

Ovlivňují globální změny prostředí alpskou tundru Krkonoš, Králického Sněžníku a Hrubého Jeseníku?

Marek Banaš, Miroslav Zeidler a David Zahradník

Na konci roku 2011 byl ukončen pětiletý výzkumný projekt v rámci programu VaV MŽP – „Změny alpských ekosystémů na území KRNAP, NPR Králický Sněžník a CHKO Jeseníky v kontextu globálních změn“. Cílem projektu bylo popsat odezvy alpské vegetace a půdního prostředí na globální změny prostředí. Rozsáhlý výzkum se odehrával na území Krkonoš, Králického Sněžníku a Hrubého Jeseníku a přinesl řadu zajímavých zjištění. Průběh výzkumu a jeho významnější závěry jsou shrnuty v tomto článku.

Zprávy Mezivládního panelu pro změny klimatu (IPCC) i řada odborných publikací dokladují trend relativně rychlých klimatických změn v biosféře, který se nevyhýbá ani horským oblastem. Během posledních dekád lze celosvětově pozorovat v horských oblastech trend zvyšujících se **teplot** vzduchu. To rovněž platí pro evropská pohoří včetně Vysokých Sudet (Krkonoše, Králický Sněžník a Hrubý Jeseník), kde byl od roku 1955 prokázán nárůst roční průměrné teploty vzduchu o 0,5–1°C. Je přitom zřejmé, že teplotní změny zákonitě povedou ke změnám uspořádání životních dějů živočichů a rostlin v alpském prostředí.

Neméně významným problémem globální povahy jsou změněné **živinové poměry** v důsledku zvýšené depozice dusíku

antropogenního původu. Současná depozice sloučenin dusíku v alpských oblastech severní polokoule je mnohonásobně vyšší než před počátkem průmyslové revoluce. Nejinak je tomu i v pohořích na území ČR, kde je roční depozice dusíku odhadována řádově v desítkách $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Součástí scénářů očekávaných globálních změn prostředí jsou také změny v **ročním úhrnu srážek**. Samostatný ekologický faktor srážek obvykle nepostačuje k vysvětlení odezvy společenstev, nicméně dostupnost vody v prostředí nabývá na významu především v kombinaci s teplotou a s rozložením srážkové činnosti během roku. Předpověď budoucího vývoje ročního chodu srážek v alpském stupni střední Evropy není jednoznačná. Obecně

lze očekávat určitou extrémizaci. Zřejmě dojde k časoprostorovému střídání delších sušších období a období neobvykle deštivých.

Rostlinná společenstva alpské tundry jsou známá svou citlivostí, se kterou reagují na globální změny prostředí. Vyšší teplota, zvýšená dostupnost živin a změny v dostupnosti vody mohou mít v alpské tundře významný vliv na ekosystémové procesy. Z rozsáhlejších pohoří (zejména z Alp, Skandinávie a severoamerických pohoří) existuje na toto téma řada odborných dokladů. Studie z pohoří středních nadmořských výšek (tzv. middle-mountains), mezi něž patří i alpská tundra Vysokých Sudet, však prakticky nejsou k dispozici. Přitom právě v pohořích, jako jsou Krkonoše, Králický Sněžník a Hrubý Jeseník, alpské bezlesí vytváří jen plošně nevelké ostrovy s unikátní kombinací bioty a periglaciálně modelovaného reliéfu, v nichž mohou mít globální změny prostředí dalekosáhlé negativní dopady.

Metodika výzkumu

Výzkum byl prováděn v nejvyšších partiích našich pohoří s výskytem přirozeného alpského bezlesí, konkrétně v okolí Petrových kamenů (CHKO Jeseníky, NPR Praděd), na vrcholu Králického Sněžníku (stejnomená NPR) a v Modrém sedle mezi Studniční a Luční horou (I. zóna KRNAP).

Cílem projektu bylo popsat reakce vegetace a půdního prostředí jednak na krát-



Pohled na experimentální plochy v Modrém sedle v Krkonoších

Výzkum a dokumentace

V **observační části výzkumu** byly analyzovány dlouhodobé změny pestré mozaiky subalpinské a alpské vegetace v okolí vrcholu Petrových kamenů a na jeho severovýchodním svahu. Podkladovými daty o stavu a struktuře vegetace byly fytoecologické snímky a vegetační mapy, jež zde byly získávány od 50. let 20. století až do současnosti, tj. postihující periodu v délce 50–60 let.

Některé výsledky

Již po čtyřech sezonách provádění experimentu je možné konstatovat řadu změn ve sledovaném společenstvu alpských vřesovišť. Bylo prokázáno, že příznivější abiotické podmínky v prostoru skleníčků (vyšší teplota, nižší vysušování větrem) v kombinaci s dalšími změnami podmínek prostředí (zalévání, hnojení) akcelerují **fenologické projevy** studovaných druhů rostlin oproti kontrolním plochám. Na manipulovaných plochách byl zjištěn větší počet květů i počet kvetoucích jedinců stálezelených i opadavých keříčků – vřesu obecného a brusnice borůvky – oproti porostům přirozené alpské tundry (kontrolní plochy). U travin (kostřavy nízké a metličky křivolaké) nebyl zjištěn vliv simulovaných globálních změn na počet květenství (generativní šíření). Byl však potvrzen vliv experimentálních zásahů na růst u travin – jedinci metličky křivolaké vykazovali delší květenství. Dále bylo zjištěno, že zvýšený přísun dusíku průkazně zrychluje nástup projevů stárnutí u brusnice borůvky (změna barvy listů).

Jednotlivé typy experimentálních zásahů se rovněž odrazily ve **druhovém složení** společenstva alpských vřesovišť a v zastoupení některých druhů rostlin. Mezi významné vlivy patří v sestupném pořadí úživnost prostředí



Experimentální hnojení výzkumných ploch – ilustrační fotografie

podobné změny prostředí během čtyř sezon experimentu (tzv. manipulativní část výzkumu) a dále na dlouhodobé změny přírodního prostředí v horizontu desítek let (tzv. observační část výzkumu). V rámci **manipulativní části výzkumu** byly ve všech třech pohořích založeny trvalé výzkumné plochy v porostech vyfoukávaných alpských vřesovišť (sv. *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion*), na nichž byly v letech 2008–2011 manipulovány a vzájemně kombinovány tři abiotické faktory prostředí: zvýšená teplota, zvýšené množství vody a vyšší koncentrace dusíku v půdě. Prováděné změny hlavních faktorů prostředí simulovaly očekávané scénáře globálních změn. Vlastní uspořádání experimentu v terénu vycházelo z mezinárodního projektu studia vlivu globálního oteplování v ekosystémech horské či polární tundry (ITEX), aby bylo možné porovnat získané výsledky. Na založených trvalých plochách byla zvyšována průměrná teplota pomocí otevřených komor („skleníčků“) z polykarbonátu ve tvaru hexagonů. Koncentrace dusíku v prostředí byla navyšována opakovaným rozprášením roztoku NH_4NO_3 v množství odpovídajícím ročnímu úhrnu dusíku $20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Pro studium vlivu zvýšeného množství srážek byla použita demineralizovaná srážková voda. Během každé sezony byl na výzkumné plochy aplikován 1,5násobek ročního úhrnu srážek na lokalitách.

Výzkumné plochy sloužily zároveň ke sledování řady mikroklimatických charakteristik prostředí. Jedná se především o kontinuální měření chodu teploty vzduchu, množství srážek, vzdušné vlhkosti. Dále byla sledována teplota vzduchu v přízemní vrstvě vegetace, půdní teplota a vlhkost v rhizosféře. Na všech lokalitách byla každoročně měřena hloubka sněhu, vybrané vlastnosti sněhové

pokrývky, v průběhu předjarního období pak postup odtávání sněhu.

Na založených plochách byly sledovány odezvy vegetace alpských vřesovišť z mnoha různých úhlů pohledu. Za indikátory vlivů globálních změn prostředí byly zvoleny fenologické projevy dominantních druhů rostlin, druhová kompozice ve společenstvech, zastoupení jednotlivých druhů, množství produkované rostlinné biomasy a její chemické složení. Výzkum se dále zaměřil na půdní prostředí, především na změny jeho fyzikálního a chemického složení v důsledku simulovaných globálních změn prostředí.



Terénní meteorologická stanice pro sledování mikroklimatických charakteristik na lokalitě Petrovy kameny

(vyšší koncentrace dusíku), nárůst teploty a vyšší dostupnost vody. Z výsledků vyplývá, že zvýšená dostupnost dusíku v prostředí zvyšuje pokryvnost některých nitrofilních druhů (metlička křivolaká, ostřice tuhá, rdesno hadí kořen) i celkovou pokryvnost bylinného patra. Mechové patro je přitom potlačováno. Vyšší teplota prostředí podporuje ve společenstvu vřesovišť dominantní keříčky (brusnice borůvku, vřes obecný a smilku tuhou). Na druhové složení sledované vegetace nemá jednoznačný vliv zvýšení dostupnosti vody.

V závislosti na ekologické skupině rostlin či konkrétním druhu se projevuje vliv jednotlivých simulovaných globálních změn prostředí také na **rostlinné biomase**. Studie potvrdila, že každý druh má své individuální ekofyziologické odezvy vůči vlivům prostředí a vnitřní růstová omezení daná evolucí, která jsou určující pro schopnost alpských rostlin reagovat na změny podmínek prostředí. Výrazný nárůst biomasy, jako odezva na zvýšenou koncentraci dusíku v prostředí, byl zaznamenán u travin (kostřava nízká, metlička křivolaká, ostřice tuhá). Na zvýšenou teplotu prostředí pozitivně reagovala nárůstem biomasy skupina neopadavých keříků s dominantou společenstva vřesem obecným.

Simulované globální změny prostředí vyvolávají také změny v relativním **zastoupení dusíku** v nadzemní biomase a zároveň způsobují posuny v poměru *uhlík : dusík* u vegetačních dominant alpských vřesovišť. Nárůst teploty se projevil snížením zastoupení dusíku v nadzemní biomase opadavých i neopadavých keříků. Naopak v případě travin se pod vlivem zvýšené koncentrace dusíku v prostředí projevila vyšší fixace dusíku v rostlinných pletivech. Zjištěné změny v chemickém složení rostlinné biomasy tak ovlivňují kvalitativní složení opadu

a dlouhodoběji se projeví v celkovém obratu dusíku v ekosystému, dekompozici a mineralizaci rostlinné biomasy.

Na základě hodnocení **dlouhodobých změn vegetace** v okolí Petrových kamenů v Jeseníkách byly zaznamenány vegetační posuny během druhé poloviny 20. století. Tyto vegetační změny subalpínské a alpské vegetace jsou řízeny změnou několika faktorů prostředí. Jedná se o celkový pokles pH ve sledovaném území, změny v některých vegetačních jednotkách navíc indikují zvýšenou dostupnost vody i dusíku. Druhové složení vegetace první poloviny 20. století bylo determinováno vlivem pastvy a travení. Následující dekády jsou ovlivněny absencí jakýchkoliv přímých zásahů a narůstajícími zásahy nepřímými. Období konce 20. století je ovlivněno změnou chemismu atmosféry (vlivem imisi), jejímž důsledkem byl nárůst acidity a trofie prostředí. Během sledovaného období došlo k poklesu pokryvnosti druhů s vazbou na managementový režim spojený s pastvou, což se týká např. šťovíku horského, tomky vonné, metlice trsnaté nebo zvonku vousatého. Během přechodového období 80.–90. let se měnila pokryvnost řady druhů, avšak druhová diverzita se významně neměnila, analýzou vegetace nebyly indikovány významnější změny. Změny většího významu jsou doloženy až s počátkem 21. století, kdy dochází ke zvýšení pokryvnosti vzrůstově vyšších (předrůstavých) druhů a druhů vázaných na vyšší úživnost stanoviště.

Jaké změny alpské tundry můžeme očekávat?

Pro nastínění očekávaných budoucích změn alpských ekosystémů Vysokých Su-

det pod vlivem globálních změn prostředí lze s výhodou kombinovat několik úrovní získaných podkladů. Lze použít krátkodobé výsledky provedených manipulativních výzkumů vegetace doplněné o dlouhodobé výstupy observační části projektu. Lze také vycházet z řady prací o alpských ekosystémech Vysokých Sudet i okolních pohoří. Na základě syntézy získaných informací lze formulovat následující očekávané hlavní trendy, jež se v následujících desetiletích pravděpodobně uplatní v prostředí alpské tundry Vysokých Sudet.

Očekávané globální změny prostředí budou podporovat intenzitu generativní i vegetativní reprodukce prakticky všech životních forem vegetace alpské tundry. V souvislosti s očekávaným nárůstem depozice dusíkatých látek a zvyšující se teploty lze předpokládat pokračování trendu saturace půdního prostředí živinami a následně zvyšování pokryvnosti druhů vázaných na vyšší úživnost stanoviště a konkurenčně zdatnějších druhů rostlin. To se týká především postupného zvyšování zastoupení keříčkové a stromové vegetace v subalpínském a alpínském stupni. Současně bude povolna docházet ke zvyšování polohy horní hranice lesa, jež však bude reagovat spíše konzervativně a pomaleji než ostatní bylinné vegetační formace. V nejvyšších polohách, v porostech vrcholové alpské tundry, lze očekávat pokračující trend unifikace druhového složení vegetace a zvýšené pokryvnosti i množství nadzemní biomasy, zejména graminoidních druhů, na úkor mechorostů, lišejníků a dvouděložných druhů rostlin. S nárůstem nadzemní produkce, zejména travin, lze předpokládat nárůst množství opadu a stojící nezelené rostlinné biomasy na stanovištích, která navíc bude mít kvalitativně jiné složení. Změny v chemickém složení a v poměrném zastoupení některých prvků opadu budou mít přímé důsledky pro dekompoziční procesy a celkový obrát minerálních látek v ekosystému. Pod vlivem posunů v ekosystémových procesech dojde ke změnám i ve vzájemných (pozitivních či negativních) vztazích mezi druhy. Pravděpodobně bude narůstat význam konkurenčních vztahů a dojde k potlačování druhů s nízkou mírou konkurence. Z celkového pohledu však není nutné, alespoň během nejbližších let, se obávat dramatického poklesu druhové diverzity stávajících vegetačních formací. Lze však očekávat změny v relativním plošném zastoupení a úbytek rozlohy rostlinných společenstev i konkrétních druhů rostlin vázaných na živinami chudé substráty s nízkou mírou kompetice. Na ekologicky extrémních biotopech, např. na silně vyfoukávaných partiích alpínského stupně s mělkým půdním profilem, lavinových drahách, silně podmáčených stanovištích, nelze očekávat zásadní změny charakteru společenstev rostlin a živočichů.



Bujná vegetace – nadzemní biomasa v prostoru skleníčku po jeho odstranění. Přiložen přenosný rám pro sledování druhového zastoupení vegetace

Co si počít s alpským bezlesím?

Je třeba si připomenout, že všechny přirozené alpské ekosystémy v ČR se nacházejí ve zvláště chráněných územích, v převážné většině v prostoru jejich nejpřísněji chráněných částí (národní přírodní rezervace, I. zóna národního parku či I. zóna CHKO). Řadu potenciálně negativních vlivů na alpské ekosystémy tak lze řešit z pozice platné legislativy ochrany přírody a správy těchto chráněných území (např. prostřednictvím plánů péče).

Některé aspekty vhodného managementu společenstev alpské tundry však přesahují možnosti územních orgánů ochrany přírody, protože konkrétní problémy mají celorepublikový, resp. evropský kontext. Jedná se zejména o depozice dusíkatých látek do prostředí, acidifikaci půdního prostředí či o zvyšování teploty vzduchu. Řešení těchto problémů vyžaduje akce na celostátní či mezinárodní úrovni (spočívající v setrvalé podpoře programů na snižování emisí znečišťujících látek včetně skleníkových plynů apod.).

Je třeba zmínit i další kumulativní efekty, které se v prostředí alpské tundry uplatňují a do budoucna budou ovlivňovat charakter biocenóz. Zejména je třeba zmínit existenci a další očekávané pomístní šíření vysazených porostů borovice kleče na úkor přirozené alpské tundry, zejména ve Východních Sudech (Hrubý Jeseník a Králický Sněžník). Významné je také lokálně intenzivní rekreační využívání alpské tundry, s nímž jsou spojeny negativní procesy (výrazné mechanické disturbance půdy a vegetace, riziko chemické kontaminace prostředí, šíření antropofytů apod.).

Uvedené negativní procesy se v různé míře a intenzitě uplatňují v různých částech alpského bezlesí Vysokých Sudet. Budoucí management by proto měl vždy vycházet z konkrétního charakteru alpského prostředí dané lokality, její cennosti, plošného zastoupení, historie, míry antropogenního ovlivnění i z aktuálního ohrožení.



Vegetace na svahu pod Petrovými kameny studovaná z hlediska dlouhodobých změn – ilustrační fotografie

S přihlédnutím ke zmiňovaným okolnostem lze formulovat několik hlavních zásad managementu, jež doporučujeme vzít do úvahy při přípravě a realizaci budoucích plánů péče chráněných území:

- Masivnější managementová intervence do biocenóz alpské tundry ve smyslu návratu ke „starým časům“, tzn. znovuoobnovení pastvy či sečení na rozsáhlejších plochách, se jeví jako nereálná.
- Pastvu a travení – původní způsoby budního hospodaření na alpských holích, doporučujeme experimentálně realizovat na malých plochách. Dopady těchto způsobů hospodaření je nezbytné sledovat a vyhodnocovat za použití standardních metodik ekologického výzkumu.
- Doporučujeme evidovat a do budoucna zachovat síť monitorovacích ploch založených v rámci tohoto i dalších výzkumných projektů v alpské tundře Vysokých Sudet. Ze založených ploch posléze doporučujeme vybrat reprezentativní síť v různých typech alpské vegetace a pe-

riodicky sledovat jejich přirozenou sukcesii (vegetace, fauny) např. v pětiletém cyklu podle standardních metodik ekologického výzkumu.

- Doporučujeme věnovat obzvláštní důraz vymezení a periodickému monitoringu vývoje tzv. horkých míst biodiverzity, maloplošných biocenóz alpské tundry, druhům s omezeným výskytem/početností či fenoménům ve zvýšené míře ohroženým globálními změnami prostředí (např. skalní a šterbinové biotopy, lavinové dráhy, druhově bohaté subalpské smilkové trávníky, biotopy extrémně vyfoukávaných poloh, vrchoviště).
- V případě, že se na vymezených cenných biotopech alpské tundry ve zvýšené míře projeví tendence k unifikaci prostředí a zvýšenému zastoupení konkurenčně zdatných druhů zásadně měnících charakter prostředí, doporučujeme provést cílené intervence (např. mechanické odstranění konkurenčně zdatných druhů).
- V opodstatněných případech bude žádoucí přistoupit k vytvoření konzervačních programů pro ochránářsky významné alpské druhy, jejichž zastoupení bude omezené a jejichž populační početnost bude mít ve společenstvech dlouhodobě klesající tendenci.

Fotografie Marek Banaš, Jan Červinka, David Zahradník

Autoři působí na katedře ekologie a životního prostředí Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci a ve společnosti Ekogroup Czech, s.r.o.

Poděkování

Článek byl podpořen grantem VaV SPII2d1/49/07: „Změny alpských ekosystémů na území KRNP, NPR Králický Sněžník a CHKO Jeseníky v kontextu globálních změn“.

SUMMARY

Banaš M., Zeidler M. & Zahradník D.: Does Global Environmental Change Influence Alpine Tundra in the Krkonoše/Giant Mts., Králický Sněžník and Hrubý Jeseník Mts.?

Dramatic atmospheric changes were documented during past decades and current predictions indicate deepening their impacts on wild plants. Global changes are expected to be most pronounced at high altitudes: thus, mountains of intermediate elevation have been particularly vulnerable. The authors focused on alpine heathlands at the High Sudeten Mts. (the Krkonoše/Giant Mts., Králický Sněžník Mts., Hrubý Jeseník Mts.) during the four-year project. The experiment included artificial influence of some environmental parameters (temperature, trophic conditions and moisture) and comparison of historical data set from the second half of the 20th century. The specific plant species and community responses, i.e. mineral composition, biomass, flowering phenology

and qualitative and quantitative changes in species within the plant community, were analyzed. The results documented trophic conditions (nitrogen) and temperature as key factors being sporadically influenced by moisture and acidity of soil. Responses of plants evidenced shifts in growth processes, plant mineral constitution (C:N rate in biomass), reproduction and community composition. Much more, changes were documented in some soil parameters. The fact will affect not only the species dominance and mutual relations but also ecosystem processes (including decomposition) in future. Recommendations proposed by the authors based on the research outputs are as follows: The return to ancient management is not feasible, nevertheless historical management restricted to experimental sites should be tested. Established monitoring system of experimental plots should be preserved. The long-time monitoring of local biodiversity “hot-spots” is also highly recommended. In the case of substantial changes (e.g., habitat unification, prevalence of competitors, etc.), particular management measures should be applied. Action plans/recovery programmes for endangered species should be developed and implemented properly.