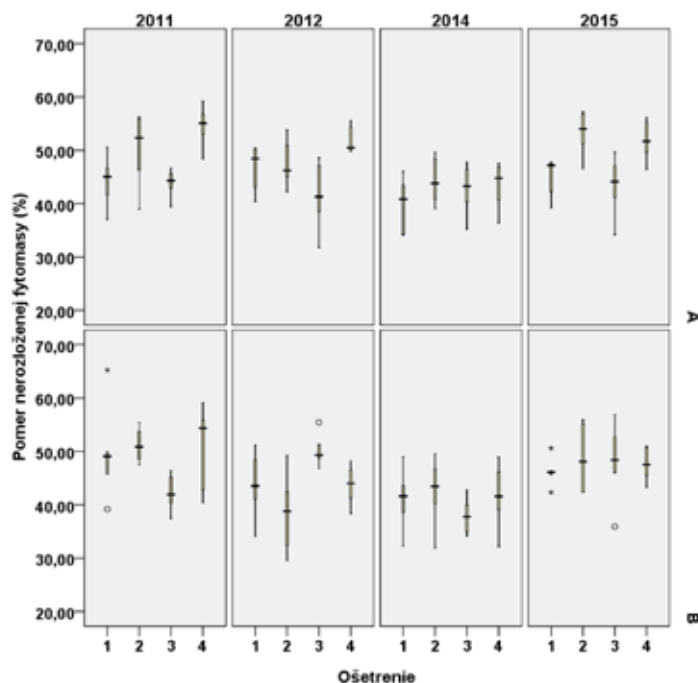
* * *

Pilotný výskumný projekt na výskumnej ploche Kráľova hoľa prispel k základným poznatkom o štruktúre vegetácie a nadzemnej fytohmoty alpských lúk. Tieto informácie sú pomerne vzácne vzhľadom k náročnosti terénnych prác vo vysokohorských podmienkach. Práve z tohto dôvodu sme



Obr. 6. Hodnoty NDVI – Normalized Differentiated Vegetation Index (bezrozmerný index) na vrchole vegetačného obdobia (v auguste) v závislosti od jednotlivých ošetrení na blokoch A a B za obdobie 2009 – 2012

Vysvetlivky: 1 – kontrolná plôška bez simulovaných efektov (K), 2 – plôška so simulovaným efektom zvýšenia teploty (T), 3 – plôška so zvýšenou depozíciou dusíka (N), 4 – plôška v kombinácii so zvýšenou depozíciou dusíka a zvýšenou teplotou (TN)



Obr. 7. Pomer nerozloženej fytohmoty (%) v závislosti od jednotlivých ošetrení na blokoch A a B za obdobie 2011 – 2012 a 2014 – 2015

Vysvetlivky: 1 – kontrolná plôška bez simulovaných efektov (K), 2 – plôška so simulovaným efektom zvýšenia teploty (T), 3 – plôška so zvýšenou depozíciou dusíka (N), 4 – plôška v kombinácii so zvýšenou depozíciou dusíka a zvýšenou teplotou (TN)

sa v rámci riešenia projektu zamerali i na možnosti využitia metódy terénnej spektroskopie pomocou poľného multispektrálneho 16-kanálového rádiometra na stanovenie primárnej produkcie alpských lúk (Halabuk et al., 2013). Na základe pravidelného 3-ročného monitoringu spektrálnych charakteristík alpských lúk sme určili relevantné vegetačné indexy s najsilnejším vzťahom k nadzemnej fytohmote pre jednotlivé obdobia vo vegetačnom období. Táto informácia je hodnotná nielen pre dlhodobý monitoring primárnej produkcie a hodnotenie vplyvu jednotlivých ošetrovaní pri experimentálnom výskume, ale i z hľadiska využitia vegetačných indexov odvodených z diaľkového prieskumu Zeme na odhady primárnej produkcie rozsiahlejších území.

Naše doterajšie skúsenosti s výskumom na Kráľovej holi potvrdzujú veľkú časovú a fyzickú náročnosť obdobných experimentálnych štúdií v prirodzených podmienkach. Zachovanie základného predpokladu kvázi homogénnych podmienok v rámci výskumnej lokality na testovanie jednotlivých efektov je veľmi náročné. Toto pokladáme za hlavný dôvod veľmi variabilnej odozvy jednotlivých plôšok na simulované vplyvy. Medziročná variabilita odozvy alpských ekosystémov podčiarkuje nevyhnutnosť dlhodobých ekosystémových štúdií, umožňujúcich dôkladnú analýzu reakcií ekosystému vo vzťahu k variabilite klímy.

V každom prípade sa nám podarilo založiť experimentálnu plochu vhodnú na štúdium dopadov zvýšenej teploty a depozície dusíka na ekosystémy alpských lúk. Táto experimentálna plocha je otvorená pre ostatných výskumníkov a študentov s možnosťou uplatnenia viacerých vedných disciplín a tém, napr. z oblasti populačnej ekológie, experimentálnej botaniky, ekofyziológie, mikrobiológie a pod.

Tento príspevok vznikol vďaka podpore Operačného programu Výskum a vývoj pre projekt Obnova a budovanie technickej infraštruktúry výskumu a vývoja Ústavu krajinskej ekológie Slovenskej akadémie vied, kód ITMS: 26210120007, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja (100 %).

Literatúra

Cornelissen, J. H. C., van Bodegom, P. M., Aerts, R., Callaghan, T. V., van Logtestijn, R. S. P., Alatalo, J., Chapin, F. S., Gerdol, R., Gudmundsson, J., Gwynn-Jones, D., Hartley, A. E., Hik, D. S., Hofgaard, A., Jonsdóttir, I. S., Karlsson, S., Klein, J. A., Laundre, J., Magnusson, B., Michelsen, A., Molau, U., Onipchenko, V. G., Quested, H. M., Sandvik, S. M., Schmidt, I. K., Shaver, G. R., Solheim, B., Soudzilovskaia, N. A., Stenstrom, A., Tolvanen, A., Totland, O., Wada, N., Welker, J. M., Zhao, X. Q.: Global Negative Vegetation Feedback to Climate Warming Responses of Leaf Litter Decomposition Rates in Cold Biomes. *Ecology Letters*, 2007, 10, 7, p. 619 – 627.

Davidson, E. A., Janssens, I. A.: Temperature Sensitivity of Soil Carbon Decomposition and Feedbacks to Climate Change. *Nature*, 2006, 440, 7081, p. 165 – 173.

Gao, B. C.: NDWI – A Normalized Difference Water Index for Re-

mote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. *Remote Sensing of Environment*, 1996, 58, p. 257 – 266.

Gitelson, A. A., Kaufman, Y., Merzlyak, M. N.: Use of a Green Channel in Remote Sensing of Global Vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 1996, 58, p. 289 – 298.

Halabuk, A., Gerháťová, K., Kohút, F., Ponecová, Z., Mojses, M.: Identification of Season-Dependent Relationships between Spectral Vegetation Indices and Aboveground Phytomass in Alpine Grassland by Using Field Spectroscopy. *Ekológia (Bratislava)*, 2013, 32, 2, p. 186 – 196.

Harmon, M. E., Nadelhoffer, K. J., Blair, J. M.: Measuring Decomposition, Nutrient Turnover, and Stores in Plant Litter. In: Robertson, G. P., Coleman, D. C., Bledsoe, C. S., Sollins, P. (eds.): *Standard Soil Methods for Long-Term Ecological Research*. Oxford: UK Oxford University Press, 1999, p. 202 – 241.

Hrouda, L., Kochjarová, J., Marhold, K.: Floristické pomery masívu Kráľovej hole (Nízke Tatry). *Preslia*, 1990, 62, s. 139 – 162.

Huete, A., Didan, K., Muiira, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., Ferreira, L. G.: Overview of the Radiometric and Biophysical Performance of the MODIS Vegetation Indices. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 83, 1 – 2, p. 195 – 213.

Marion, G. M., Henry, G. H. R., Freckman, D. W., Johnstone, J., Jones, G., Jones, M. H., Levesque, E., Molau, U., Molgaard, P., Parsons, A. N., Svoboda, J., Virginia, R. A.: Open-Top Designs for Manipulating Field Temperature in High-Latitude Ecosystems. *Global Change Biology*, 1997, 3, p. 20 – 32.

Milton, E. J., Schaepman, M. E., Anderson, K., Kneubühler, M., Fox, N.: Progress in Field Spectroscopy. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113, p. 92 – 109.

Molau, U., Molgaard, P.: ITEX Manual – International Tundra Experiment. Copenhagen: Danish Polar Center, 1996, 53 p.

Rouse, J. W., Hass, R. H., Shell, J. A., Deering, D. W.: Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS-1. In: Freden, S. C., Mercanti, E. P., Becker, M. A. (eds.): *Proceedings of the 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium 1*. Washington DC: NASA, 1974, p. 309 – 317.

Saleska, S. R., Harte, J., Torn, M. S.: The Effect of Experimental Ecosystem Warming on CO₂ Fluxes in a Montane Meadow. *Global Change Biology*, 1999, 5, 2, p. 125 – 141.

Sekulová, L.: Alpine und Subalpine Silikatvegetation des Nationalparks Niedere Tatra (Slowakei). *Dipl. Arbeit*. Wien: Universität Wien, 2005, 101 p.

Shaver, G. R., Canadell, J., Chapin, F. S., Gurevitch, J., Harte, J., Henry, G., Ineson, P., Jonasson, S., Melillo, J., Pitelka, L., Rustad, L.: Global Warming and Terrestrial Ecosystems: A Conceptual Framework for Analysis. *Bioscience*, 2000, 50, 10, p. 871 – 882.

Vogelmann, J. E., Rock, B. N., Moss, D. M.: Red Edge Spectral Measurements from Sugar Maple Leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 1993, 14, p. 1563 – 1575.

Mgr. Andrej Halabuk, PhD., andrej.halabuk@savba.sk

Mgr. Andrej Bača, PhD., andrej.baca@savba.sk

Mgr. Katarína Gerháťová, PhD., katarina.gerhatova@savba.sk

doc. PaedDr. Stanislav David, PhD.,

stanislav.david@savba.sk

RNDr. Ľuboš Halada, CSc., lubos.halada@savba.sk

†RNDr. František Kohút, PhD.

Ing. Matej Mojses, PhD., matej.mojses@savba.sk

Mgr. Zuzana Ponecová, zuzana.ponecova@savba.sk

Ústav krajinskej ekológie SAV, pobočka Nitra, Akademická 2, P. O. Box 22, 949 01 Nitra