

Univerzita Palackého v Olomouci  
Přírodovědecká fakulta  
Katedra ekologie a životního prostředí



**Druhové změny vegetace alpínských vřesovišť pod  
vlivem globálních změn prostředí**

Jan Červinka

Bakalářská práce  
předložená

na Katedře ekologie a životního prostředí  
Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků  
na získání titulu Bc. v oboru  
Ochrana a tvorba životního prostředí

Vedoucí práce: RNDr. Marek Banaš, Ph.D.

Olomouc 2011



Červinka, J.: Druhové změny vegetace alpínských vřesovišť pod vlivem globálních změn prostředí. Bakalářská práce, Katedra ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 44s., česky

## Abstrakt

V posledních dekádách jsou často diskutovaným tématem globální změny klimatu. Probíhající klimatické změny mohou mít vliv na rostlinná společenstva alpínské tundry. Alpínské rostliny jsou adaptovány na nízké teploty a extrémní prostředí, ale vykazují omezenou odolnost vůči probíhajícím změnám klimatu. Důsledkem těchto změn může být pokles diverzity. Alpínská zóna v České republice je omezena pouze do nejvyšších partií Krkonoš, Králického Sněžníku a Hrubého Jeseníku. V těchto oblastech probíhal v letech 2008-2010 manipulativní experiment, simulující zvýšenou teplotu, zvýšené srážky a zvýšenou depozici dusíku. V průběhu zmíněného období bylo na vrcholu každé vegetační sezony prováděno sledování vegetace alpínských vřesovišť svazu *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion* pomocí fytoocenologického snímkování. Cílem bylo zjistit, jak reaguje alpínská vegetace pod vlivem těchto manipulací. Bylo zjištěno, že vlivem manipulací došlo ke změnám těchto společenstev. Změny se projeví v zastoupení druhů i ve změně jejich pokryvnosti. Faktorem, který měl nejvýznamnější vliv, byla teplota. Získané výsledky mohou být východiskem pro další studium dopadu globálních klimatických změn na cenné ekosystémy alpínské tundry.

Klíčová slova: změny klimatu, alpínské rostliny, OTC, teplota, srážky, depozice dusíku, fytoocenologie

Červinka, J.: Changes of vegetation in alpine heaths under global environmental changes.  
Bachelor's Thesis, Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of  
Science, Palacky University of Olomouc, 44 pp., in Czech.

### Abstract

In the last decades, the global climate changes are one of the mostly discussed topics. The ongoing climatic changes can affect the plant communities of Alpine Tundra. Alpine plants are adapted to low temperatures and extreme environment, but they seem to be vulnerable to the climate changes. One of the consequences can be the decrease of diversity. Czech Republic Alpine Zone is limited only to the top parts of the Krkonose mountains, the Kralický Sněžník and the Hrubý Jeseník. In the years 2008-2010, a manipulative experiment, which took place in these areas, simulated the increase of temperature and precipitation, and furthermore, the deposition of Nitrogen. During these periods, vegetation surveillance was executed on the peak of each vegetative season on the Alpine heaths *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion*, using the phytosociology. The purpose of this experiment was to determine the reaction of Alpine vegetation under the influence of these manipulations. It was discovered that plant communities have changed. The changes manifested both in the coverage and presence/absence of species. The temperature was found to be the most significant coverage factor. The obtained results can be the cornerstone for other studies of global climatic changes affect on the valuable Alpine Tundra ecosystems.

Key Words: Climate Changes, Alpine plants, OTC, temperature, precipitation,  
Nitrogen, Phytosociology

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením RNDr. Marka Banaše, Ph.D. a jen s použitím citovaných literárních pramenů.

V Olomouci 30. dubna 2011

.....

## Obsah

Seznam tabulek .....	vii
Seznam obrázků .....	viii
Poděkování .....	ix
1 Úvod .....	1
2 Cíle práce.....	3
3 Teoretická východiska .....	4
3.1 Stručná charakteristika zájmového společenstva.....	4
3.2 Očekávané reakce alpských společenstev k potenciálním změnám klimatu.....	5
4 Materiál a metody .....	7
4.1 Charakteristika studovaných lokalit .....	7
4.1.1 Hrubý Jeseník – Petrovy kameny.....	7
4.1.2 Králický Sněžník .....	9
4.1.3 Krkonoše – Studniční hora .....	11
4.2 Design a metodika manipulativních experimentů.....	13
4.2.1 Výběr a založení trvalých ploch .....	13
4.2.2 Teplotní manipulace .....	15
4.2.3 Manipulace srážek .....	16
4.2.4 Manipulace dusíku .....	16
4.3 Metodika sledování a analýzy vegetace .....	16
4.4 Analýza dat .....	17
5 Výsledky .....	18
5.1 Zastoupení druhů – prezence/absence .....	18
5.2 Změny v zastoupení druhů rostlin pod vlivem manipulativních zásahů .....	18
5.3 Analýza pokryvnosti .....	24
6 Diskuze .....	30
7 Závěr .....	34
8 Literatura .....	35
9 Obrazová příloha .....	36

## Seznam tabulek

Tabulka 1. Převod hodnot pokryvnosti vyjádřených dle Braun-Blanquetovy kombinované stupnice na číselné hodnoty van der Marrelou transformací.....	17
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## Seznam obrázků

Obr. 1. Situační mapa lokality 60 m západně od vrcholu Petrových kamenů .....	9
Obr. 2. Situační mapa lokality 160 m jihovýchodně od vrcholu Králického Sněžníku .....	11
Obr. 3. Situační mapa lokality 500 m západně od vrcholu Studniční hory .....	13
Obr. 4. Schéma přiřazených zásahů konkrétním trvalým plochám .....	14
Obr. 5. Schematický náskres OTC .....	15
Obr. 6. Grafický výstup analýzy změn v zastoupení jednotlivých rostlinných druhů na plochách v Hrubém Jeseníku metodou RDA.....	19
Obr. 7. Grafický výstup analýzy změn v zastoupení jednotlivých rostlinných druhů na plochách v Krkonoších metodou RDA.....	21
Obr. 8. Grafický výstup analýzy změn v zastoupení jednotlivých rostlinných druhů na plochách na Králickém Sněžníku metodou RDA.....	23
Obr. 9. Grafický výstup RDA analýzy pokryvnosti vegetace na úrovni celých čtverců s pohořími jako kovariátami pro období 2008 – 2010.....	25
Obr. 10. Grafický výstup RDA analýzy pokryvnosti vegetace na úrovni celých čtverců s pohořími jako kovariátami pro rok 2010.....	27
Obr. 11. Výsledek mnohonásobného RDA porovnání teploty vůči ostatním nerozlišeným ostatním zásahům s pohořími jako kovariátami pro sezónu 2010.....	28
Obr. 12. Ilustrační pohled na lokalitu Petrovy kameny .....	36
Obr. 13. Ilustrační pohled na lokalitu Králický Sněžník .....	36
Obr. 14. Ilustrační pohled na lokalitu Studniční hora .....	37
Obr. 15. Zařízení na jímání dešťové vody na lokalitě Petrovy kameny.....	37
Obr. 16. Pohled na OTC sloužící ke zvyšování teploty na plochách .....	38
Obr. 17. Ilustrační pohled na vegetaci uvnitř OTC .....	38
Obr. 18. Ilustrační pohled na kontrolní plochu .....	39
Obr. 19. Pevný rám pro záznam prezence/absence druhů .....	39
Obr. 20. Detail pevného rámu pro záznam prezence/absence druhů .....	40
Obr. 21. Kvetoucí rdesno hadí kořen ( <i>Bistorta major</i> ) .....	40



## **Poděkování**

Poděkování za podporu při řešení problémů a za terénní spolupráci patří především vedoucímu práce RNDr. Marku Banašovi, Ph.D. Dále děkuji RNDr. Miroslavu Zeidlerovi, Ph.D. za konzultace a spolupráci v terénu. Rovněž děkuji Bc. Pavlíně Škrottové za spolupráci v terénu a cenné rady. Poděkování patří také správě Krkonošského národního parku a správě CHKO Jeseníky za umožnění vstupu do chráněných území.

V Olomouci 30. dubna 2011

# 1 Úvod

V 50. letech 20. století byla poprvé definována vědecká hypotéza o globálním oteplování. Ověřená data potvrzují, že všechny kontinenty jsou ovlivněny globálními klimatickými změnami. Na změnách ekosystémů se nejvýznamněji podílí právě oteplování. Podle IPCC se kolem roku 2050 zvýší průměrná teplota o 1,5 – 4,5°C. To se projeví mimo jiné extrémnějšími projevy počasí (IPCC). Globální změny klimatu jsou kromě změn teploty provázeny i zvýšeným množstvím srážek (Maxwell 1992) a zvýšením depozice atmosférického dusíku. Za typické indikátory probíhajících změn klimatu lze v globálním měřítku považovat mimo jiné i fenologické změny vegetace, zkracování nebo prodlužování vegetačních sezón, nárůst biomasy, ústup ledovců nebo tání permafrostu. Dle IPCC se na globálních změnách klimatu významně podílí antropogenní faktor.

Je vědecky dokázáno, že antropogenní faktory mají rychlejší průběh než přirozené procesy, které jsou relativně pomalejší. Během posledních desetiletí se vliv zvýšeného přísunu dusíku způsobený antropogenními vlivy odráží na změnách přírodního prostředí celé střední Evropy (Sala *et al.* 2000). Tomuto trendu se nevyhnuly ani oblasti arкто-alpínské tundry. Od roku 1990 shromažďuje program ITEX (International tundra experiment) data týkající se dopadu změn prostředí na arktickou i alpínskou tundru (Henry *et Molau* 1997). Výzkumy z Alp potvrzují, že vlivem globálních změn klimatu dochází v oblastech alpínské tundry ke zvyšování biodiverzity. Příčinou je migrace rostlin z nižších poloh do vyšších nadmořských výšek (Gottfried *et al.* 1994, Grabherr *et al.* 1995). Rostliny v alpínském a nižším niválním stupni vykazují nenáhodnou distribuci. Je tedy jasné, že jejich rozmístění odpovídá určitému gradientu prostředí. Při probíhajících změnách klimatu budou rostliny hledat refugium na extrémních stanovištích (Gottfried *et al.* 1999). S nárůstem teploty bude tedy docházet k fragmentaci přirozených stanovišť, přičemž může dojít až k úplnému zániku stanoviště (Körner 2002). Alpínské rostliny reagují již na krátkodobé změny přirozeného prostředí (Chapin 1995). Na utváření alpínské tundry se mimo jiné faktory významně podílí morfologie povrchu, výška sněhové pokrývky a vítr.

Množství vody v ekosystémech má vliv na koloběh látek i na produkci biomasy rostlin a odráží se ve změnách druhového složení alpínských rostlinných společenstev.

Vyšší dostupnost živin, především dusíku má významný vliv na fotosyntézu (Chapin 1980), která má hlavní funkce v primární produkci ekosystému (Chambers *et al.* 1990). Körner (1989) tvrdí, že dostupnost živin je v primární produkci alpinské tundry méně důležitá (Banaš *et Zeidler* 2010). Rostliny pod vlivem zvýšeného množství živin zpravidla zvyšují produkci biomasy a tím dochází k mezidruhové konkurenci a k zastínění některých druhů (Wahren 1995), ovšem v tundře je produkce biomasy relativně malá (Bliss 1974). Zvýšená dostupnost živin, především dusíku je příčinou změn druhového složení alpínských společenstev (Körner 1995 in Banaš *et Zeidler* 2010). Na přísun dusíku pozitivně reagují zejména graminoidi (Epstein *et al.* 2000).

Trendu globálních změn se nevyhnuly ani horské oblasti střední Evropy. Antropogenní vliv člověka lze zaznamenat i v nejvyšších polohách Vysokých Sudet (Novák *et al.* 2010). Změnami druhového složení alpinské vegetace ve vrcholových partiích Krkonoš, Králického Sněžníku a Hrubého Jeseníku pod vlivem globálních změn prostředí se zabývá tato práce. Oblasti alpinské tundry v ČR jsou unikátními ekosystémy, které obsahují celou řadu endemických a reliktních druhů. Tyto lokality lze považovat za jedny z nejcennějších částí hercynských pohoří. Alpinská tundra je velmi citlivá na probíhající změny prostředí, a proto patří k velmi dobrým ukazatelům klimatických změn.

## 2 Cíle práce

Hlavním cílem předkládané práce je zjistit, jak reaguje vegetace alpínských vřesovišť svazu *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion* ve vrcholových partiích Krkonoš, Králického Sněžníku a Hrubého Jeseníku na simulované globální změny prostředí na úrovni druhového složení vegetace. Konkrétně byl studován vliv zvýšené teploty, zvýšeného množství srážek a zvýšené depozice dusíku na druhové složení alpínských vřesovišť a na jejich změny v průběhu času. Součástí práce je také literární rešerše na téma reakcí alpínských rostlinných společenstev k potenciálním změnám klimatu.

Předkládaná práce je součástí pětiletého projektu VaV SPII2d1/49/07 „Změny alpínských ekosystémů na území KRNAP, NPR Králický Sněžník a CHKO Jeseníky v kontextu globálních změn“. Tento projekt je financován Ministerstvem životního prostředí České republiky. Výsledná data budou využitelná i v mezinárodním projektu ITEX (International tundra experiment), který se zabývá výzkumem důsledků změn klimatu na ekosystémy alpínské a arktické tundry.

### 3 Teoretická východiska

#### 3.1 Stručná charakteristika zájmového společenstva

Zájmovým společenstvem je vegetace alpínských vřesovišť svazu *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion* Br.-Bl. in Br.-Bl. et Jenny 1926 (Chytrý *et al.* 2007). Jedná se o vegetaci nízkých keříčků v alpínském stupni hor. Tato vegetace se vyvíjí na deflačních hřebenech a návětrných stranách hor. Pro tyto oblasti je díky silnému větru charakteristická mělká sněhová pokrývka. V České republice mají tyto oblasti průměrné teploty 1-3°C. Srážkové roční úhrny jsou 1500 – 1700 mm. Půdy jsou kamenité rankery, mělké, vysychavé, ale vzdušná vlhkost je během vegetačního období vysoká. Důsledkem toho je zde dominance nízkých keříčků, zejména vřesu obecného (*Calluna vulgaris*) a šichy černé (*Empetrum hermaphroditum*) a mimo území České republiky i *Loiseleuria procumbens* a *Vaccinium gaultherioides*. Mezi keříčky rostou i polštáře keříčkovitých lišejníků. Nejčastější jsou lišejníky rodů *Alectoria*, *Cladonia*, *Cetraria* (Chytrý *et al.* 2007).

Ve střední Evropě je tato vegetace nejlépe vyvinuta v Alpách (Grabherr in Chytrý *et al.* 2007). Západní Karpaty i hercynská pohoří jsou druhově chudší. Velmi podobná vegetace je vyvinuta v nižším alpínském stupni v jižní arktické zóně Skandinávie (Chytrý *et al.* 2007). Podobné druhové složení má rovněž keříčková vegetace v sibiřských pohořích (Chytrý *et al.* 1993 in Chytrý *et al.* 2007). V České republice se vegetace svazu *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion* vyskytuje na hřebenech Krkonoš, Hrubého Jeseníku a Králického Sněžníku. Zpravidla vytváří mozaiku s kostřavovými alpínskými trávničky asociace *Centario-Festuceum supinae* ze svazu *Juncion trifidi*. V alpínském a subalpínském stupni na méně exponovaných místech s hlubší sněhovou pokrývkou je vegetace svazu *Loiseleurio-Vaccinion* s dominantními keříčky *Calluna vulgaris* a *Empetrum hermaphroditum* nahrazena vegetací vřesovišť s dominantní borůvkou (*Vaccinium myrtillus*), zde však chybějí arkticko-alpínské druhy lišejníků (Chytrý *et al.* 2007).

Diagnostickými druhy společenstva alpínského vřesoviště svazu *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion* jsou metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), ostřice tuhá (*Carex bigelowii*), plavuník alpínský (*Diphasiastrum alpinum*), šicha oboupohlavná (*Empetrum hermaphroditum*), kostřava nízká (*Festuca supina*), jestřábník alpský (*Hieracium alpinum* agg.), vranec jedlový (*Huperzia selago*), sítina trojklaná (*Juncus*

*trifidus*), brusnice brusinka (*Vaccinium vitis-idaea*), vousatec žlutozelený (*Alectoria ochroleuca*), puklěčka islandská (*Cetraria islandica*), ploník horský (*Polytrichastrum alpinum*) a dutohlávky (*Cladonia sp.*).

### 3.2 Očekávané reakce alpínských společenstev k potenciálním změnám klimatu

Oblasti alpínské tundry, tedy oblasti nad alpínskou hranicí lesa, patří k velmi citlivým ekosystémům a jsou náchylné na probíhající globální změny prostředí. Řada vědců, kteří se zabývají rostlinnými společenstvy alpínské tundry se shoduje, že tato společenstva jsou v souvislosti s probíhajícími klimatickými změnami velmi zranitelná. Díky své zranitelnosti a citlivosti na změny prostředí jsou alpínské ekosystémy dobrým ukazatelem globálních změn klimatu (Callaghan *et al.* 1995).

Globální změny klimatu jsou provázeny především zvýšenou teplotou, zvýšeným množstvím atmosférických srážek (Grabherr *et al.* 1995). Zmíněné faktory mohou mít významný vliv na rostlinné druhy alpínské tundry, což potvrzují již dříve provedené výzkumy (Grabherr *et al.* 1995, Sala *et al.* 2000). Přímý vliv na rostlinná společenstva alpínských ekosystémů má i depozice atmosférického dusíku (Grabherr *et al.* 1995).

Celá řada experimentů provedených v oblastech alpínské tundry dokládá, že změny klimatu způsobují snížení druhové diverzity (Chapin *et al.* 1995, Molau *et al.* 1998, Wahren 2005). Alpínské druhy velmi dobře tolerují stres, ale jsou výrazně méně odolné vůči konkurenci (Mooney 1991, Epstein *et al.* 2000). S probíhajícími změnami klimatu, tedy především se zvyšováním teploty v alpínském prostředí, migrují alpínské druhy do vyšších nadmořských výšek (Grabherr *et al.* 1995, Gottfried *et al.* 1999). Tato migrace může probíhat na úrovni celých společenstev. Reakce ale není vždy stejná, odvíjí se od typu společenstva či abiotických faktorů. Existují ovšem druhy, které spíše než migrací do vyšších nadmořských výšek, reagují na změny prostředí změnou pokryvnosti (Mooney 1991, Epstein *et al.* 2000). Změny prostředí mohou mít vliv na mezidruhové interakce a následně na změny druhového složení (Mooney 1991). Reakcí na změny prostředí je zpravidla snížení početnosti konkrétního druhu ve společenstvu (Grabherr *et al.* 1995, Pauli *et al.* 2003). Reakcí rostlin na změny prostředí může být vyšší produkce biomasy (Arf *et al.* 1999 in Banaš *et al.* 2010). Ta je vysvětlována jako důsledek zvýšené teploty a zvýšeného množství živin, konkrétně

vyšší depozice dusíku. Tento jev vede ke zvýšení kompetice mezi druhy. Na vyšší přísun dusíku do prostředí reagují pozitivně především bezcévnaté rostliny (Bobbink *et al.* 1998). Zvýšený přísun dusíku snižuje pokryvnost mechorostů a lišejníků, ale pozitivně působí na graminoidy (Pearce *et al.* 2009, Britton *et Fischer* 2007). Změny probíhají už při depozici dusíku 5 – 15 kg N.ha<sup>-1</sup> (Achermann *at* Bobbink 2003).

Dosavadní výzkumy dokládají, že globální změny klimatu mají prokazatelný vliv na druhové složení alpínské vegetace. Obecně se dá konstatovat, že všechny změny mohou probíhat na různých úrovních, odvíjí se od typu biotopu nebo společenstva. Výsledkem globálních klimatických změn prostředí je změna diverzity, kterou lze zaznamenat na úrovni celých společenstev (Jonasson 1992, Chapin *et al* 1995, Molau *et Alatalo* 1998, Wahren 2005).

Výzkumů, které se věnovaly změnám rostlinných společenstev v kontextu globálních změn klimatu, existuje celá řada. Většina z nich proběhla v oblastech arktické tundry. Z oblastí alpínské tundry existuje pouze omezený počet informací. Alpínská tundra, do které mimo jiné patří i česká hercynská pohoří, se vyznačuje relativní zachovalostí. Probíhající globální změny klimatu z nich ale činí potenciálně nejohroženější ekosystémy. Z tohoto důvodu je důležité zaznamenávat reakce alpínských rostlinných druhů na změny prostředí, jejich interakce na úrovni společenstev a na základě těchto reakcí predikovat průběh jejich dalšího vývoje. Všechny uvedené faktory jsou důvodem k provádění tohoto výzkumu.

## 4 Materiál a metody

### 4.1 Charakteristika studovaných lokalit

Výzkum je situován do nejvyšších poloh České republiky, do prostředí alpínské tundry, jejíž přirozený výskyt je zde omezen do zóny nad horní hranicí lesa. Alpínské bezlesí se v České republice nachází pouze ve vrcholových partiích hercynských pohoří. Tyto lokality spadají do oblasti krkonošsko-jesenické subprovincie, nazývané též Vysoké Sudety. Trvalé výzkumné plochy jsou konkrétně situovány v Krkonoších v Modrém sedle na úbočí Studniční hory, na Králickém Sněžníku v jeho vrcholové části a v Hrubém Jeseníku na vrcholovém plató Petrových kamenů. Lokality byly vybrány na základě podobných abiotických podmínek.

Ekologicky a klimaticky se jedná o extrémní polohy alpínského stupně (Jeník 1961, Treml *et* Banaš 2000). Pro vrcholové deflační plošiny je typická přítomnost anemoorografických systémů a kryogenních procesů. Studovaná rostlinná společenstva spadají do alpínských vřesovišť svazu *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion* Br.-Bl. in Br.-Bl. a Jenny 1926.

V těchto jedinečných alpínských biotopech se vyskytuje celá řada reliktních a endemitních taxonů rostlin a živočichů, která spolu s periglaciálním reliéfem vytváří unikátní mozaiku alpínského bezlesí Vysokých Sudet (Jeník 1961, Soukupová *et al.* 1995).

#### 4.1.1 Hrubý Jeseník – Petrovy kameny

Lokalita se nachází v Moravskoslezském kraji, v okrese Bruntál, v katastrálním území Malá Morávka v CHKO Jeseníky (vyhlášeno r. 1969), konkrétně v NPR Praděd (vyhlášeno r. 1991). Výzkumné plochy jsou situovány na vrcholovém deflačním plató masivu Petrových kamenů (1446 m n.m., GPS: 50°4'6N, 17°13'53E), cca 60 m západně od vrcholového mrazového srubu Petrových kamenů, v nadmořské výšce cca 1430 m n.m. Trvalé plochy se nacházejí nad alpínskou hranicí lesa (AHL), která má v Hrubém Jeseníku průměrnou výšku 1302 m n.m., přičemž větší část AHL probíhá ve výškovém intervalu 1300 – 1350 m n.m. (Treml *et* Banaš 2000).

Geologicky patří území do moravsko-slezské zóny, do východosudetské jednotky (silezika). Na jeho stavbě se podílejí krystalické horniny desenské klenby a



jejího obalu, především fylity, svory, ruly, kvarcity a migmatity. Lokalita geomorfologicky spadá do Krkonošsko-jesenické subprovincie, geomorfologického celku Hrubý Jeseník a podcelku Pradědské hornatiny (Kavalcová *et al.* 2003, Demek 2006).

Na geomorfologickém vývoji pohoří se podílelo především prvohorní variské vrásnění. V kvartéru bylo území výrazně modelováno kryogenními pochody, díky kterým vznikla pestrá mozaika periglaciálních tvarů, kryoplanační terasy, mrazové sruby, tory, kamenná moře a polygonální půdy, které se nachází i v oblasti v Petrových kamenů a sousedního vrcholu Vysoké hole.

Z půdních typů jsou v oblasti zájmového území přítomny litozemě a rankery, místy také nevyvinuté podzoly až kryptopodzoly. Vznik těchto půd je podmíněn geologickým vývojem a extrémními klimatickými podmínkami minulosti (Kavalcová *et al.* 2003).

Klima vrcholové části Hrubého Jeseníku spadá dle Quitta do chladné klimatické oblasti CH4. Typické je krátké, vlhké a chladné léto, velmi dlouhé přechodné období s chladným jarem, méně chladným podzimem. Zima je velmi dlouhá, chladná a vlhká s dlouhým trváním sněhové pokrývky (Quitt 1971). Průměrná teplota vzduchu ve vrcholových partiích je 1,1°C (Lednický 1985). Délka trvání sněhové pokrývky bývá na hřebenech horských holí až 170 dní v roce (Klimešová 1993). V oblasti převládá západní proudění. Na utváření klimatu se podílejí anemoorografické systémy, při kterých dochází k zesílení proudění a odnosu sněhu na návětrných stranách a k jeho nerovnoměrnému ukládání v závětrných stranách pohoří. Výsledkem je relativně nízká sněhová pokrývky na hřebenech a dlouhé trvání sněhové pokrývky na závětrných stranách, kde dochází ke vzniku sněhových výležisek.

Na vrcholech alpínských holí se nachází vyfoukávaná společenstva alpínských vřesovišť svazu oblasti *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion*, vyfoukávané alpínské trávníky svazu *Juncion trifidi* a zapojené alpínské trávníky svazu *Nardo strictae-caricion bigelowii* (Chytrý *et al.* 2007). Vrcholová skála Petrových kamenů a její nejbližší okolí je zmiňována jako významná botanická lokalita již od 19. stol. (Schauer 1840 *in* Banaš *et al.* 2008).



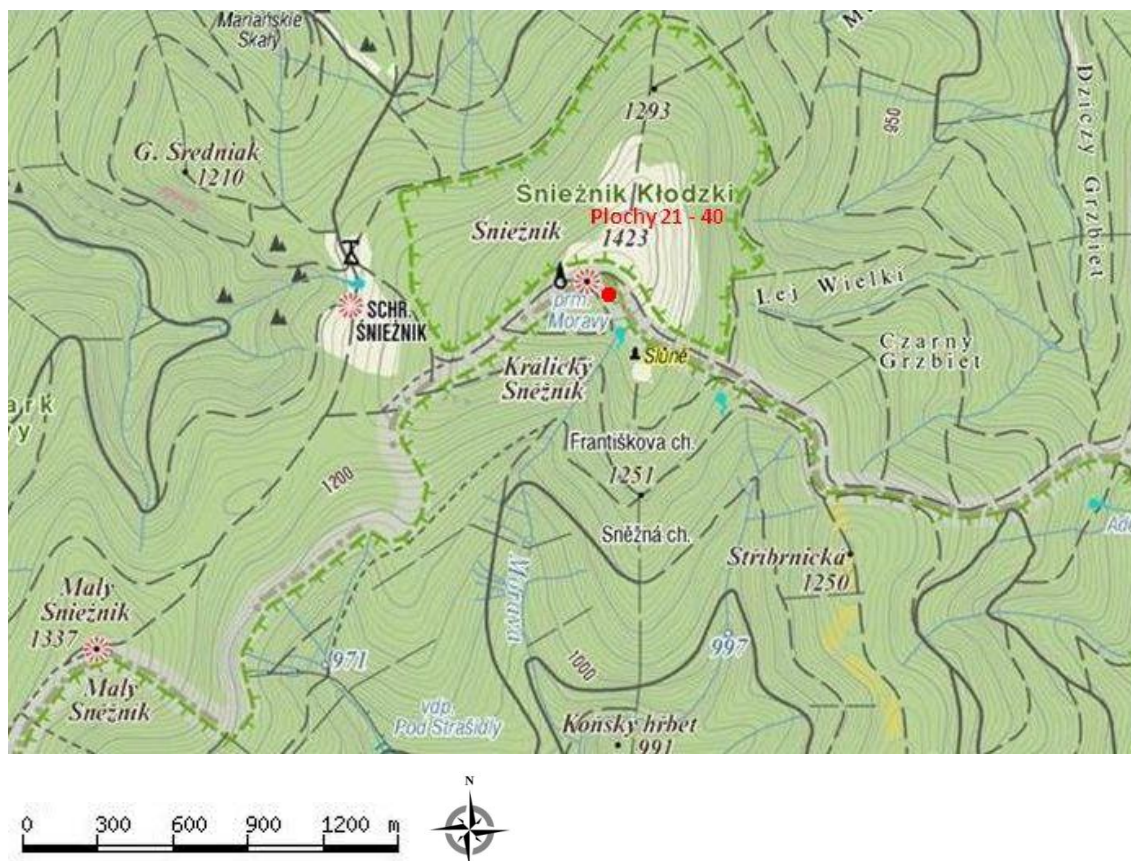
a erlany tvoří 2 km široký pás tzv. syklinoirum Moravy, při horním toku řeky Moravy (Faltysová *et al.* 2002).

Králický Sněžník je kerným pohořím. Vrcholové partie byly v chladných obdobích pleistocénu výrazně modelovány periglaciálními procesy a nivačními procesy. Nejvýznamnější nivační depresí je pramenný amfiteátr řeky Moravy. Periglaciálními procesy vznikly mrazové sruby, skalní hradby a kamenná moře. Na vrcholu Králického Sněžníku se vyskytují i mrazem tříděné půdní tvary (Faltysová *et al.* 2002, Demek *et al.* 1987, Šafář 2003).

Pro vrcholové partie jsou typické litozemě a místy rankery. Na svazích najdeme kryptopodzoly (Faltysová *et al.* 2002).

Klima vrcholové části Králického Sněžníku spadá dle Quitta do chladné klimatické oblasti CH4. Typické je krátké, vlhké a chladné léto, velmi dlouhé přechodné období s chladným jarem, méně chladným podzimem. Zima je velmi dlouhá, chladná a vlhká s dlouhým trváním sněhové pokrývky (Quitt 1971). Délka trvání sněhové pokrývky bývá na hřebenech horských holí až 170 dní v roce (Klimešová 1993). Průměrná teplota na vrcholových partiích je asi 1,7°C. Průměrné roční úhrny srážek jsou 1182 mm (Krahulec 1990).

Vegetaci i akumulaci sněhu ve vrcholových partiích významně ovlivňují anemoorografické systémy. Vítr zde vane ze všech směrů, ale částečně převládá jihozápadní proudění (Krahulec 1990). Vegetace v zájmovém území Králického Sněžníku je silně ovlivňována větrem a nerovnoměrnou distribucí sněhu. Ve vrcholových deflačních plošinách na vrcholu Králického Sněžníku se nachází vyfoukávaná společenstva alpínských vřesovišť svazu *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion*, vyfoukávané alpínské trávníky svazu *Juncion trifidi* a zapojené alpínské trávníky svazu *Nardo strictae-caricion bigelowii* (Chytrý *et al.* 2007).



**Obr. 2.** Situační mapa lokality 160 m jihovýchodně od vrcholu Kralického Sněžníku

Zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)

#### 4.1.3 Krkonoše – Studniční hora

Studované území se nachází v Královéhradeckém kraji, v okrese Trutnov, v katastrálním území Pec pod Sněžkou v první zóně Krkonošského národního parku (vyhlášen r. 1963). Trvalé plochy leží v Modrém sedle na úbočí Studniční hory (1554 m n.m., GPS: 50°43'37N, 15°42'22E), cca 500 m západně od vrcholu, v nadmořské výšce 1495 m n.m. Studniční hora, společně se Sněžkou, Luční horou a Vysokým kolem patří k nejvyšším izolovaným vrcholům Krkonoš, kde se vyskytuje arкто-alpínská tundra. Tyto vrcholy leží nad alpínskou hranicí lesa, která se v Krkonoších pohybuje v nadmořské výšce okolo 1250 m n.m. (Faltysová *et al.* 2002).

Geologicky spadá území do krkonošsko-jizerského krystalinika. Převažují zde metamorfované horniny, především krystalické břidlice a hlubinné vyvřeliny. Přebázná část pohoří je tvořena krkonošsko-jizerským plutonem. Geologicky se jedná o velmi staré pohoří, vývoj započal koncem proterozoika, asi před 700 miliony let. Na začátku paleozoika, asi před 600 miliony lety docházelo k vrásnění a starší mořské sedimenty

byly postupně přeměněny na mladší krystalické břidlice. V siluru byla celá oblast Krkonoš zalita mořem. V devonu docházelo ke kaledonskému a variskému vrásnění a byl vytvořen komplex fylitů a kvarcitů, které tvoří jihozápadní část pohoří. V karbonu pronikl pod starší horniny krkonoško-jizerský pluton, kterým je tvořen Slezský hřbet.

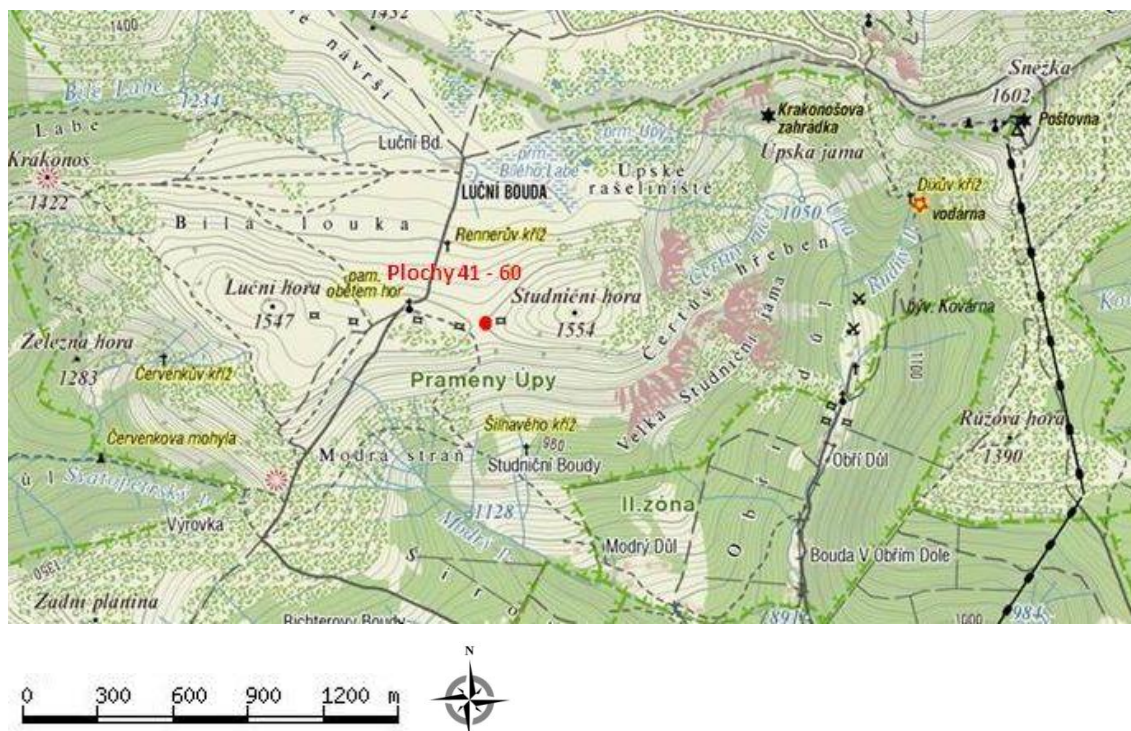
Geomorfologický vývoj současného reliéfu Krkonoš lze sledovat až od začátku třetihor (Banaš *et al.* 2008). Vlhké a teplé klima v druhohorách a na počátku třetihor způsobilo zarovnění pohoří a vznik úvalovitých depresí. Při třetihorním alpském vrásnění došlo k vyzdvižení a vyklenutí Krkonoš. To znamenalo urychlení odtoku a zpětnou erozi vodních toků docházelo k prohlubování údolí. Pohoří téměř získalo dnešní vzhled. V kvartéru bylo pohoří výrazně modelováno ledovci. Glaciálními procesy zde vznikly ledovcové kary a trogy. Kary v severní části svahů Studniční hory svědčí o přítomnosti horského ledovce v blízkosti studovaného území (Faltysová *et al.* 2002). Periglaciální modelací vznikly kryoplanační terasy, kamenná moře, mrazové sruby, skalní hradby, tory a v místě zájmové lokality polygonální půdy. Na utváření tvaru Krkonoš se podílejí i anemoorografické systémy.

Půdní horizont je mělký a je tvořen převážně kyselými rankery, na vrcholových plošinách se nachází i organozemě (Faltysová *et al.* 2002).

Vrcholové partie Krkonoš patří do chladné klimatické oblasti CH4. Území je srážkově velmi bohaté, roční úhrn srážek je až 1230 mm (Quitt 1971). Průměrná teplota na nejvyšších vrcholech se pohybuje těsně nad nulou. Klima významně ovlivňují anemoorografické systémy, při kterých dochází k zesílení proudění a odnosu sněhu na návětrných stranách a k jeho nerovnoměrnému ukládání na závětrných stranách pohoří. Výsledkem je relativně nízká sněhová pokrývka na hřebenech a dlouho trvající sněhová pokrývka na závětrných stranách. V nejvyšších polohách se sníh drží zpravidla od listopadu do dubna, ve svahových depresích na závětrných stranách i do června, např. sněhové výležiště „mapa republiky“ v Modrém dole pod Studniční horou.

Po ústupu ledovce od posledního glaciálu se díky izolovanosti vrcholových poloh zachovala mozaika velkého množství endemitních druhů, které zde zůstaly během zalednění v refugích.

Na zájmovém území se nachází rostlinná společenstva alpínských vřesovišť svazu *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion*, vyfoukávané trávníky svazu *Juncion trifidi* a zapojené alpínské trávníky svazu *Nardo strictae-caricion bigelowii* (Chytrý *et al.* 2007).



**Obr. 3.** Situační mapa lokality 500m západně od vrcholu Studniční hory

Zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)

## 4.2 Design a metodika manipulativních experimentů

Provedený výzkum se zabývá sledováním a analýzou druhového složení vegetace alpských vřesovišť v průběhu tří vegetačních sezon pod vlivem globálních změn prostředí. V průběhu let 2008 – 2010 byly na studovaných lokalitách manipulovány 3 faktory prostředí: teplota, srážky a depozice dusíku.

Experimentální design výzkumu je hierarchický. Faktorem prvního řádu je ovlivnění teploty, dvěma faktory druhého řádu je zvýšené množství srážek a zvýšená depozice dusíku (Banaš *et al* 2008). Teplota je manipulována pomocí tzv. „open top chamber“ (OTC). Tento typ OTC je používán při obdobném mezinárodním výzkumu zabývajícím se změnami klimatu v alpské tundře a arktické tundře (ITEX – International tundra experiment, Molau *et Møllgaard* 1996, Henry *et Molau* 1997).

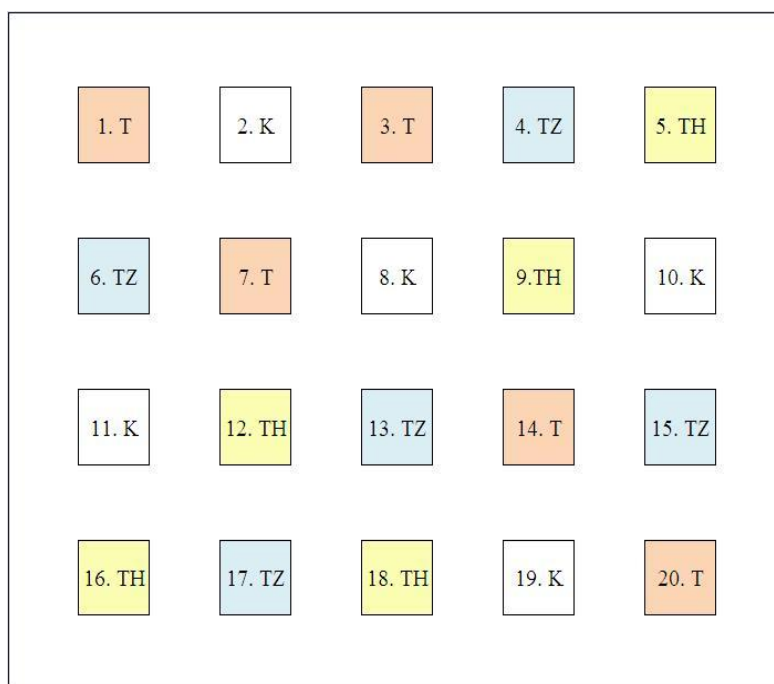
### 4.2.1 Výběr a založení trvalých ploch

Na každé ze tří zájmových lokalit bylo náhodným výběrem založeno 20 trvalých ploch čtvercového tvaru. Každá plocha má rozměry 50 × 50 cm (0,25 m<sup>2</sup>), je v rozích vyznačena kovovými kolíky a označena číslem (1 – 20 Petrovy kameny, 21 – 40

Králický Sněžník, 41 – 60 Studniční hora). Plochy jsou odděleny minimální pufrací zónou 1,5 m. Všechny čtverce byly zaměřeny GPS.

Trvalé plochy byly založeny na jaře roku 2008, okamžitě po zahájení vegetační sezóny, konkrétně 24.dubna 2008 na Petrových kamenech, 29.dubna 2008 na Králickém Sněžníku a 16.května 2008 na Studniční hoře. Čtvercové plochy byly založeny náhodně v porostech alpínských vřesovišť svazu *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion*. Heterogenita povrchu znemožnila rozmístění ploch do geometricky pravidelného tvaru. Plochy byly založeny na lokalitách s minimálním sklonem terénu a na stanovištích s podobnými abiotickým podmínkami s cílem minimalizovat ovlivnění výsledků heterogenitou povrchu. Zároveň byly plochy zakládány tak, aby v každé ploše byly přítomny zájmové druhy v dostatečném počtu.

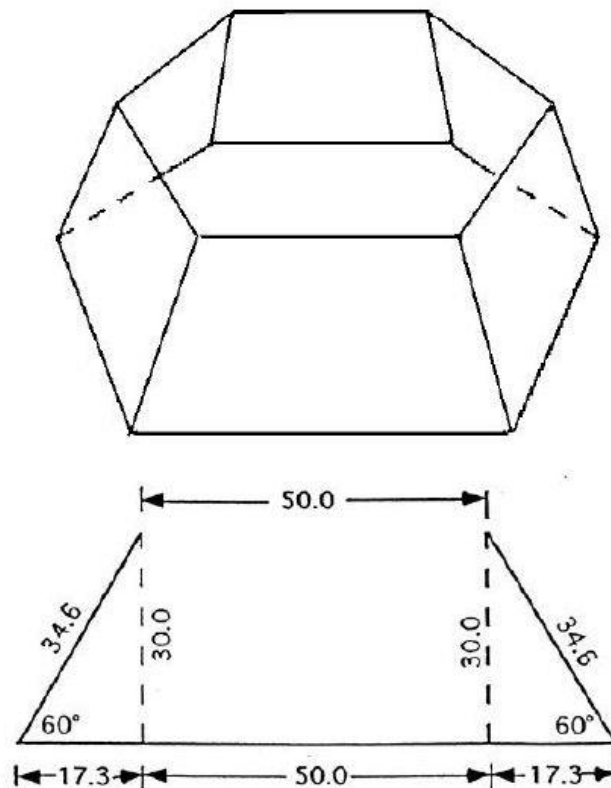
V každém pohoří byly vždy na pěti plochách prováděny stejné zásahy. Typy zásahu byly rovněž každé ploše přiřazeny náhodně, přičemž typ zásahu a číslo plochy jsou stejné na všech lokalitách. Na pěti plochách byla uměle zvýšena teplota (T), na dalších pěti plochách byla zvýšena teplota a zároveň zvýšeno množství srážek (TZ), na další pětici ploch byla zvýšena teplota a zároveň zvýšena depozice dusíku (TH). Pětice ploch zůstala kontrolní (K), tzn. bez zásahu (viz. obr. 4.).



**Obr. 4.** Schéma přiřazených zásahů konkrétním trvalým plochám. K – kontrola (bez zásahu), T – manipulace teploty, TZ – manipulace teploty a srážek, TH – manipulace teploty a živin

#### 4.2.2 Teplotní manipulace

Hlavním faktorem, který je v pokusu manipulován, je teplota. Jak bylo zmíněno, teplota byla uměle zvyšována pomocí otevřených plastových komor, OTC (viz. obr. 5.) OTC komory jsou vyrobeny ze 3 mm silného lexanu, mají tvar hexagonu a během růstové sezóny zvyšují teplotu o 1-3°C, což jsou hodnoty odpovídající předpovídanému zvýšení teploty při globálních změnách klimatu pro vyšší nadmořské výšky (Henry *et* Molau 1997). Lexan propouští 86% viditelného světla a méně než 5% odraženého infračerveného záření (Marion *et* al. 1996). OTC představují relativně levné zařízení, které lze použít při dlouhodobých experimentech. OTC byly na plochách (T, TZ, TH) ponechány po celou dobu experimentu, i v průběhu zimního období, protože nepozměňují akumulaci sněhu a jeho odtávání, či půdní vlhkost. Obecně se dá konstatovat, že OTC mají minimální vedlejší účinky (Henry *et* Molau 1997).



**Obr. 5.** Schematický náčrt OTC – komora hexagonálního tvaru, sloužící ke zvyšování teploty prostředí (Molau *et* Møllgaard 1996)



#### 4.2.3 Manipulace srážek

Existuje předpoklad, že při globálních změnách klimatu bude docházet nejen ke změnám teploty, ale zároveň ke zvýšení množství vertikálních srážek. V rámci tohoto experimentu bylo doposud v průběhu tří vegetačních sezón skrápěno pět ploch na každé lokalitě dešťovou vodou. Dešťová voda, byla jímána pomocí plastové nálevky do plastového sudu o objemu 200 l. Celé zařízení bylo vyrobeno speciálně pro tyto účely. Z důvodu minimalizace množství živin obsažených ve srážkách, byla dešťová voda vždy před aplikací na plochy predestilována pomocí přenosného demineralizačního přístroje s čerpadlem.

Dle navržené metodiky bylo postupně na každou plochu aplikováno během každé ze tří vegetačních sezón 175 l vody, množství odpovídající  $700 \text{ mm.m}^{-2}$  a zároveň objem odpovídající přibližně 50% navýšení srážek během jedné vegetační periody.

#### 4.2.4 Manipulace dusíku

Třetím faktorem, který je manipulován, je množství živin. Na pět ploch na každé lokalitě bylo v průběhu tří sezón aplikováno zvýšené množství dusíku, a to ve formě vodného roztoku  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Dusičnan amonný rozpuštěný ve 200 ml destilované vody byl aplikován přímo na vegetaci v celé trvalé ploše pomocí rozprašovače. Aplikace dusíku proběhla ve třech dávkách během jedné vegetační sezóny, přičemž první dávka byla dodána na začátku června a další dvě s odstupem vždy šesti týdnů. Celkové množství aplikovaného dusíku za jednu vegetační sezónu bylo  $2 \text{ g.m}^{-2}$ , což odpovídá  $20 \text{ kg.ha}^{-1}$  (Britton *et* Fischer 2007).

#### 4.3 Metodika sledování a analýzy vegetace

Sledování bylo prováděno formou fytoocenologického snímkování, které probíhalo vždy na vrcholu vegetační sezony, tj. na konci července. Na založených trvalých plochách o rozměru  $50 \times 50 \text{ cm}$  ve všech třech studovaných pohořích byly v letech 2008 – 2010 provedeny soupisy všech rostlinných druhů a záznamy o jejich pokryvnosti. Rostliny byly určeny do druhů. Pouze mechorosty a lišejníky nebyly blíže určovány. K hodnocení pokryvnosti sloužila metoda Braun-Blanquetovy kombinované

stupnice, která byla pro účely statistické analýzy převedena van der Marrelovou transformací na číselné hodnoty (tabulka 1.).

Pomocí přenosného rámu, který byl fixován na trvalou plochu, byla trvalá plocha o rozměrech 50 × 50 cm rozdělena na 100 menších plošek o rozměrech 5 × 5 cm. Na menších ploškách byl proveden zápis prezence a absence jednotlivých rostlinných druhů. Průkaznost změn byla testována pomocí statistických metod

<b>Braun-Blanquet</b>	<b>van der Marrel</b>
<b>5</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>7</b>
<b>2b</b>	<b>6</b>
<b>2a</b>	<b>5</b>
<b>2m</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>3</b>
<b>plus (+)</b>	<b>2</b>
<b>r</b>	<b>1</b>

**Tabulka 1.** Převod hodnot pokryvnosti vyjádřených dle Braun-Blanquetovy kombinované stupnice na číselné hodnoty van der Marrelovou transformací

#### 4.4. Analýza dat

Analýza dat byla provedena pomocí statistického programu CANOCO 4.5. Fytcenologická data byla nejprve převedena van der Marrelovou transformací na číselné hodnoty. Dále byla data zpracována pro všechny sezony, tj. 2008 – 2010 najednou a samostatně pro rok 2010. Pro všechna tři pohoří byla zpracována RDA (split plot design) se 4 proměnnými. Každá proměnná reprezentuje interakci času a zásahu (čas vs. kontrola, čas vs. teplota, čas vs. srážky, čas vs. dusík). Plochy slouží jako kovariáty. Celé čtverce byly randomizovány a byl proveden Monte Carlo permutační test (499 permutací).

## 5 Výsledky

### 5.1 Zastoupení druhů – prezenze/absence

Z výsledků zjištěných na základě prezenze/absence druhů vyplývá, že mezi sezónami 2008 a 2009 bylo na trvalých experimentálních plochách zaznamenáno zvýšení počtu druhů rostlin ze 14 na 16 druhů. Mezi lety 2009 a 2010 se počet rostlin nezměnil. V sezóně 2010 bylo zaznamenáno opět 16 druhů rostlin a další nerozlišené skupiny mechů a lišejníků. V sezóně 2009 se nově objevil maliník obecný (*Rubus idaeus*) v Hrubém Jeseníku a bika bělavá (*Luzula luzuloides*) na Králickém Sněžníku.

Na plochách byly v sezóně 2010 přítomny následující druhy (druhy jsou řazeny abecedně dle latinského jména): tomka alpská (*Anthoxanthum alpinum*), metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), rdesno hadí kořen (*Bistorta major*), třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*), vřes obecný (*Calluna vulgaris*), ostřice tuhá (*Carex bigelowii*), kostřava nízká (*Festuca supina*), jestřábníky (*Hieracium sp.*), podbělice alpská (*Homogyne alpina*), koprniček bezobalný (*Ligusticum mutellina*), bika bělavá (*Luzula luzuloides*), smilka tuhá (*Nardus stricta*), maliník obecný (*Rubus idaeus*), zlatobýl obecný alpský (*Solidago virgaurea* subsp. *virgaurea*), brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*), brusnice brusinka (*Vaccinium vitisidaea*).

### 5.2 Změny v zastoupení druhů rostlin pod vlivem manipulačních zásahů

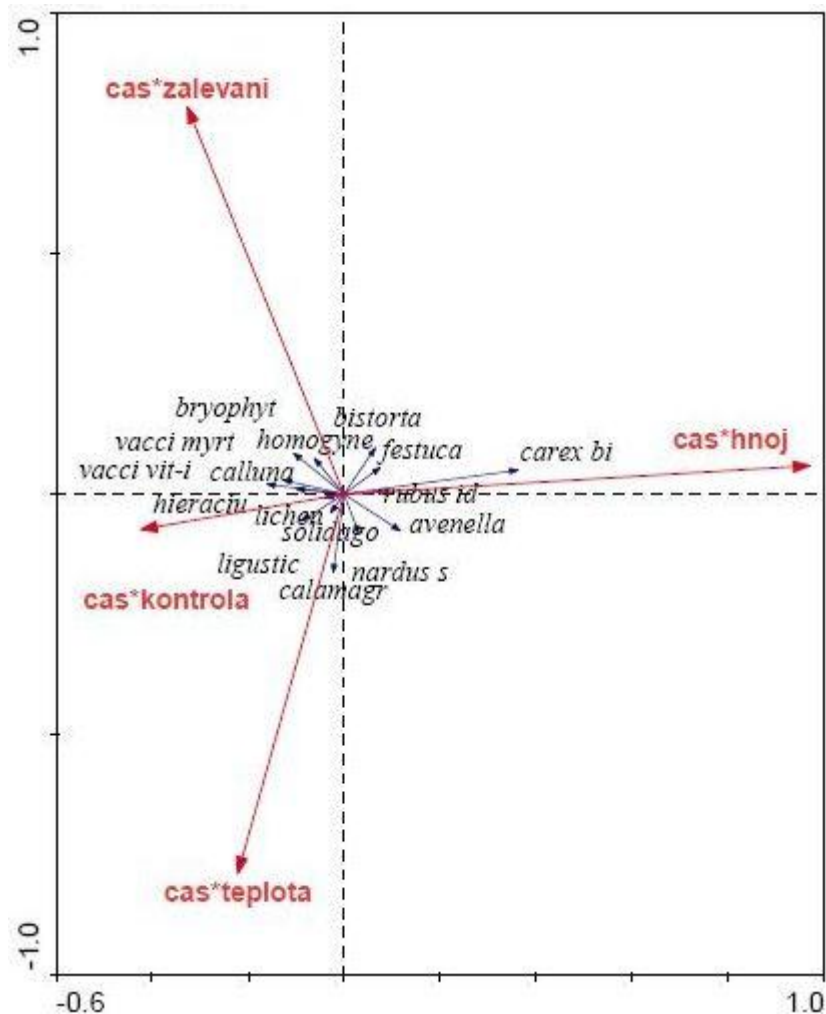
Při analýze změn v zastoupení druhů rostlin na plochách pod vlivem manipulačních zásahů během let 2008 – 2010 byl zjištěn signifikantní vliv zásahů v každém ze tří pohoří. Vliv zásahů na zastoupení druhů se ovšem lišil dle typu zásahu a lokality.

V Hrubém Jeseníku (obr. 6.) byla zaznamenána změna v zastoupení druhů pod vlivem manipulačních zásahů. Je zde prokazatelná také odlišnost od kontroly. V Krkonoších (obr. 7.) byla rovněž zaznamenána změna v zastoupení druhů na plochách pod vlivem manipulačních zásahů. V oblasti Králického Sněžníku (obr. 8.) vykazují některé rostliny podobné odezvy na teplotu a přísun dusíku.

Na základě grafických výstupů lze konstatovat, že všechna pohoří vykazují podobné trendy a na změnu podmínek reagují změnami pokryvnosti. Na zvýšení teploty

pozitivně reaguje svou prezencí smilka tuhá (*Nardus stricta*). Na zvýšený přísun dusíku pozitivně reagují svou prezencí graminoidi, především metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*) a ostřice tuhá (*Carex bigelowii*). Jen málo druhů na všech lokalitách vykazuje jednoznačnou odezvu na jeden faktor. Druhy reagují spíše na kombinaci faktorů, např. mechy, lišejníky, rdesno hadí kořen (*Bistorta major*) a borůvka (*Vaccinium myrtillus*) pozitivně reagují svou pokrývností na kombinaci zalévání a hnojení.

**Obr. 6.** Grafický výstup analýzy změn v zastoupení jednotlivých rostlinných druhů na plochách v Hrubém Jeseníku metodou RDA



---

**Výsledky permutačního testu:**

Jeseníky:

Test of significance of first canonical axis:

eigenvalue = 0,016

F-ratio = 107,957

P-value = 0,0020

Test of significance of all canonical axes:

Trace: 0,024

F-ratio = 54,129

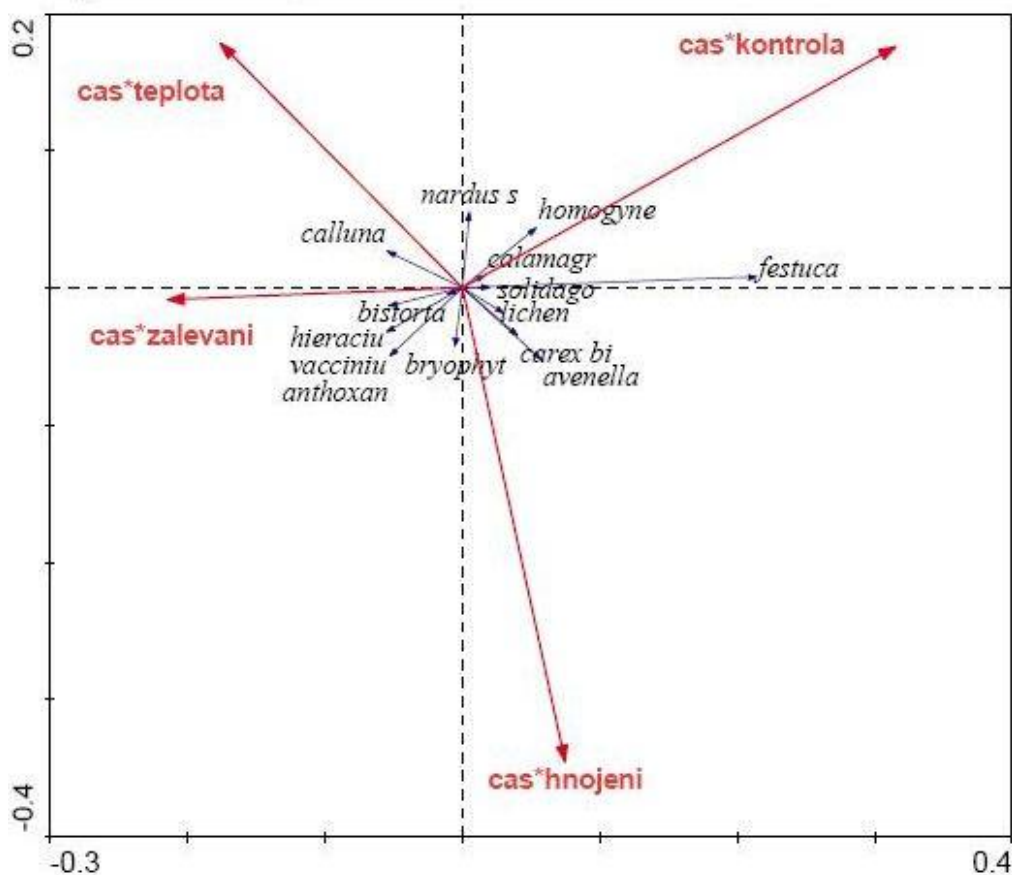
P-value = 0,0020

(499 permutations under reduced model)

---

**Kódování rostlinných druhů:** anthoxan – tomka alpská (*Anthoxanthum alpinum*), avenella – metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), bistorta – rdesno hadí kořen (*Bistorta major*), bryophyt – mechy, calamagr – třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*), calluna – vřes obecný (*Calluna vulgaris*), carex bi – ostřice tuhá (*Carex bigelowii*), festuca – kostřava nízká (*Festuca supina*), hieraciu – jestřábník alpský (*Hieracium alpinum*), homogyne – podbělice alpská (*Homogyne alpina*), ligustic – koprniček bezobalný (*Ligusticum mutellina*), lichen – lišejníky, luzula l – bika bělavá (*Luzula luzuloides*), nardus s – smilka tuhá (*Nardus stricta*), rubus id – maliník obecný (*Rubus idaeus*), solidago – celík zlatobýl alpský (*Solidago virgaurea* subsp. *virgaurea*), vacciniu – brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*), vacc vit-i – brusnice brusinka (*Vaccinium vitisidaea*)

**Obr. 7.** Grafický výstup analýzy změn v zastoupení jednotlivých rostlinných druhů na plochách v Krkonoších metodou RDA



### Výsledky permutačního testu:

#### Krkonoše:

Test of significance of first canonical axis:

eigenvalue = 0,009

F-ratio = 63,450

P-value = 0,0020

Test of significance of all canonical axes:

Trace: 0,010

F-ratio = 23,658

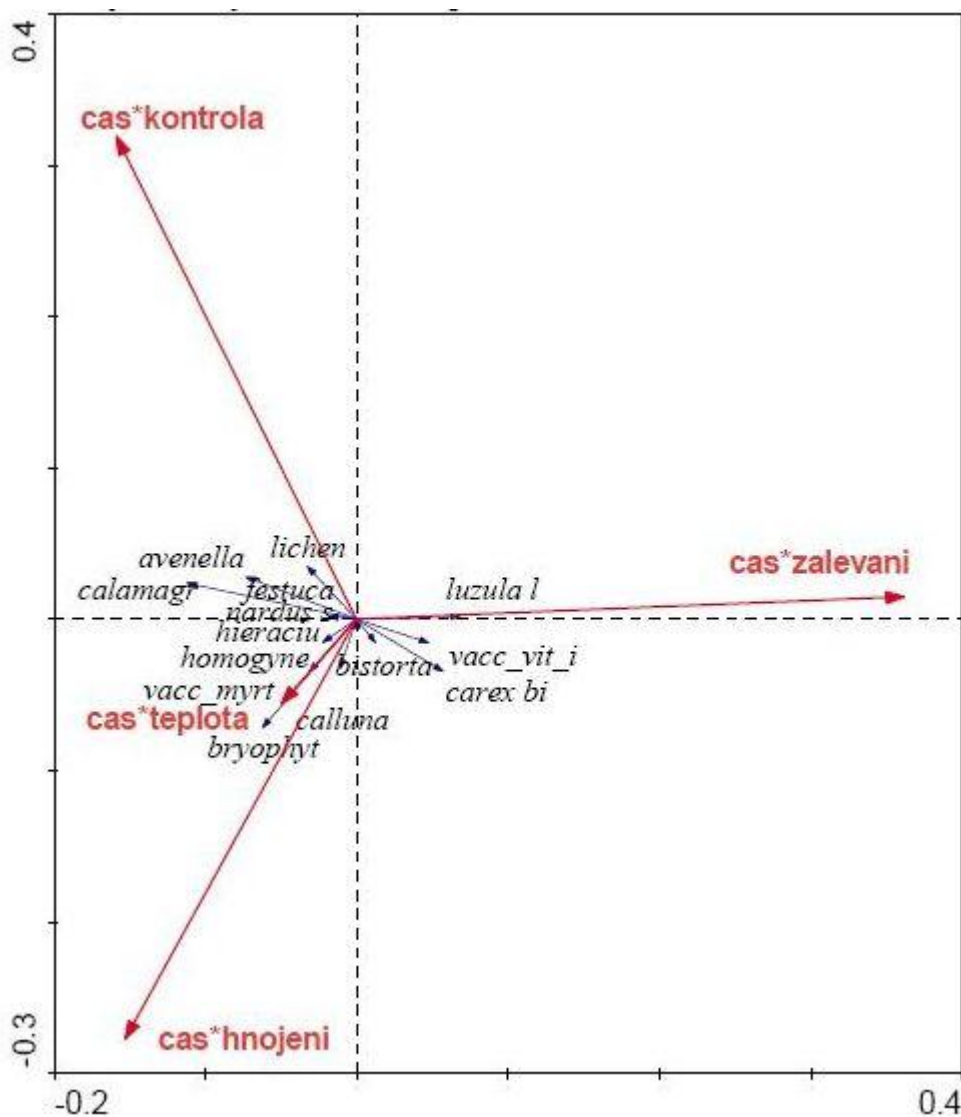
P-value = 0,0020

(499 permutations under reduced model)

**Kódování rostlinných druhů:** anthoxan – tomka alpská (*Anthoxanthum alpinum*), avenella – metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), bistorta – rdesno hadí kořen (*Bistorta major*), bryophyt

– mechy, calamagr – třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*), calluna – vřes obecný (*Calluna vulgaris*), carex bi – ostřice tuhá (*Carex bigelowii*), festuca – kostřava nízká (*Festuca supina*), hieraciu – jestřábník alpský (*Hieracium alpinum*), homogyne – podbělice alpská (*Homogyne alpina*), ligustic – koprniček bezobalný (*Ligusticum mutellina*), lichen – lišejníky, luzula l – bika bělavá (*Luzula luzuloides*), nardus s – smilka tuhá (*Nardus stricta*), rubus id – maliník obecný (*Rubus idaeus*), solidago – celík zlatobýl alpský (*Solidago virgaurea* subsp. *virgaurea*), vacciniu – brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*), vacc vit-i – brusnice brusinka (*Vaccinium vitisidaea*)

**Obr. 8.** Grafický výstup analýzy změn v zastoupení jednotlivých rostlinných druhů na plochách pro Králický Sněžník metodou RDA.



### Výsledky permutačního testu:

#### Králický Sněžník:

Test of significance of first canonical axis:

eigenvalue = 0,002

F-ratio = 12,578

P-value = 0,0020

Test of significance of all canonical axes:

Trace = 0,003

F-ratio = 6,065

P-value = 0,0020

(499 permutations under reduced model)



**Kódování rostlinných druhů:** anthoxan – tomka alpská (*Anthoxanthum alpinum*), avenella – metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), bistorta – rdesno hadí kořen (*Bistorta major*), bryophyt – mechy, calamagr – třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*), calluna – vřes obecný (*Calluna vulgaris*), carex bi – ostřice tuhá (*Carex bigelowii*), festuca – kostřava nízká (*Festuca supina*), hieraciu – jestřábník alpský (*Hieracium alpinum*), homogyne – podbělice alpská (*Homogyne alpina*), ligustic – koprniček bezobalný (*Ligusticum mutellina*), lichen – lišejníky, luzula l – bika bělavá (*Luzula luzuloides*), nardus s – smilka tuhá (*Nardus stricta*), rubus id – maliník obecný (*Rubus idaeus*), solidago – celík zlatobýl alpský (*Solidago virgaurea* subsp. *virgaurea*), vacciniu – brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*), vacc vit-i – brusnice brusinka (*Vaccinium vitisidaea*)

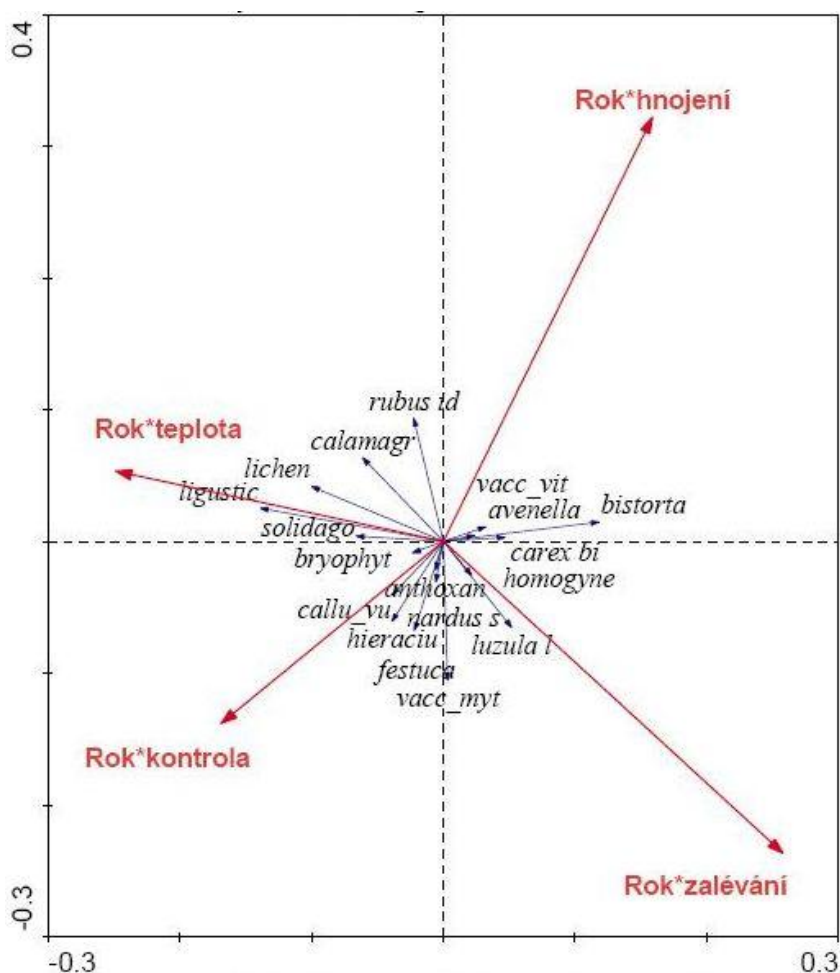
### 5.3 Analýza pokryvnosti

Z výsledků vyplývá, že při analýze pokryvnosti pro všechny sezóny dohromady, tj. pro sezóny 2008 – 2010 (obr. 9.) nebyl zjištěn průkazný vliv typu zásahu na vývoj pokryvnosti vegetace na plochách během času. Nelze tedy jednoznačně zaznamenat rozdílný vývoj druhového složení pod vlivy zásahů v průběhu času.

Při analýze pokryvnosti pro rok 2010 (obr. 10.) je vliv průkazný. Během tohoto období byl zaznamenán signifikantní vliv teploty. Nejvýraznějším faktorem s vlivem na pokryvnost, je teplota. Vliv srážek a depozice dusíku na pokryvnost vegetace je slabší.

Při mnohonásobném porovnání jednoho zásahu proti ostatním nerozlišeným zásahům (obr. 11.) má průkazný vliv na druhové složení pouze teplota. Z grafických výstupů lze vyvodit, že na plochách, kde byla manipulována teplota, svou pokryvnost zvýšily především smilka tuhá (*Nardus stricta*), borůvka (*Vaccinium myrtillus*), vřes obecný (*Calluna vulgaris*) a maliník obecný (*Rubus idaeus*). Na plochách kde nedošlo k manipulaci teploty, svou pokryvnost zvyšují druhy jako kostřava nízká (*Festuca supina*), podbělice alpská (*Homogyne alpina*) nebo mechorosty. Můžeme konstatovat, že při zvyšování teploty druhy jako kostřava nízká (*Festuca supina*), podbělice alpská (*Homogyne alpina*) nebo mechorosty svou pokryvnost snižují.

**Obr. 9.** Grafický výstup RDA analýzy pokryvnosti vegetace na úrovni celých čtverců s pohořími jako kovariátami pro období 2008- 2010



### Výsledky permutačního testu:

Test of significance of first canonical axis:

eigenvalue = 0,003

F-ratio = 1,626

P-value = 0,3300

Test of significance of all canonical axes:

Trace: 0,007

F-ratio = 1,0079

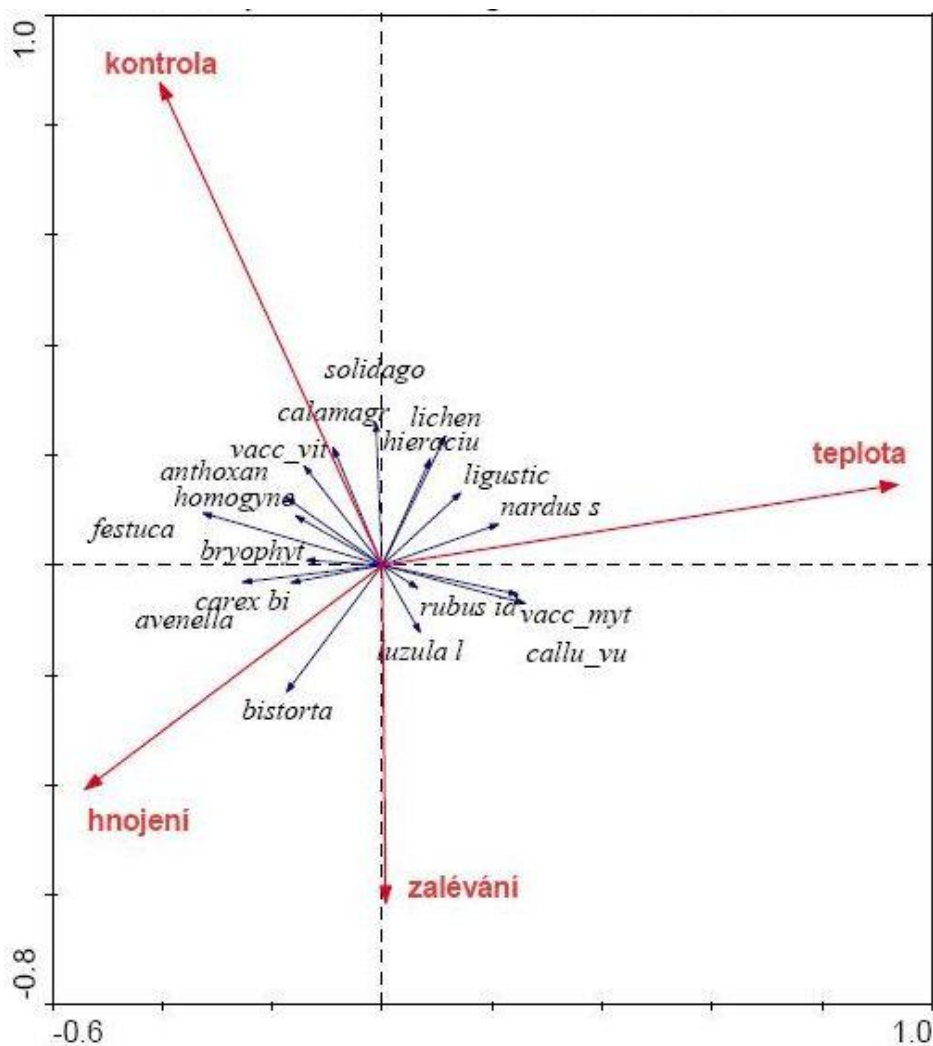
P-value = 0,2940

(499 permutations under reduced model)

**Kódování rostlinných druhů:** anthoxan – tomka alpská (*Anthoxanthum alpinum*), avenella – metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), bistorta – rdesno hadí kořen (*Bistorta major*), bryophyt – mechy, calamagr – třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*), calluna – vřes obecný (*Calluna vulgaris*), carex bi – ostřice tuhá (*Carex bigelowii*), festuca – kostřava nízká (*Festuca supina*),

hieraciu – jeřábek alpský (*Hieracium alpinum*), homogyne – podbělice alpská (*Homogyne alpina*), ligustic – koprniček bezobalný (*Ligusticum mutellina*), lichen – lišejníky, luzula l – bika bělavá (*Luzula luzuloides*), nardus s – smilka tuhá (*Nardus stricta*), rubus id – maliník obecný (*Rubus idaeus*), solidago – celík zlatobýl alpský (*Solidago virgaurea* subsp. *virgaurea*), vacciniu – brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*), vacc vit-i – brusnice brusinka (*Vaccinium vitisidaea*)

**Obr. 10.** Grafický výstup RDA analýzy pokryvnosti vegetace na úrovni celých čtverců s pohořími jako kovariátami pro rok 2010



#### Výsledky permutačního testu:

Test of significance of first canonical axis:

eigenvalue = 0,035

F-ratio = 2,769

P-value = 0,0180

Test of significance of all canonical axes:

Trace: 0,061

F-ratio = 1,666

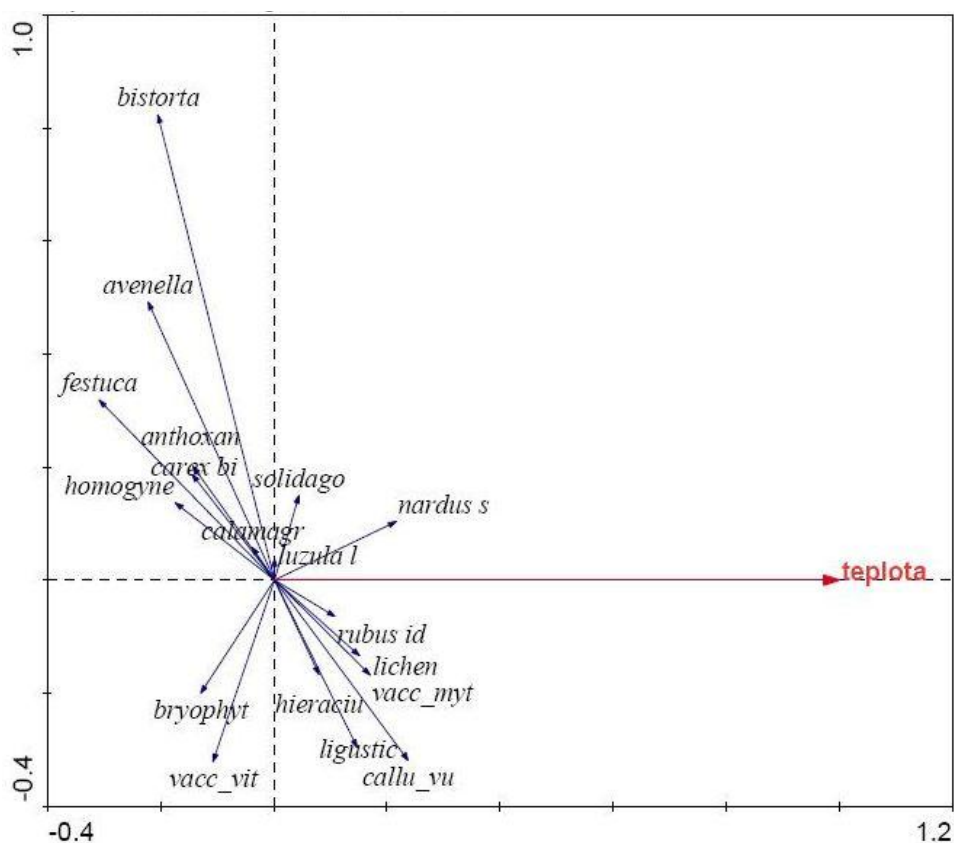
P-value = 0,0080

(499 permutations under reduced model)

**Kódování rostlinných druhů:** anthoxan – tomka alpská (*Anthoxanthum alpinum*), avenella – metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), bistorta – rdesno hadí kořen (*Bistorta major*), bryophyt – mechy, calamagr – třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*), calluna – vřes obecný (*Calluna vulgaris*), carex bi – ostřice tuhá (*Carex bigelowii*), festuca – kostřava nízká (*Festuca supina*),

hieraciu – jestřábník alpský (*Hieracium alpinum*), homogyne – podbělice alpská (*Homogyne alpina*), ligustic – koprníček bezobalný (*Ligusticum mutellina*), lichen – lišejníky, luzula l – bika bělavá (*Luzula luzuloides*), nardus s – smilka tuhá (*Nardus stricta*), rubus id – maliník obecný (*Rubus idaeus*), solidago – celík zlatobýl alpínský (*Solidago virgaurea* subsp. *virgaurea*), vacciniu – brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*), vacc vit – brusnice brusinka (*Vaccinium vitisidaea*)

**Obr 11.** Výsledek mnohonásobného RDA porovnání teploty, vůči ostatním nerozlišeným ostatním zásahům s pohořími jako kovariátami pro sezónu 2010



### Výsledky permutačního testu:

Test of significance of all canonical axes:

Trance: 0,032

F-ratio = 2,586

P-value = 0,0040

(499 permutations under reduced model)

**Kódování rostlinných druhů:** anthoxan – tomka alpská (*Anthoxanthum alpinum*), avenella – metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), bistorta – rdesno hadí kořen (*Bistorta major*), bryophyt

– mechy, calamagr – třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*), calluna – vřes obecný (*Calluna vulgaris*), carex bi – ostřice tuhá (*Carex bigelowii*), festuca – kostřava nízká (*Festuca supina*), hieraciu – jestřábník alpský (*Hieracium alpinum*), homogyne – podbělice alpská (*Homogyne alpina*), ligustic – koprniček bezobalný (*Ligusticum mutellina*), lichen – lišejníky, luzula l – bika bělavá (*Luzula luzuloides*), nardus s – smilka tuhá (*Nardus stricta*), rubus id – maliník obecný (*Rubus idaeus*), solidago – celík zlatobýl alpský (*Solidago virgaurea* subsp. *virgaurea*), vacciniu – brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*), vacc vit-i – brusnice brusinka (*Vaccinium vitisidaea*)

## 6 Diskuze

Na základě výsledků analýz druhových změn vegetace alpínských vřesovišť svazu *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion* během tří sezón bylo zjištěno, že pod vlivem manipulativních zásahů, které simulují potenciální změny prostředí, dochází ke změnám ve vegetaci. Došlo ke změnám v zastoupení i pokryvnosti druhů. Nejvýznamnější vliv na změny pokryvnosti byl prokázán u faktoru teplota. Naopak vliv faktorů nižšího řádu, konkrétně zvýšeného množství srážek a přísunu dusíku, nebyl průkazný.

Data ze tří vegetačních sezón dokazují, že vlivem manipulativních zásahů došlo ke změně v zastoupení (prezenci/absenci) druhů na plochách. V sezóně 2008 bylo na plochách zaznamenáno 14 druhů, v sezóně 2009 a 2010 bylo na plochách přítomno už 16 druhů. Nově se jedná o maliník obecný (*Rubus idaeus*), který byl zaznamenán v Jeseníkách a biku bělavou (*Luzula luzuloides*), která byla zaznamenána na Králickém Sněžníku. Zvýšení počtu druhů na plochách je v souladu s výsledky výzkumů, které proběhly v Alpách. (Gottfried *et al.* 1994, Grabherr *et al.* 1995).

Rovněž došlo ke změnám v pokryvnosti druhů, ovšem tyto změny byly průkazné pouze v sezóně 2010. V průběhu sezon 2008 – 2010 nebyly zaznamenány průkazné změny v pokryvnosti druhů. Z výsledků je patrné, že nejvýznamnější vliv na pokryvnost měla teplota. Obdobné výsledky o pozitivním vlivu teploty na změnu společenstva byly zjištěny i při dřívějších výzkumech, které ovšem byly provedeny v oblasti arktické tundry (Wahren *et al.* 2005). Naproti tomu výzkumy provedené ve Finsku dokládají, že významný vliv na vegetaci vřesovišť má kombinace teploty a dusíku. Finská studie dokládá, že u některých druhů ostřic (*Carex*) a mechů byl zaznamenán pokles početnosti pod vlivem zvýšené teploty pomocí OTC (Klanderud 2008). Ve Vysokých Sudetech se na plochách vyskytuje pouze ostřice tuhá (*Carex bigelowii*), u níž byl zjištěn podobný pokles abundance. Ostřice tuhá (*Carex bigelowii*) je velmi variabilní, širokovalentní a schopná využívat dusík v různých formách (Jónsdóttir *et* Callaghan 1990 in Banaš *et* Zeidler 2010). Mechy mohou na zvýšení teploty reagovat i pozitivně zvýšením pokryvnosti, na jejich distribuci může mít negativní vliv spíše zastínění široolistými rostlinami (Banaš *et* Zeidler 2010). Na teplotu reaguje snížením své pokryvnosti i tráva metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), která pod vlivem dusíku naopak zvyšuje svou pokryvnost.

Obecně je voda považována za jeden z nejdůležitějších faktorů v životě rostliny. Má vliv na její morfologii i fyziologii. Voda se u rostlin podílí na reprodukci i na výměně plynů (Rychnovská 1997). Ve Vysokých Sudetech nebyla reakce rostlin na zvýšené množství vody zcela jednoznačná. Významnější vliv na pokryvnost má kombinace zvýšeného množství srážek a teploty. V rámci Vysokých Sudet bylo zjištěno, že na uvedenou kombinaci pozitivně reagují zvýšením pokryvnosti především maliník obecný (*Rubus idaeus*), vřes obecný (*Calluna vulgaris*), borůvka (*Vaccinium myrtillus*) a bika bělavá (*Luzula luzuloides*). Voda nepřímo ovlivňuje koloběh látek (Banaš *et* Zeidler 2010). I když je maliník obecný (*Rubus idaeus*) druh, který pozitivně reaguje na přísun dusíku, v tomto výzkumu vykazuje pozitivní reakci spíše na kombinaci srážek a teploty. Vřes obecný (*Calluna vulgaris*) má velkou teplotní amplitudu, přesto data pro vřes z Krkonoš i Kralického Sněžníku dokládají, že pozitivně reaguje na teplotu zvýšením pokryvnosti. Borůvka (*Vaccinium myrtillus*), dle výzkumu provedených ve Švédsku, vykazuje pozitivní reakci na zvýšení teploty a přísun dusíku, na kombinaci těchto faktorů reaguje přírůstkem nadzemní biomasy (Parsons *et al* 1994), ovšem v Krkonoších zvyšuje svou pokryvnost spíše pod vlivem kombinace srážek a teploty.

Řada rostlinných druhů reaguje větším nárůstem biomasy na kombinaci teploty a přísunu dusíku (Arf *et al.* 1999 in Banaš *et* Zeidler 2010). Ta vede k dominanci konkurenčně silnějších druhů, které zastíní vzrůstově menší druhy (Wahren 2005). Tento trend se potvrdil i v případě Vysokých Sudet. Výsledky ale nelze z důvodu krátké časové škály jednoznačně interpretovat.

Mezi rostlinami jsou značné rozdíly v jejich prostorové dynamice. S ohledem na trvání výzkumu nelze jednoznačně interpretovat určitý trend vývoje. Při změně podmínek na stanovišti dojde ke změně interakcí. Výzkumy studující vliv globálních změn rozdělují vegetaci do kategorií podle funkčních skupin, konkrétně graminoidů, širokolistých bylin a keříčků, případně mechů a lišejníků (Banaš *et* Zeidler 2010). V dřívějších výzkumech bylo zjištěno, že v důsledku globálních změn dochází k šíření graminoidů (Epstein *et al.* 2000) a následnému snižování diverzity (Molau *et al.* 1998). Trávy dokážou dobře využívat dusík, to je příčinou jejich rozšiřování (Shaver *et al.* 1997). Tento trend vývoje byl prokázán i v rámci Vysokých Sudet. Pozitivní reakce v pokryvnosti na přísun dusíku byla zaznamenána u metličky křivolaké (*Avenella flexuosa*), u níž byl zároveň zaznamenán negativní vliv na teplotu. Podobně reaguje i



kostřava nízká (*Festuca supina*), u které je také průkazná negativní reakce na teplotu. Na biotopech s vyšší produkcí klesá její konkurenceschopnost. Kostřava zároveň vykazuje pozitivní vazbu spíše ke kontrolním plochám. U smilky tuhé (*Nardus stricta*) nebyla reakce na zvýšenou trofii prokázána. Smilka tuhá (*Nardus stricta*) je trsnatá, odolná tráva tuhými listy. Velmi dobře toleruje stres. V rámci tohoto experimentu bylo zjištěno, že má pozitivní vazbu na teplotu.

Širolisté byliny reagují na přísun dusíku různě. Většinou ale v kombinaci s teplotou u nich dochází k nárůstu početnosti. Zpravidla se jedná o rychle rostoucí druhy, které reagují rychlým růstem a reprodukcí. V rámci Vysokých Sudet vykazuje takovou odezvu rdesno hadí kořen (*Bistorta major*). V Krkonoších je jeho reakce kombinována s vlhkostí a na Králickém Sněžníku s teplotou. Vyšší koncentrace dusíku v prostředí podporuje u rdesna růst vegetativních i generativních částí. To zvyšuje jeho konkurenceschopnost. Naopak širolisté byliny jako koprníček bezobalný (*Ligusticum mutellina*), celík zlatobýl alpský (*Solidago virgaurea* subsp. *virgaurea*), podbělice alpská (*Homogyne alpina*) a jestřábník alpský (*Hieracium alpinum*) lze zařadit z hlediska zvýšeného přísunu dusíku mezi rostliny s negativní nebo nejednoznačnou odezvou (Banaš *et* Zeidler 2010).

Tříleté sledování zakrslých keříků, v rámci tohoto výzkumu v oblasti Vysokých Sudet, zatím neposkytuje jednoznačné závěry. A reakce nelze klasifikovat jednotně. Studie z jiných tundrových společenstev dokládají podobný závěr a rovněž neposkytují jednoznačnou odpověď. Například dlouhodobé studie dokládají zvyšování početnosti keříčků (Wahren 2005, Jonasson 1992), ale krátkodobé výzkumy z oblasti skandinávských vřesovišť interpretují snížení jejich abundance (Klanderud 2008). Dá se předpokládat, že keříčky budou pod vlivem změn prostředí kolonizovat tundru a konkurenčně slabší nižší formy budou vůči nim v nevýhodě. Tento trend se dá očekávat i ve Vysokých Sudetech (Banaš *et* Zeidler 2010). Obecně lze ale říci, že některé druhy mohou výrazně ovlivňovat celou strukturu společenstva.

Výsledky dokládají, že reakce druhů jsou mnohdy velmi odlišné. Příčinou může být analýza dat na velmi krátké časové škále. K podobnému názoru dochází i řada dalších autorů, zabývajících se reakcemi společenstev na změny globálních změn klimatu. Reakce jsou často individuální pro danou lokalitu nebo typ společenstva. Navíc typy reakcí se odvíjí od růstových forem. Pro kvalitnější záznamy je potřeba sledovat vegetaci v delším časovém horizontu (Klanderud 2008). Pro determinaci vegetační

dynamiky jsou zásadní strategie alpínských druhů rostlin vyplývající z jejich životní historie. Probíhající procesy ve vegetaci jsou ale pomalé, dlouhodobé a individuální (Banaš *et* Zeidler 2010). I přesto, že existuje řada studií, nebyla dosud vytvořena klasifikace druhů dle jejich funkčních znaků.

## 7 Závěr

Oblasti alpské tundry, včetně studovaných partií alpského bezlesí Vysokých Sudet, jsou považovány za unikátní ekosystémy, citlivé na globální změny klimatu.

Výzkum, jehož cílem bylo zjistit, jak reaguje alpská vegetace na potenciální změny klimatu, byl prováděn v Krkonoších v Modrém sedle na úbočí Studniční hory, ve vrcholové části Králického Sněžníku a v Hrubém Jeseníku na vrcholovém plató Petrových kamenů. V letech 2008 – 2010 byl v těchto oblastech prováděn manipulativní experiment, jehož účelem bylo na trvalých plochách simulovat zvýšenou teplotu, srážky a depozici dusíku, tedy faktory, které provázejí globální změny klimatu a současně sledovat reakci vegetace na tyto faktory. V každé ze tří sezón bylo prováděno sledování alpských vřesovišť svazu *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion* pomocí fytoocenologických snímků. V rámci experimentu bylo zjištěno, že pod vlivem manipulací dochází ke změnám těchto společenstev. Mění se zastoupení i pokryvnosti jednotlivých druhů.

Bylo zjištěno, že nejvýznamnější vliv na vegetaci má teplota, menší vliv má zvýšené množství srážek a depozice dusíku. Častěji ale působí na vegetaci kombinace dvou faktorů. Dle očekávání došlo k navýšení počtu druhů v plochách, kde byla manipulována teplota. Faktor zvýšeného množství srážek nevykazuje jednoznačnou odezvu, spíše v kombinaci s teplotou má vliv na zvýšení pokryvnosti některých druhů. Se zvýšeným přísunem dusíku, dochází k nárůstu biomasy. Dusík má vliv především na některé graminoidy, ti vykazují pozitivní reakci zvýšením své pokryvnosti. Na kombinaci zvýšené teploty a dusíku reaguje zvýšením pokryvnosti jen omezený počet druhů.

Výsledky experimentu nejsou zcela jednoznačné, ale i přesto lze konstatovat, že ve společenstvu alpského vřesoviště dochází po vlivem globálních změn k určitým změnám. Abychom byly schopni vyvodit přesnější závěry, bylo by potřeba zabývat se těmito rostlinnými společenstvy dlouhodobě. Předloženou práci lze chápat mimo jiné také jako podnět k dalším sledováním a výzkumům těchto jedinečných ekosystémů

## 8 Literatura

- Achermann B, Bobbink R. 2003. Empirical critical loads for nitrogen. Proceedings of an Expert Workshop, Berne 11-13 November 2002. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape, Berne, Switzerland.
- Arf AM, Walker MD, Guretvitch J, Alatalo JM, Bret-Harte MS, Dale M, Diemer M, Gugerli F, Henry GHR, Jones MH, Hollister RD, Jónsdóttir IS, Laine K, Lévesque E, Marrison GM, Molau U, Mølgaard P, Nordenhall U, Raszhivin V, Robinson CH, Starr G, Stenström A, Stenström M, Totland Ø, Turner PL, Walker LJ, Webber PJ, Welker JM, Wookey PA. 1999. Responses of tundra plants to experimental warming: met-analysis of the international tundra experiment. *Ecological Monographs* 69(4): 491-511. In: Banaš M, Zeidler M. 2010. Změny alpských ekosystémů na území KRNAP, NPR Králický Sněžník a CHKO Jeseníky v kontextu globálních změn: zpráva o řešení projektu za rok 2010. Olomouc, 125 pp
- Banaš M, Hofmeister J, Zeidler M. 2008. Změny alpských ekosystémů na území KRNAP, NPR Králický Sněžník a CHKO Jeseníky v kontextu globálních změn: zpráva o řešení projektu za rok 2008. Olomouc, 94 pp.
- Banaš M, Zeidler M. 2010. Změny alpských ekosystémů na území KRNAP, NPR Králický Sněžník a CHKO Jeseníky v kontextu globálních změn: zpráva o řešení projektu za rok 2010. Olomouc, 125 pp.
- Bliss LC. 1971. Arctic and alpine plant life cycles. *Annual Review of Ecology and Systematics* 2: 405-438.
- Britton AJ, Fisher JM. 2007. Interactive effects of nitrogen deposition, fire and grazing on diversity and composition of low-alpine prostrate *Calluna vulgaris* heathland. *Journal of Applied Ecology*. 44:125–135.
- Callaghan TV, Jonasson S. 1995. Implications for changes in Arctic plant biodiversity from environmental manipulation experiments. In: Chapin FS, Körner C. (eds.) *Arctic and alpine biodiversity: Patterns, causes and ecosystem consequences*. *Ecological Studies* 113: 151-166. Berlin: Springer Verlag.
- Demek J, Mackovčín P. 2006. Hory a nížiny. *Zeměpisný lexikon ČR*. AOPK, Brno, 582 s.
- Demek *et al.* 1987. Hory a nížiny. *Zeměpisný lexikon ČSR*. Academia, Praha 584 s.
- Epstein HE, Walker MD, Chapin FS III, Starfield MN. 2000. A transient nutrient-based model of Arctic plant community response to climatic warming. *Ecol. Applic.* 10: 824–841.
- Faltysová H, Mackovčín P, Sedláček M. 2002. Královehradecko. In: Mackovčín P, Sedláček M. [eds.]. *Chráněná území ČR, svazek V*. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno, Praha

- Gottfried M, Pauli H, Grabherr G. 1994. Die Alpen im "Treibhaus": Nachweise für das erwärmungsbedingte Höhersteigen der alpinen und nivalen Vegetation. *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt*, München, 59: 13–27.
- Gottfried M, Pauli H, Reiter K, Grabherr G. 1999: A fine-scaled predictive model for changes in species distributions patterns of high mountains plants induced by climate warming. *Diversity and Distributions* 5(6): 241-252.
- Grabherr G, Gottfried M, Gruber A, Pauli H. 1995. Patterns and current changes in alpine plant diversity. - In: Chapin FS, Körner C. (eds.), *Arctic and alpine biodiversity: patterns, causes and ecosystem consequences*, Ecological Studies 113. Springer. Berlin.167-181.
- Henry GHR, Molau U. 1997. Tundra plants and climate change: the international tundra experiment (ITEX). *Global Change Biology*. 3 (Suppl. 1)1–9.
- Chambers JC, MacMahon JA, Brown RW. 1990. Alpine seedling establishment: the influence of disturbance type. *Ecology* 71: 1323-1341
- Chapin FS, III. 1980. The mineral nutrition of wil plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11: 233 – 260
- Chapin FS, Shaver GR, Giblin AE, Nadelhoffer KJ, Laundre JA. 1995. Responses of arctic tundra to experimental and observed changes in climate. *Ecology*. 76(3): 694–711.
- Chytrý M. 2007. *Vegetace české republiky. Travinná a keříčková vegetace*. Academia. Praha
- Jeník J. 1961. *Alpínská vegetace Krkonoš, Hrubého Jeseníku a Králického Sněžníku*. Praha: ČSAV. p. 407.
- Jonasson S. 1992. Plant response to fertilization and species removal in tundra related to community structure and clonality. *Oikos*, 63, 420 – 429
- Jónsdóttir IS, Magnússon B, Gudmundsson J, Elmarsdóttir A, Hjartarson H. 2005. Variable sensitivity of plant communities in Iceland to experimental warming. *Global Change Biology* 11: 553 – 563
- Kavalcová V, Kavalec K. 2003. *Jeseníky*. In: Šafář J. a kol. Olomoucko: Chráněná území ČR, svazek IV. In: Mackovčín P, Sedláček M, editors. *Chráněná území ČR*. 1. vydání. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a Ekocentrum Brno.
- Klanderud K. 2008. Species-specific responses of an alpine plant community under simulated environmental change. *Journal of Vegetation, Science* 19: 363-372

- Klimešová J. 1993. Rostlinná společenstva alpského stupně se smilkou tuhou (*Nardus stricta*) v Hrubém Jeseníku: II. Vztah mezi smilkovými porosty a sněhovou pokrývkou. *Preslia*. 65:63–75.
- Koerner C. 1989. The nutritional status of plants from high altitudes. *Oecologia (Berlin)* 81: 379 – 391
- Koerner C. 1995. Impact of atmospheric changes on alpine vegetation: The ecophysiological perspective. – In Banaš M, Zeidler M. 2010. Změny alpínských ekosystémů na území KRNP, NPR Králický Sněžník a CHKO Jeseníky v kontextu globálních změn: zpráva o řešení projektu za rok 2010. Olomouc, 125 pp.
- Koerner C., Spehn E. 2002. Mountain biodiversity: A global assessment. Parthenon Publishnig, London, New York. 350p
- Krahulec F. 1990. Alpine vegetation of the Králický Sněžník Mts. (The Sudeten Mts.). *Preslia*. 62:307–322.
- Marion GM, Bockheim JG, Brown J. 1997. Arctic soils and the ITEX experiment. *Global Change Biology* 3. (Suppl. 1.): 33-43
- Maxwell B. 1992. Arctic climate: potential for change under global warming. In: FS III Chapin, RL Jefferies, JF Reynolds, GR Shaver, J Svoboda [eds.]: *Arctic Ecosystems in a Changing Climate. An Ecophysiological Perspective*. Academic Press. San Diego: 11–34.
- Molau U, Alatalo J. M. 1998. Responses of subarctic – alpine plant communities to simulated environmental change: biodiversity of bryophytes, lichens and vascular plants. *Ambio* 27: 322-329
- Molau U, Mølgaard P. (eds) 1996. *The International Tundra Experiment Manual*. Danish Polar Center, Copenhagen. 82p.
- Mooney HA. 1991. Biological responses to climate change: an agenda for research. *Ecological Application* 1: 112-117.
- Novák J, Petr L, Treml V. 2010. Late-Holocene human-induced changes to the extent of alpine areas in the East Sudetes, Central Europe. *The Holocene* 20(6): 895-905.
- Parsons AN, Welker JM, Wookey PA, Press MC, Callaghan TV, Lee JA. 1994. Growth responses of four sub-Arctic dwarf shrubs to simulated environmental change. *Journal of Ecology*. 82(2):307–318.
- Pauli H, Gottfried M, Grabherr G. 2003. Effects of climate change on the alpine and nival vegetation of the Alps. *Journal of Mountain Ecology* 7: 9-12

- Pearce ISK, Woodin SJ, van der Wal R. 2003. Physiological and growth responses of the montane bryophyte *Racomitrium lanuginosum* to atmospheric nitrogen deposition. *New Phytologist* 160: 145-155
- Quitt E, 1971. Klimatické oblasti Československa. *Studia geographica* 16. Geografický ústav ČSAV Brno.
- Rychnovská M. 1997. Response of grassland ecosystems to elevated resources of water and minerals: A tentative parallel to CO<sub>2</sub> enrichment and nitrogen atmospheric inputs. *Acta Universitatis Carolinae Biologica* 41: 195-202
- Sala OE, Chapin III FS, Armesto JJ, Berlow E, Bloomfield J, Dirzo R, Huber-Sanwald E, Huenneke LF, Jackson RB, Kinzig A, Leemans R, Lodge DM, Mooney HA, Oesterheld M, LeRoy Poff N, Sykes MT, Walker BH, Walker M, Wall DH, 2000: Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287: 1770–1774.
- Shaver GR, Gibli AE, Nadelhoffer K, Rastetter EB. 1997. Plant functional types and ecosystem change in the arctic tundra. In: Smith TM, Woodward IA, Shugart HH (eds) *Plant functional types*, pp. 153-173. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Schauer CJ. 1840: Über die flora des mährisch-schlesischen Gesenkes. *Flora, Regensburg*, 23: 17-31,33-41.
- Soukupová L, Kociánová M, Jeník J, Sekyra J. 1995. Arctic-Alpine tundra in the Krkonoše, The Sudetes. *Opera Corcontica*, 32:5-88.
- Šafář J. 2003. Králický Sněžník. In: Šafář J. a kol. Olomoucko: chráněná území ČR. svazek IV. In: Mackovičín P, Sedláček M, editors. *Chráněná území ČR*. 1. vydání. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a Ekocentrum Brno.
- Treml V, Banaš M. 2000. Alpine timberline in the High Sudeties. *Acta Universitatis Carolinae. Geographica*, Praha, 35: 83-99.
- Wahren CHA, Walker MD, Bret-Harte MS. 2005. Vegetation responses in Alaskan arctic tundra after 8 years of a summer warming and winter snow manipulation experiment. *Global Change Biology* 11, 537-552

[www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

[www.geog.ubc.ca/itex/](http://www.geog.ubc.ca/itex/)

## 9 Obrazová příloha

**Obr. 12.** Ilustrační pohled na lokalitu Petrovy kameny



**Obr. 13.** Ilustrační pohled na lokalitu Králický Sněžník





**Obr. 14.** Ilustrační pohled na lokalitu Studniční hora



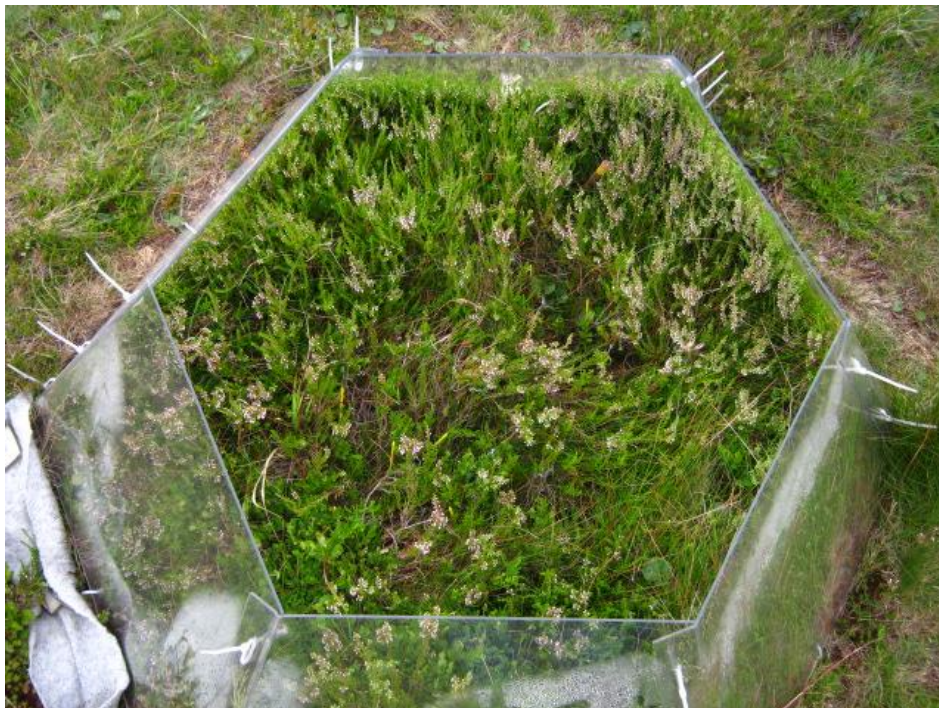
**Obr. 15.** Zařízení na jímání dešťové vody na lokalitě Petrovy kameny  
(foto: Pavlína Škrottová)



**Obr. 16.** Pohled na OTC sloužící ke zvyšování teploty na plochách



**Obr. 17.** Ilustrační pohled na vegetaci uvnitř OTC



**Obr. 18.** Ilustrační pohled na kontrolní plochu



**Obr. 19.** Pevný rám pro záznam prezence/absence druhů



**Obr. 20.** Detail pevného rámu pro záznam prezenze/absence druhů



**Obr. 21.** Kvetoucí rdesno hadí kořen (*Bistorta major*)

