

DYNAMIKA OHROZENÝCH A ENDEMICKÝCH DRUHOV VYSOKOHORSKEJ VEGETÁCIE ZÁPADNÝCH TATIER

DYNAMICS OF THREATENED AND ENDEMIC ALPINE SPECIES IN THE WESTERN TATRAS

Andrej PALAJ¹, Martina MICHALOVÁ²

¹Ústav krajinej ekológie SAV, Štefánikova 3, P. O. Box 254, 814 99 Bratislava
e-mail: andrej.palaj@savba.sk

²Katedra botaniky, Prírodovedecká fakulta UK, Révová 39, 811 02 Bratislava
e-mail: michalova24@uniba.sk

Abstract: *Alpine ecosystems are among the most sensitive to environmental changes because of their narrow habitat specificity. Species are often threatened due to climate change or abandonment of traditional grazing. In 2016 - 2019, we resampled 98 historical phytocoenological relevés from 1970 - 1977. We used relative change of frequency to evaluate a shift in a species composition. In the course of 39 - 49 years, we observed remarkable loss of plant species. Historical data include 190, while recent data include 153 species. In the 1970s, 47 species with varying Red list categories were recorded, over time this number decreased to 35. Most significant is a decline of threatened species of rocks, mylonites and summit areas. The frequency of endemic species dropped from 57,1 % to 32,7 %. Changing environment during last decades posses a great impact on the alpine vegetation. Further monitoring is necessary to predict development of threatened and endemic plant populations.*

Key words: *threatened species, alpine vegetation, climate change, abandonment of grazing, the Western Tatras*

Úvod

Ostrovný charakter vysokých pohorí, ich pestrý geologický podklad, členitý reliéf, rýchlo sa meniace mikrolimatické podmienky či substrátová pestrosť dávajú za vznik vhodným podmienkam pre existenciu populácií vzácných a endemických druhov rastlín. Zmena týchto podmienok vedie k narušeniu krehkej rovnováhy medzi druhmi a ich habitátom, čo v prípade málopočetných druhov s menšou konkurenčnou schopnosťou môže znamenať ich úplné vymiznutie. K najvýznamnejším recentným faktorom ovplyvňujúcich štruktúru fytocenóz vysokohorskej krajiny patrí postupné otepľovanie klímy a zmena vo využívaní krajiny.

Klimatické faktory majú zásadný vplyv na morfológické či fyziologické odpovede rastlinných druhov. Tie sa prejavujú metabolickými aktivitami, rýchlosťou rastu, (ne)schopnosťou rozmnožovať sa či úplnou absenciou v danom území (Townsend et al.,

2010). V súčasnosti je najviditeľnejším javom vysokohorskej vegetácie vertikálna migrácia teplomilnejších druhov pozdĺž gradientu nadmorskej výšky (Pauli et al., 2012, Grytnes et al., 2014). Druhy typické pre nižšie polohy majú kvôli neustále sa predlžujúcim vegetačným obdobiam schopnosť rásť v čoraz vyšších nadmorských výškach. Tento fenomén je sprevádzaný postupnou homogenizáciou vegetácie, kedy napriek rozširovaniu nových taxónov do vyšších polôh dochádza k úbytku niektorých vzácne sa vyskytujúcich a úzko špecializovaných druhov (Erschbamer et al., 2011; Carbognani et al., 2014). Obdobné dopady ako otepľovanie klímy má na alpínske spoločenstvá aj zmena vo využívaní krajiny - predovšetkým opustenie pasienkov. Pastva znižuje konkurenčný tlak a zvyšuje priestorovú heterogenitu a jej vylúčenie stimuluje rozširovanie kompetične zdatnejších druhov. To vedie k zahusteniu vegetačného krytu a potlačeniu niektorých stenoeknych a vzácne sa vyskytujúcich taxónov (Pakeman, 2004; Pauli et al., 2012; Bonafede et al., 2014).

Cieľom predkladaného príspevku je v rastlinných spoločenstvách zaznamenať a zhodnotiť dynamiku výskytu ohrozených a endemických druhov vysokohorskej flóry Západných Tatier v priebehu posledného polstoročia.

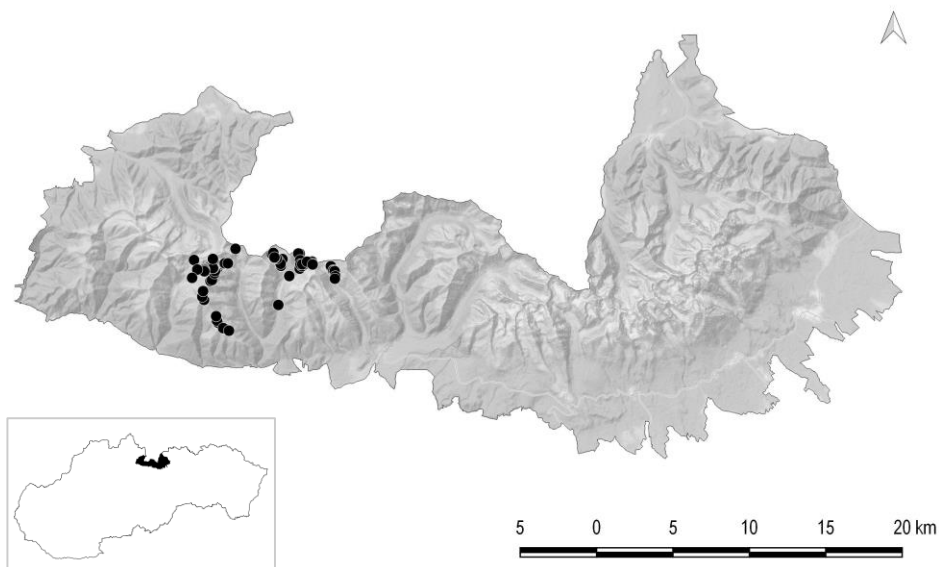
Metodika

Charakteristika záujmového územia

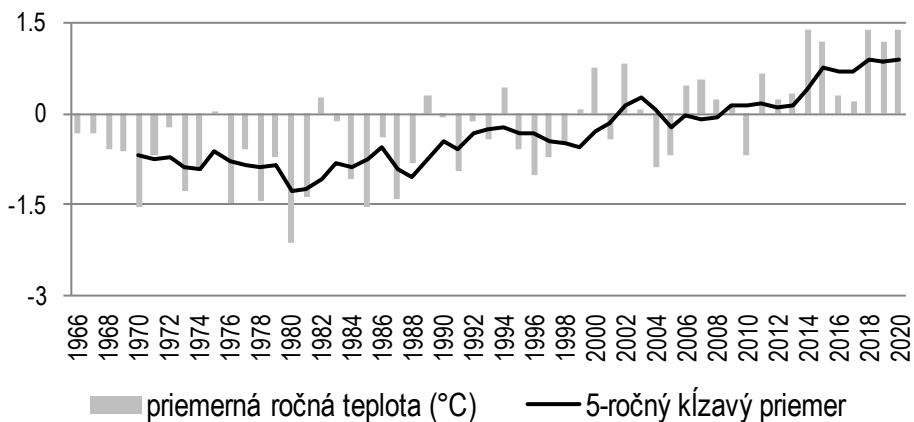
Záujmové územie je lokalizované vo vysokohorskej krajine Žiarskej, Jamníckej, Račkovej a Kamenistej doliny v Západných Tatrách (obr. 1). Z geologického hľadiska územie spadá do silikátovej časti Tatranského národného parku, s početnými mylonitovými zónami vo vrcholových partiách (Nemčok, 1994).

V území má prevahu hôľny reliéf nad glaciálnym, takže subalpínsky a alpínsky vegetačný stupeň je dobre vyvinutý. Najvyšším vrcholom územia je Bystrá (2248 m n. m.). Územie patrí do chladnej klimatickej oblasti, s teplotným minimom vo februári a maximom v auguste (Konček, Orlicz, 1974). Na vystihnúť vývoja priemernej ročnej teploty sme použili dáta z rokov 1966 – 2020 z meteorologickej stanice Kasprowy Wierch (1959 m n. m.), ktorej poloha a nadmorská výška najviac korešponduje s podmienkami záujmového územia (obr. 2). Štatistickú významnosť zmien hodnôt meteorologických prvkov z tejto stanice bližšie analyzovali Czortek et al. (2018). Z pohľadu využívania krajiny bolo záujmové územie spojené s vysokohorským pastierstvom, ktorého počiatok je datovaný do obdobia valašskej kolonizácie v 13. a 15. – 16. storočí. V priebehu storočí patrili doliny k najviac postihnutým a najintenzívnejšie vypášaným lokalitám v Tatrách (Bohuš, 1966). Utlmenie pastevnej činnosti v 70. rokoch 20. storočia súviselo s vyhlásením Západných Tatier za súčasť Tatranského národného parku. Pastva bola z územia definitívne vylúčená v roku 1986.

Obr. 1: Lokalizácia študijných plôch v rámci Tatranského národného parku



Obr. 2: Vývoj priemerných ročných teplôt s 5-ročným kĺzavým priemerom v meteorologickej stanici Kasprowy Wierch v období rokov 1966 – 2020



Metódy zaznamenávania a hodnotenia zmien

Hodnotenie dynamiky druhov vychádza z metódy párového porovnávania fytoecenologických zápisov. V rokoch 2016 – 2019 sme na mieste historických študijných plôch excerptovaných z prác Horák (1970), Kremlová (1974), Turečková (1974), Dúbravcová (1976) a Pietorová (1977) vyhotovili nové zápisy, odrážajúce aktuálny stav

vegetácie. Snímky boli zapísané v súlade so zásadami zürišsko-monpellierskej školy, s použitím 7-člennej Braun-Blanquetovej stupnice početnosti a pokryvnosti (Braun-Blanquet, 1964). Mená taxónov sme nomenklatoricky zjednotili podľa práce Marhold, Hindák (1998), kategórie ich ohrozenosti podľa IUCN (2012) vychádzajú z najnovšej verzie Červeného zoznamu výtrusných a kvitnúcich rastlín Slovenska (Eliáš et al., 2015). Syntaxonomická klasifikácia spoločenstiev odpovedá práci Jarolímek et al. (2008).

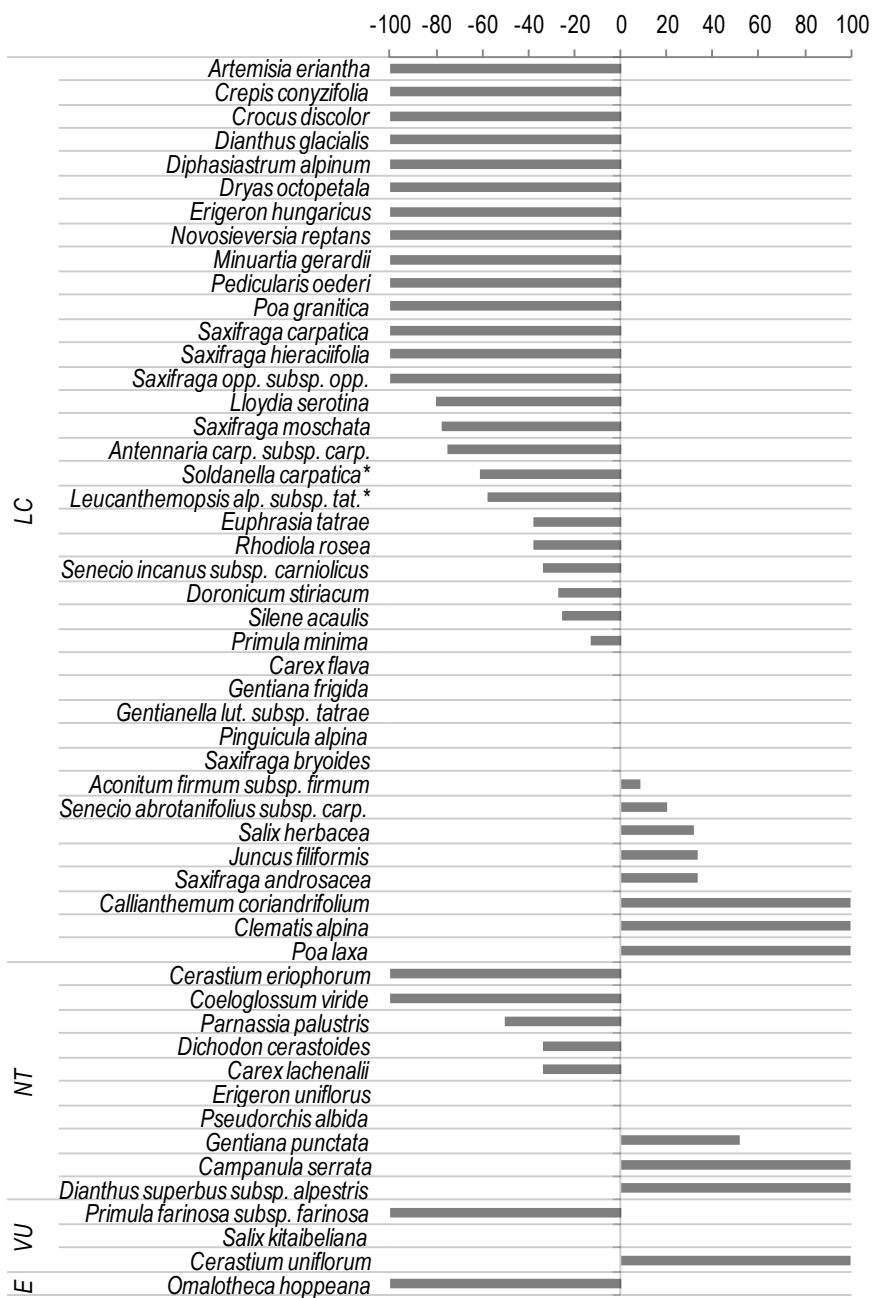
Z celkového počtu 98 fytoocenóz je 54 publikovaných v prácach Palaj, Kollár (2017; 2019b). Jedná sa o spoločenstvá (sub)alpínskych trávnikov (*Juncion trifidi* Krajina 1933, *Nardion strictae* Br.-Bl. 1926; 36 zápisov), snehových výležísk (*Festucion picturatae* Krajina 1933, *Salicion herbaceae* Br.-Bl. in Br.-Bl. et Jenny 1926; 21), náplavov horských bystrín a nív (*Calamagrostion villosae* Pawlowski et al. 1928, *Trisetion fusci* Krajina 1933; 16), mylonitových zón (*Festucion versicoloris* Krajina 1933; 10), poliehavých nízkych kríčkov (*Vaccinion myrtilli* Krajina 1933, *Loiseleurio-Vaccinion* Br.-Bl. in Br.-Bl. et Jenny 1926; 9), pramenísk a slatin (*Cratoneuro filicini-Calthion laetae* Hadač 1983, *Drepanocladion exannulati* Krajina 1933; 5) a nitrofilných širokolistých bylín (*Rumicion alpini* Rübél ex Klika in Klika et Hadač 1944; 1).

Posun v zastúpení druhov na plochách sme vyjadrili relatívnou zmenou frekvencie, $F_r = 100 - (F_n/(F_v/100))$. F_n predstavuje frekvenciu v časovej skupine snímok, kde ju má daný druh nižšiu, naopak F_v vyjadruje frekvenciu v skupine snímok, kde ju má daný druh vyššiu. V prípade poklesu frekvencie druhov sme k výslednej hodnote pridali záporné znamienko. Významnosť zmien v zastúpení druhov s frekvenciou nad 5 % v oboch časových skupinách sme pri hladine významnosti $\alpha = 0,05$ testovali párovým t-testom (RStudio Team 2020). Podiel ohrozených a endemických druhov na celkovej pokryvnosti každej plochy sme stanovili vzťahom $P = 100 \times (P_o/P_c)$, kde P_o predstavuje pokryvnosť ohrozených druhov danej plochy a P_c celkovú pokryvnosť plochy. Pri výslednej hodnote priemeru a štandardnej odchýlky sme zohľadňovali aj nulové hodnoty abundancie sledovaných druhov na študijných plochách.

Výsledky

V časovom intervale 39 – 49 rokov došlo na študijných plochách k pomerne výraznému poklesu počtu druhov. Z celkovo 213 taxónov cievnatých rastlín ich bolo v minulosti zaznamenaných 190 a v súčasnosti 153. Tento rozdiel medzi oboma časovými skupinami sa odzrkadlil aj v zmene zastúpenia ohrozených druhov. V 70. rokoch bolo na plochách evidovaných 47 druhov s rôznou kategóriou ohrozenia, v priebehu času sa ich počet znížil na 35. Frekvencia výskytu aspoň jedného takéhoto taxónu v zápise klesla z 90,8 % (89 zápisov) na 81,6 % (80). Najviac zastúpenou kategóriou v oboch dátových súboroch je skupina menej dotknutých druhov (LC) (obr. 3).

Obr. 3: Relatívna zmena frekvencie druhov podľa kategórie ohrozenosti (vysvetlivky: LC – menej dotknutý druh, NT – potenciálne zraniteľný, VU – zraniteľný, E – ohrozený, * - štatisticky významná zmena abundancie druhu)



Na študijných plochách sme zaznamenali hlavne ústup druhov skál, nespevnených sutí a vrcholových partií: *Antennaria carpatica* subsp. *carpatica*, *Artemisia eriantha*, *Cerastium eriophorum*, *Dianthus glacialis*, *Dryas octopetala*, *Lloydia serotina*, *Minuartia gerardii*, *Pedicularis oederi*, *Primula minima*, *Rhodiola rosea*, *Saxifraga carpatica*, *S. oppositifolia*, *S. moschata* a *Silene acaulis*. V menšej miere došlo k poklesu frekvencie ohrozených druhov nízkosteblových trávnikov, lúk a spevnených sutí subalpínskeho a alpínskeho stupňa (*Coeloglossum viride*, *Crepis conyzifolia*, *Crocus discolor*, *Doronicum stiriacum*, *Euphrasia tatrae*, *Primula farinosa* subsp. *farinosa*, *Senecio incanus* subsp. *carniolicus*) a vlhkomilných druhov, z ktorých niektoré sú výskytom viazané na snehové výležišká (*Carex lachenalii*, *Dichodon cerastoides*, *Leucanthemopsis alpina* subsp. *tatrae*, *Omalotheca hoppeana*, *Parnassia palustris*, *Poa granitica*, *Saxifraga hieraciifolia*, *Soldanella carpatica*).

Pri druhoch s frekvenciou nad 5 % v oboch časových obdobiach došlo k najvýznamnejšej zmene zastúpenia pri taxónoch *Soldanella carpatica*, *Leucanthemopsis alpina* subsp. *tatrae* a *Rhodiola rosea* (tab. 1). Výsledky párového t-testu ukazujú, že pokles frekvencie a hodnôt abundancie druhov *Soldanella carpatica* a *Leucanthemopsis alpina* subsp. *tatrae* možno hodnotiť ako štatisticky významné. K menším zmenám došlo v prípade druhu *Rhodiola rosea*, zmeny zastúpenia ostatných druhov nemožno považovať za signifikantné.

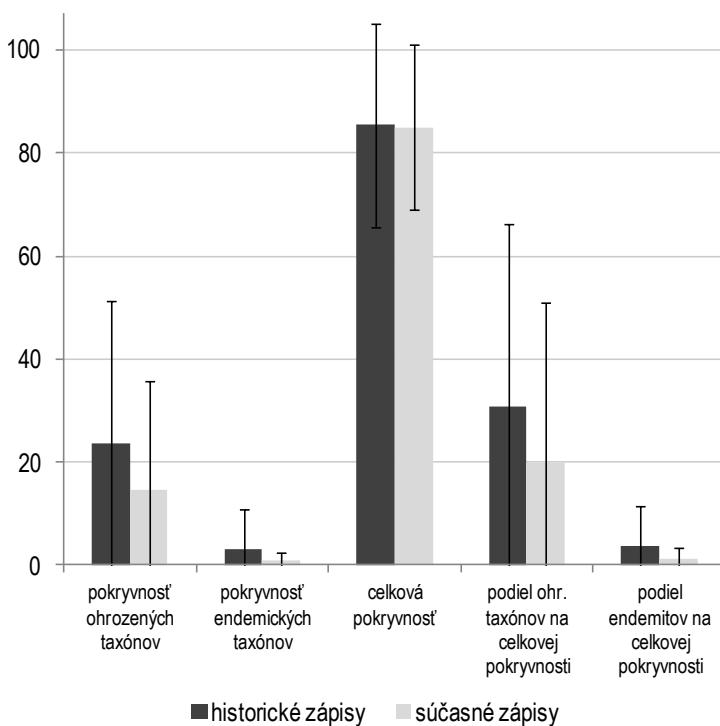
Tab. 1: Priemerné hodnoty abundancie (%) a výsledky párového t-testu ohrozených druhov s frekvenciou nad 5% v oboch časových obdobiach (stupne voľnosti: 97; vysvetlivky: F_h – frekvencia v skupine historických zápisov, F_s – frekvencia v skupine súčasných zápisov, A_h – nenulové hodnoty abundancie v minulosti, A_s – nenulové hodnoty abundancie v súčasnosti, * - štatisticky významná zmena)

druh	F_h	F_s	A_h	A_s	t	p-value
<i>Aconitum firmum</i> subsp. <i>firmum</i>	11,2	12,2	7,0	5,6	0,363	0,718
<i>Dichodon cerastoides</i>	9,2	6,1	16,7	16,2	0,538	0,592
<i>Doronicum stiriacum</i>	22,4	16,3	6,2	4,6	1,521	0,132
<i>Empetrum nigrum</i>	11,2	8,2	21,0	18,4	1,316	0,191
<i>Euphrasia tatrae</i>	8,2	5,1	2,0	4,0	-0,271	0,787
<i>Gentiana punctata</i>	16,3	33,7	8,9	3,5	0,409	0,684
<i>Leucanthemopsis alp.</i> subsp. <i>tat.</i>	19,4	8,2	3,4	1,6	2,475*	0,015
<i>Primula minima</i>	23,5	20,4	4,8	2,8	1,306	0,195
<i>Rhodiola rosea</i>	16,3	10,2	4,9	2,8	1,793	0,076
<i>Salix herbacea</i>	13,3	19,4	38,1	19,5	0,832	0,407
<i>Salix kitaibeliana</i>	10,2	10,2	37,3	34,3	-	-
<i>Senecio incanus</i> subsp. <i>carniolicus</i>	12,2	8,2	3,7	3,5	0,794	0,429
<i>Silene acaulis</i>	12,2	9,2	8,8	8,4	0,468	0,641
<i>Soldanella carpatica</i>	36,7	14,3	3,0	1,6	3,799*	0,0003

Vo všetkých 98 pároch zápisov sme zaznamenali výskyt 10 endemitov. Jedná sa o karpatské subendemity (*Euphrasia tatrae*) a karpatské endemity (*Aconitum firmum*

subsp. *firmum*, *Antennaria carpatica* subsp. *carpatica*, *Campanula serrata*, *Erigeron hungaricus*), západokarpatské endemity (*Crocus discolor*, *Soldanella carpatica*), tatranské subendemity (*Gentianella lutescens* subsp. *tatrae*) a tatranské endemity (*Leucanthemopsis alpina* subsp. *tatrae*, *Poa granitica*). Celkovo sa frekvencia ich výskytu znížila z 57,1 % na 32,7 %, pričom v prípade taxónov *Aconitum firmum* subsp. *firmum* a *Campanula serrata* sme zaznamenali nárast hodnôt ich frekvencie. Podiel endemických taxónov na celkovej pokrývosti všetkých plôch sa za sledované obdobie zmenšil z 3,7 % na 1,2 % (obr. 4).

Obr. 4: Porovnanie priemernej pokrývosti (%) ohrozených taxónov na študijných plochách v minulosti a v súčasnosti



Bez ohľadu na syntaxonomickú príslušnosť spoločenstiev, kategóriu ohrozenosti či endemizmu možno v dátovom súbore vidieť zreteľný ústup vzrastovo nižších a v boji o svetlo konkurenčne slabších druhov (*Antennaria carpatica* subsp. *carpatica*, *Artemisia eriantha*, *Cerastium eriophorum*, *Dianthus glacialis*, *Dichodon cerastoides*, *Diphysastrum alpinum*, *Dryas octopetala*, *Erigeron hungaricus*, *Minuartia gerardii*, *Pedicularis oederi*, *Primula minima*, *Saxifraga moschata*, *S. oppositifolia*, *Silene acaulis*, *Soldanella carpatica*). Naopak nárast, resp. stagnáciu frekvencie sme zaznamenali hlavne pri druhoch, ktoré v rámci svojho ekologického optima patria k statnejším či konkurenčne zdatnejším druhom: *Aconitum firmum* subsp. *firmum*, *Clematis alpina*, *Dianthus superbus* subsp. *alpestris*, *Gentiana punctata*, *Juncus filiformis*, *Poa laxa* či *Salix kitaibeliana*.

Diskusia

Postupné otepľovanie klímy a zmena vo využívaní krajiny výrazne ovplyvňuje štruktúru vysokohorských spoločenstiev. Vplyv klimatických zmien sa prejavuje nárastom druhovej diverzity, čo dokladajú výsledky z dlhodobjších výskumov (Pauli et al., 2012). Počet druhov je zvyšovaný druhmi typickými pre nižšie polohy, horské lesy, porasty kosodreviny či kontaktné spoločenstvá (Palaj, Kollár, 2018). K najzraniteľnejším biotopom v tomto smere patria snehové výležišká. Signifikantný pokles počtu dní so snehovou pokrývkou, vedúci v priebehu posledných takmer 70 rokov k predĺženiu vegetačného obdobia o 20 dní (Czortek et al., 2018), sa na študijných plochách prejavil v expanzii konkurenčne zdatných druhov ako *Achillea millefolium* subsp. *alpestris*, *Avenella flexuosa*, *Festuca picturata*, *F. supina*, *Homogyne alpina*, *Juncus trifidus*, *Luzula alpinopilosa*, *Vaccinium myrtillus*, *V. gaultherioides* (Palaj, Kollár, 2019a). Naopak k zníženiu zastúpenia v spoločenstvách došlo v prípade ekozozologicky významných druhov typických pre snehové výležišká, kedy sme napr. ústup druhu *Soldanella carpatica* vyhodnotili ako štatisticky významný.

Pomerne veľkú náchylnosť na oteplenie vykazujú aj druhy vrcholových partií, skalných stien a štrbín, ktoré sú vystavené zmenšovaniu ich biotopov kvôli masívnemu rozširovaniu teplomilnejšej flóry. Na plochách sa postupom času uplatňujú hlavne vitálnejšie druhy tráv, poliehavé chamaefyty a fanerofyty, ktorým tieto úzko špecializované taxóny nedokážu konkurovať. Úbytok druhov skál, ale aj chladnomilných a chinofilných druhov tak nie je spôsobený len priamym nárastom teploty, ale je aj dôsledkom zvýšenia konkurenčného tlaku taxónov nižších polôh (Kobiv, 2017). Jedným z dopadov vertikálneho posunu druhov je postupné znižovanie podielu endemitov vo vrcholových partiách. Okrem záujmového územia (*Antennaria carpatica* subsp. *carpatica*) bol tento trend zaznamenaný na vrcholoch väčšiny regiónov Európy, čo môže z dlhodobého hľadiska viesť k homogenizácii vegetácie európskych pohorí (Pauli et al., 2012).

Popri otepľovaní klímy majú na vysokohorské fytoceózy zásadný vplyv aj zmeny vo využívaní krajiny. Vylúčenie pastevnej činnosti, podobne ako nárast priemerných teplôt, stimuluje rozširovanie konkurenčne zdatnejších druhov, takže účinok týchto faktorov možno považovať za synergický (Kobiv, 2017). Ich pôsobenie je možné čiastočne rozdeliť len na základe nadmorskej výšky. Posun v štruktúre spoločenstiev vrcholových partií a snehových výležíšk je odpoveďou hlavne na zmenu klímy (Pauli et al., 2012), zatiaľ čo spoločenstvá nižších nadmorských výšok reagujú aj na zmenu využívania krajiny (Kobiv, 2018).

Vylúčenie pastvy má najväčšie dopady na spoločenstvá s dominantným druhom *Nardus stricta*, ktorý je pasúcim sa dobytkom negatívne selektovaný a tým konkurenčne zvýhodňovaný (Sebastiá, 2004). Po opustení pasienkov dochádza pomerne rýchlo k zmene druhového zloženia, sprevádzanej expanziou vysokosteblových a vitálnych druhov tráv a ústupom konkurenčne slabších druhov (Pakeman, 2004). Na spoločenstvá nízkosteblových trávnikov zväzu *Nardion strictae* sú z takýchto druhov svojim výskytom viazané aj ohrozené a endemické taxóny ako *Coeloglossum viride*, *Crepis conyzifolia*, *Crocus discolor* či *Pseudorchis albida*.

Posun v druhovom zložení sa v menšej miere prejavuje v spoločenstvách zväzu *Juncion trifidi*, ktoré sa vyznačujú pomerne vysokou stálosťou (Windmaier, Reisch, 2013). Napriek tomu bol v študovanom území na úkor ohrozených a konkurenčne menej zdatných druhov (*Diphysastrum alpinum*, *Euphrasia tatrae*, *Primula minima*, *Pseudorchis albida*, *Senecio incanus* subsp. *camiiolicus*) zaznamenaný nárast zastúpenia fanerofytov (*Juniperus communis*, *Pinus mugo*, *Sorbus aucuparia*), vysokobylinných a vysokosteblových druhov (*Avenella flexuosa*, *Bistorta major*, *Festuca picturata*, *Luzula alpinopilosa*) a druhov nižších polôh (*Acetosa arifolia*, *Calluna vulgaris*, *Dryopteris filix-mas*, *Hieracium murorum*, *Luzula luzuloides*, *L. sylvatica*) (Palaj, Kollár, 2018).

Rozširovanie vysokosteblových a vysokobylinných druhov, poliehavých kríčkov či fanerofytov, ktoré profitujú zo zmeny klímy a vylúčenia pastevnej činnosti, má za následok zahustenie vegetačného krytu a zatienenie vzrastovo nižších druhov rastlín (Pakeman, 2004). Takáto zmena svetelných podmienok, v študovanom území zaznamenaná v rôznych typoch vegetácie (Palaj, Kollár, 2018; 2019a), tak vedie k potlačeniu, prípadne úplnému vymiznutiu ekosozologicky významných druhov rastlín.

Záver

Rýchlo sa meniace podmienky prostredia v priebehu posledných desaťročí v spojitosti so špecifikami vysokohorskej krajiny sa odrážajú v dynamike štruktúry miestnych fytoocenóz bohatých na ekosozologicky významné druhy. Tento fakt podtrháva význam ďalšieho a dlhodobého monitoringu vysokohorskej vegetácie Slovenska, na základe ktorého by bolo možné predpovedať budúci vývoj populácií (nielen) ohrozených druhov rastlín.

PodĎakovanie

Príspevok vyšiel s podporou grantu VEGA 2/0132/18 Historické a súčasné zmeny krajinskej diverzity a biodiverzity vplyvom pôsobenia prírodných a antropogénnych faktorov.

Literatúra

BAUR, B., CREMENE, C., GROZA, G., RAKOSY, L., SCHILEYKO, A. A., BAUR, A., STOLL, P., ERHARDT, A., 2006: Effects of abandonment of subalpine hay meadows on plant and invertebrate diversity in Transylvania, Romania. *Biological Conservation*. 132, 2, p. 261 – 273.

BOHUŠ, I.: História Liptovských Tatier. Tatranská Lomnica: ŠL Tanap-u, 1966, 18s.

BONAFEDE, F., UBALDI, D., VIGNODELLI, M., ZANOTTI, A. L., PUPPI, G., 2014: Vegetation changes during a 30 year period in several stands above the forest line (Emilian-Apennines). *Plant Sociology*, 51, 1, p. 5 – 18.

- BRAUN-BLANQUET, J., 1964: Pflanzensozioogie. Grundzüge der Vegetationskunde. Wien, New York: Springer Verlag, 865 p.
- CARBOGNANI, M., TOMASELLI, M., PATRAGLIA, A., 2014: Current vegetation changes in an alpine late snowbed community in the south-eastern Alps (N-Italy). *Alpine Botany*, 124, 2, p 105 – 113.
- CZORTEK, P., KAPFER, J., DELIMAT, A., EYCOTT, A. M., GRYTNES, J.-A., ORCZEWSKA, A., RATYŃSKA, H., ZIEBA, A., JAROSZEWICZ, B., 2018: Plant species composition shifts in the Tatra Mts as a response to environmental change: a resurvey study after 90 years. *Folia Geobotanica*, 53, p. 333 – 348.
- DÚBRAVCOVÁ, Z., 1976: Subalpínska a alpínska vegetácia Kamenistej a Gáborovej doliny (Západné Tatry): rigorózna práca. Bratislava: PríFUK, 72 s.
- ELIÁŠ, P., DÍTĚ, D., KLIMENT, J., HRIVNÁK, R., FERÁKOVÁ, V., 2015: Red list of ferns and flowering plants of Slovakia, 5th edition. *Biologia*, 70, 2, p. 218 – 228.
- ERSCHBAMER, B., UNTERLUGGAUER, P., WINKLER, E., MALLAUN, M., 2011: Changes in plant species diversity revealed by long-term monitoring on mountain summits in the Dolomites (northern Italy). *Preslia*, 83, 3, p. 387 – 401.
- GRYTNES, J.-A., KAPFER, J., JURASINSKI, G., BIRKS, H. H., HENRIKSEN, H., KLANDERUD, K., ODLAND, A., OHLSON, M., WIPF, S., BIRKS, H. J. B., 2014: Identifying the driving factors behind observed elevational range shifts on European mountains. *Global Ecology and Biogeography*, 23, 8, p. 876 – 884.
- HORÁK, J., 1970: Geobiocenosa horní hranice lesa a kosodřeviny. Část I. – Západní Tatry, Jamnická a Račková dolina. Brno : Vysoká škola zemědělská, 82 s.
- IUCN, 2012: IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. Second edition. Gland/Cambridge: IUCN. 32 s.
- JAROLÍMEK, I., ŠIBÍK, J., HEGEDUŠOVÁ, K., JANIŠOVÁ, M., KLIMENT, J., KUČERA, P., MAJEKOVÁ, J., MICHALKOVÁ, D., SADLOŇOVÁ, J., ŠIBÍKOVÁ, J., ŠKODOVÁ, I., UHLÍŘOVÁ, J., UJHÁZY, K., UJHÁZYOVÁ, M., VALACHOVIČ, M., ZALIBEROVÁ M., 2008: A list of vegetation units of Slovakia. In: Jarolímek, I., Šibík, J. (eds.): Diagnostic, constant and dominant species of higher vegetation units of Slovakia. Bratislava: Veda, vydavateľstvo SAV, s 295 – 329.
- KOBIV, Y., 2017: Response of rare alpine plant species to climate change in the Ukrainian Carpathians. *Folia Geobotanica*, 52, 2, p. 217 – 226.
- KOBIV, Y., 2018: Trends in Population Size of Rare Plant Species in the Alpine Habitats of the Ukrainian Carpathians under Climate Change. *Diversity*, vol. 10, p. 1 – 12.
- KONČEK, M., ORLICZ, M., 1974: Teplotné pomery, In Konček, M. (ed.). 1974. *Klíma Tatier*. Bratislava: Vydavateľstvo SAV, p. 89 – 180.
- KREMLOVÁ, R. 1974.: Alpínska a subalpínska vegetácia Žiarskej doliny (Západné Tatry): diplomová práca. Bratislava: PríFUK, 92 s.

- MARHOLD, K., HINDÁK, F., 1998: Zoznam nižších a vyšších rastlín Slovenska. Bratislava: Vydavateľstvo SAV, 688 s.
- NEMČOK, J. 1994.: Horninové podložie. In: Voločšuk, I. (ed.): Tatranský národný park. Biosférická rezervácia. Martin: GRADUS, s 14 – 24.
- PAKEMAN, R. J., 2004: Consistency of plant species and trait responses to grazing along a productivity gradient: A multi-site analysis. *Journal of Ecology*, 92, 5, p. 893 – 905.
- PALAJ, A., KOLLÁR, J., 2017: Príspevok k poznaniu vysokohorskej vegetácie Západných Tatier. *Phytopedon (Bratislava)*, 16, 1, s. 9 – 13.
- PALAJ, A., KOLLÁR, J., 2018: Changes in alpine vegetation over 50 years in the Western Tatras (Slovakia). *Ekológia (Bratislava)*, 37, 2, p. 122 – 133.
- PALAJ, A., KOLLÁR, J., 2019a: Changes in Snowbed Vegetation in the Western Carpathians Under Changing Climatic Conditions and Land Use in the Last Decades. *Ekológia (Bratislava)*, 38, 4, p. 318 – 335.
- PALAJ, A., KOLLÁR, J., 2019b: Príspevok k poznaniu vegetácie vysokohorských nív Západných Tatier. *Phytopedon (Bratislava)*, 18, 1, s. 1 – 6.
- PAULI, H., GOTTFRIED, M., DULLINGER, S., ABDALADZE, O., AKHALKATSI, M., ALONSO J. L. B., COLDEA, G., DICK, J., ERSCHBAMER, B., CALZADO, R. F., GHOSH, D., HOLTEN, J. I., KANKA, R., KAZAKIS, G., KOLLÁR, J., LARSSON, P., MISEEV, P., MOISEEV, D., MOLAU, U., MESA, J. M., NAGY, L., PELINO, G., PUSCAS, M., ROSSI, G., STANISCI, A., SYVERHUSET, A. O., THEURILLAT, J.-P., TOMASELLI, M., UNTERLUGGAUER, P., VILLAR, L., VITTOZ, P., GRABHERR, G., 2012: Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. *Science*, 336, p. 353 – 355.
- PIETOROVÁ, E. 1977: Alpínska vegetácia Račkovej doliny (Západné Tatry). Diplomová práca. Bratislava: PríFUK, 43 s.
- RStudio Team: RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston. 2020 (<http://www.rstudio.com/>).
- SEBASTIÁ, M.-T., 2004: Role of topography and soils in grassland structuring at the landscape and community scales. *Basic and Applied Ecology*, 5, 4, p. 331 – 346.
- TOWNSEND, C., BEGON, M., HARPER, J., 2010: Základy ekológie. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2010, 505 s.
- TUREČKOVÁ, J., 1974: Subalpínska a alpínska vegetácia Jamníckej doliny (Západné Tatry). Diplomová práca. Bratislava : PríFUK.
- WINDMAISSER, T., REISCH, C., 2013: Long-term study of an alpine grassland: local constancy in times of global change. *Alpine Botany*, 123, p. 1 – 6.