

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI  
Přírodovědecká fakulta  
Katedra ekologie a životního prostředí



**Vliv simulovaných globálních změn prostředí  
na fenologii travin  
v prostředí alpské tundry**

Adéla Zentnerová

Diplomová práce

předložená

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

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

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

Olomouc 2014



Zentnerová, A. Vliv simulovaných globálních změn prostředí na fenologii travin v prostředí alpínské tundry. Diplomová práce, Katedra ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 38 s., 1 příloha, česky.

## **Abstrakt**

Práce se věnuje vlivu simulovaných globálních klimatických změn prostředí na alpínskou vegetaci. Zájmová území se nachází ve vrcholových partiích Sudetských pohoří: Jeseníky-Petrovy kameny, Vrchol Králického Sněžníku a Krkonoše-Modré sedlo v prostoru arктоalpínské tundry (biotop alpínských vřesovišť). Výzkum se zaměřil na sledování fenologických fází u čtyř alpínských graminoidů – *Avenella flexuosa*, *Festuca supina*, *Nardus stricta* a *Carex bigelowii*. Okolní teplota vzduchu byla na části ploch uměle zvyšována pomocí nainstalovaných OTC „skleníčků“. Rostliny uvnitř OTC byly vystaveny manipulovaným podmínkám prostředí: zvýšená teplota, kombinace zvýšené teploty a zalévání a kombinace zvýšené teploty a dusíkatého hnojení ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ). Čtyřletý výzkum prokázal, že nedochází ke zvýšení počtu květenství sledovaných travin pod vlivem manipulovaných podmínek prostředí. Na druhou stranu byl potvrzen vliv manipulovaných podmínek prostředí na dlouhivý růst u travin – délku květenství.

**Klíčová slova:** *Avenella flexuosa*, *Carex bigelowii*, *Festuca supina*, hnojení, *Nardus stricta*, OTC, srážky, teplota, tundra

Zentnerová, A. Influence of simulated global environmental changes on phenology of graminoids in alpine tundra. Diploma Thesis, Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacky University, Olomouc, 38 pp., 1 Appendix, in Czech.

## **Abstract**

This thesis devotes to the influence of simulated global climate change on environment Alpine vegetation. The study area is located in the highest parts of the Sudeten Mountains: Jeseníky Mts.-Peter's Stones, top of Králický Sněžník Mt. and Krkonoše Mts.-Blue Seat in the arctic-alpine tundra (alpine heathland habitat). The research focused on the monitoring of phenological phases in four alpine graminoids - *Avenella flexuosa*, *Festuca supina*, *Nardus stricta* and *Carex bigelowii*. Ambient air temperature was on the part of the sites artificially increased using installed OTCs „green-houses“. Plants inside the OTCs were exposed to manipulated environmental conditions: high temperature, the combination of increased temperature and pouring and combination of increased temperature and fertilization by nitrogen ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ). The four-year research has shown that there is no increase in the number of grass inflorescence monitored under the influence of manipulated environmental conditions. On the other hand, the effect of manipulated environmental conditions on elongation growth in grasses (the length of the inflorescence) was confirmed.

**Key words:** *Avenella flexuosa*, *Carex bigelowii*, fertilization, *Festuca supina*, *Nardus stricta*, OTC, precipitation, temperature, tundra

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Marka Banaše, Ph.D. a za použití literárních pramenů a informací, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

V Olomouci 25.4. 2014

.....

podpis

# Obsah

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>4</b>
<b>3. MATERIÁL A METODY</b> .....	<b>5</b>
3.1 Charakteristika území .....	5
3.1.1 Petrovy kameny (Hrubý Jeseník) .....	5
3.1.2 Králický Sněžník .....	7
3.1.3 Modré sedlo (Krkonoše) .....	8
3.2 Charakteristika vybraných druhů rostlin .....	10
3.2.1 Metlička křivolaká ( <i>Avenella flexuosa</i> ) .....	10
3.2.2 Kostřava nízká ( <i>Festuca supina</i> ) .....	11
3.2.3 Smilka tuhá ( <i>Nardus stricta</i> ) .....	12
3.2.4 Ostřice tuhá ( <i>Carex bigelowii</i> ) .....	12
3.3 Metodika výzkumu .....	13
3.3.1 Založení a design experimentu .....	13
3.3.2 Způsob manipulace podmínek prostředí na plochách .....	14
3.3.3 Měření fenologických charakteristik .....	15
3.3.4 Zpracování a analýza dat .....	16
<b>4. VÝSLEDKY</b> .....	<b>17</b>
4.1 <i>Avenella flexuosa</i> .....	17
4.2 <i>Festuca supina</i> .....	20
<b>5. DISKUZE</b> .....	<b>22</b>
<b>6. ZÁVĚR</b> .....	<b>29</b>
<b>7. REFERENCE</b> .....	<b>31</b>
<b>8. OBRAZOVÁ PŘÍLOHA</b> .....	<b>38</b>

## Seznam tabulek

Tab. 1 Fenologické fáze vybraných druhů rostlin.....	16
Tab. 2 Přehled výsledků analýzy ANOVA pro počet kvetoucích stébel <i>Avenella flexuosa</i> pod vlivem testovaných faktorů.....	17
Tab. 3 Přehled výsledků analýzy ANOVA pro délku kvetoucích stébel <i>Avenella flexuosa</i> pod vlivem testovaných faktorů.....	18
Tab. 4 Přehled výsledků analýzy ANOVA pro počet kvetoucích stébel <i>Festuca supina</i> pod vlivem testovaných faktorů.....	20

## Seznam obrázků

Obr. 1 Situační mapa odběru vzorků u Petrových kamenů.....	6
Obr. 2 Situační mapa odběru vzorků u vrcholu Králického Sněžníku.....	8
Obr. 3 Situační mapa odběru vzorku u Studniční hory.....	10
Obr. 4 Schéma přiřazení konkrétního typu zásahu na experimentálních plochách ...	14
Obr. 5 Grafický výstup analýzy ANOVA pro počet kvetoucích stébel <i>Avenella flexuosa</i> a rozdíl mezi sledovanými roky a typem zásahu .....	17
Obr. 6 Grafický výstup analýzy ANOVA pro souhrnný počet kvetoucích stébel <i>Avenella flexuosa</i> a rozdíl mezi zásahy.....	18
Obr. 7 Grafický výstup analýzy ANOVA pro délku kvetoucích stébel <i>Avenella flexuosa</i> a rozdíl mezi sledovanými roky a typem zásahu. ....	19
Obr. 8 Grafický výstup analýzy ANOVA pro souhrnnou délku kvetoucích stébel <i>Avenella flexuosa</i> a rozdíl mezi zásahy. ....	19
Obr. 9 Grafický výstup analýzy ANOVA pro počet kvetoucích stébel <i>Festuca supina</i> a rozdíl mezi sledovanými roky a typem zásahu.....	20
Obr. 10 Grafický výstup analýzy ANOVA pro souhrnný počet kvetoucích stébel <i>Festuca supina</i> a rozdíl mezi zásahy .....	21



## **Poděkování**

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce RNDr. Marku Banašovi, Ph.D. za cenné rady a RNDr. Martinu Duchoslavovi, Ph.D. za pomoc s analýzou statistických dat. Dále bych také poděkovala Romanu Březinovi a mé rodině za trpělivost a všestrannou podporu. V neposlední řadě i všem kolegům, kteří se podíleli na sběru dat.



# 1. ÚVOD

S očekávanými klimatickými změnami nabývá fenologie stále více na významu. Je to věda zkoumající časový průběh periodicky se opakujících projevů rostlin (Krška 2006). Vyhodnocování fenologických fází může sloužit jako bioindikátor klimatických změn (Bednářová a Merkllová 2007). Stále více pozornosti se věnuje změně klimatu, které ovlivňuje funkci rostlin v různých koutech světa (Cleland *et al.* 2007, Prieto *et al.* 2009). Důležitým nástrojem výzkumu se stalo sledování fenologických fází rostlin, které vyjadřují biologické hranice, zkoumající požadavky rostlin na podmínky vnějšího prostředí (Bednářová *et al.* 2008).

Dotčeny budou zejména systémy související s vodou v kapalném i pevném skupenství. Na územích velkého plošného rozsahu byly zaznamenány dlouhodobé trendy v nárůstu či naopak poklesu srážkových úhrnů. V rámci Euroasijského kontinentu se v některých oblastech (s výjimkou jižních částí kontinentu) počítá spíše s nárůstem srážek. Navíc se zvýšila četnost výskytu silných srážek nad většinou pevninských oblastí, což souvisí s nárůstem teploty a zvýšením obsahu vodní páry v atmosféře. Srážky by se mohly lokálně zvýšit o 15% (Maxwell 1992), ačkoliv předpovědi, týkající se srážkových změn jsou méně jisté než teplotní.

Řada prací se shoduje v tom, že mezi ekosystémy velmi citlivé na globální změny prostředí patří alpské bezlesí (Markham *et al.* 1993, Beniston 1994, Bobbink a Roelofs 1995, Walther *et al.* 2002). V alpských ekosystémech se vyskytuje řada vzácných druhů rostlin, které jsou přizpůsobeny na extrémní podmínky prostředí (Campbell *et al.* 1991).

Studie IPCC dokládá, že biosféra Země prochází a bude procházet relativně rychlým procesem klimatických změn (McCarthy *et al.* 2001). Nárůst extrémních projevů počasí se v současné době může objevovat nezávisle na klimatických trendech roku (IPCC 2007). Důležité je si uvědomit, že těmto trendům není vystaveno jen prostředí hor na hranici lesa po celém světě, ale také jiné ekosystémy (Krajick 2004).

Ke stále zvyšující se teplotě vzduchu dochází v posledních několika desítkách let (Krajick 2004). Růst teploty byl zaznamenán i v posledních 50ti letech, kdy teplota byla téměř dvakrát vyšší ve srovnání s předchozím obdobím ( $0,13\text{ °C} \pm 0,03\text{ °C}$  proti  $0,07\text{ °C} \pm 0,02\text{ °C}$ ) (Trenberth *et al.* 2007). V souladu se současnými modely

možných změn a dopadů lze odvodit, že nejmenší vliv teploty se projeví v tropických oblastech a nejsilnější ve vysokých zeměpisných šířkách (Hall 1988, Körner 1999). Nejvýraznější projev bude nejspíše v západní Evropě a v některých částech Asie (Diaz a Bradley 1997). Vegetace se vzrůstající teplotou bude migrovat do vyšších poloh. Dojde k narušení úzkých, teplotou determinovaných vegetačních stupňů a vegetace vyšších vegetačních stupňů bude ohrožena (Peters a Darling 1985, Ozenda a Borel 1991). Horskou vegetaci je možné využít jako velmi citlivý ekologický indikátor vlivů klimatických změn především pro svou nízkou biotickou komplexitu. Vliv klimatu a jejich změn ve vegetaci je více patrný, než na vegetaci nižších vegetačních pásů (Pauli *et al.* 2003).

V horském prostředí jsou vodní srážky nahodilým jevem. Ekologický vstup vody do vegetace a půdního prostředí jsou považovány nejen srážky vertikální, ale i horizontální, které mohou ovlivnit zastoupení některých látek v prostředí (Elias *et al.* 1995). Prognóza vývoje srážek pro alpské pásmo ve střední Evropě není jednoznačná. Změny v trendech ve vývoji klimatu podle historických záznamů lze modelovat. Obecně lze očekávat extrémní chod srážek, jako je výskyt neobvyklých deštivých a delších suchých období (Casty *et al.* 2005, Burkhardt 1999).

Chodem teplejší klimatologické periody dochází k posunu k sušším podmínkám a na druhé straně k extrémním srážkovým událostem (Beniston *et al.* 1997). Poměr mezi teplotami a srážkovými extrémy je v tuto chvíli náročné kvantifikovat. V oblasti střední Evropy se očekává vzrůst průměrné teploty o 2°C. Zvýšením teploty v Alpách vyvolá extrémní chod srážek. Předpověď pro jižní oblasti je nárůst srážek o 30% (Schaer *et al.* 1996). Změna klimatických podmínek s sebou přináší nárůst teplot a změny ve srážkové činnosti (Trenbert 1999). Důsledek zvýšení obsahu půdní vlhkosti může způsobit změny v terestrických ekosystémech (Austin *et al.* 2004). Experimentální studie předpokládají výraznou změnu v produkci nadzemní rostlinné biomasy (Fay *et al.* 2003), které mění distribuci a dynamiku vody v půdě (Harper *et al.* 2005).

Mnoho horských ekosystémů středních výšek v Evropě se v posledních desetiletích potýká se zvýšenou dostupností minerálních látek především jako důsledek činnosti člověka. Globální změny se projevují nejen ve změně srážkových úhrnů a teplotním režimu, ale také v podobě větší dostupnosti dusíku. Dostupnost dusíku bývá nejběžnější živinové omezení v růstu rostlin (Epstein 1972, Chapin 1980). Zásadní je i pro kompozici rostlinných společenstev (Lee 1998). Koncentraci

dusíkatých látek z atmosféry jsou nejvíce vystaveny horské oblasti severní polokoule (Soudzilovskaia *et al.* 2007). Společenstva alpské tundry se vyvíjela v podmínkách s nízkou dostupností dusíku. Zvýšená přítomnost dusíku v těchto biotopech je považována za antropogenní jev (Britton a Fisher 2007). Ekosystémy s nízkým obsahem minerálních látek jako je alpská či arktická tundra vykazují nepatrné odezvy vůči nárůstu minerálních látek. Zřejmě se jedná o adaptaci ve způsobu využívání a přijímání minerálních látek (Chapin 1980, 1991). Odezvy celého společenstva nemusí být stejné, jedná se o komplex fyziologických charakteristik a požadavků jednotlivých skupin rostlin. Každý jednotlivý zástupce ve společenstvu může vykazovat individuální odpovědi na prostředí (Chapin a Shaver 1985). Vzrůstající koncentrace dusíkatých látek v alpských ekosystémech vede ke stimulaci růstu a na straně druhé k potlačení některých alpských rostlin. Zvýšená dostupnost dusíku způsobuje narušení rovnováhy mezi prvky. Některé druhy rostlin budou zvýhodněny a některé budou znevýhodněny ve společenstvu (Bobbink *et al.* 1998). Zvýšení přísunu dusíkatých hnojiv bude znamenat změnu alpských společenstev (Körner 1995). Dusík se kumuluje v biomase rostlin, což vede k nižší efektivnosti využití dostupného dusíku a změnám v zastoupení druhů ve společenstvu (Bobbink *et al.* 1998, Stevens *et al.* 2004). Skupiny gramoidů využívají zvýšené zastoupení dusíku v prostředí, které jim umožňuje rychleji se šířit. Vlivem rychlého nárůstu dochází k omezení pomalu rostoucích druhů, které má za následek snížení diverzity rostlinných společenstev (Epstein *et al.* 2000, Molau a Alatalo 1998).

Očekávané klimatické změny v alpské a arktické tundře řeší výzkumný projekt International Tundra Experiment (ITEX) od roku 1990. Cílem projektu je monitoring fenologických, růstových a reprodukčních fází u cévnatých rostlin. Experiment probíhá v celém biomu tundry a studuje klimatické změny a manipulaci životního prostředí. Metodika, která je zadána umožňuje srovnání sebraných dat a poznatků z celého světa (Henry a Molau 1997).

Ve střední Evropě se nacházejí alpské ekosystémy v ostrůvkovitém rozmístění. Jsou stále více náchylné na probíhající klimatické změny. Proto je důležitý fenologický výzkum vegetace vrcholových partií Hrubého Jeseníku, Králického Sněžníku a Krkonoš, z hlediska predikce vlivu globálních změn prostředí na alpskou vegetaci.

## 2. CÍLE PRÁCE

### Cílem této práce je:

- Zjistit, zda dochází pod vlivem změněných faktorů prostředí (teploty, zalévání, hnojení) k nárůstu počtu kvetoucích stébel dvou druhů trav: *Avenella flexuosa* (metlička křivolaká) a *Festuca supina* (kostřava nízká).
- Zjistit, jestli mají změněné faktory prostředí (teploty, zalévání, hnojení) vliv na délku stébel *Avenella flexuosa* a *Festuca supina*.
- Zjistit, zda se liší fenologické reakce studovaných druhů trav pod vlivem jednotlivých změněných faktorů prostředí v jednotlivých fenologických letech (2008-2010) a provést porovnání s bezzásahovými (kontrolními) plochami.
- Zjistit, jak se liší či shodují fenologické reakce sledovaných travin, pod vlivem změněných faktorů prostředí a porovnat je s ostatními kolegy v rámci projektu MŽP Vědy a výzkum (VaV).

Diplomová práce spadá do projektu financovaného Ministerstvem životního prostředí, řešícího problematiku poklesu biodiverzity. Výsledky této práce mohou být použitelné pro mezinárodní srovnání dopadu klimatických změn na tundrové ekosystémy v rámci projektu ITEX (The International Tundra Experiment).

## 3. MATERIÁL A METODY

### 3.1 Charakteristika území

Sledované lokality se nacházejí ve třech vrcholových partiích alpínského bezlesí v oblasti Hrubého Jeseníku, Králického Sněžníku a Krkonoš. Jedná se o oblasti s obdobnými klimatickými podmínkami i složením vegetace. Experimentální plochy byly konkrétně založeny v blízkosti Petrových kamenů v Hrubém Jeseníku, na vrcholu Králického Sněžníku a v Modrém sedle pod Studniční horou v Krkonoších. Projekt byl situován ve společenstvu alpínských vřesovišť svazu *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion* (Br.-Bl. in Br.-Bl. a Jenny 1926).

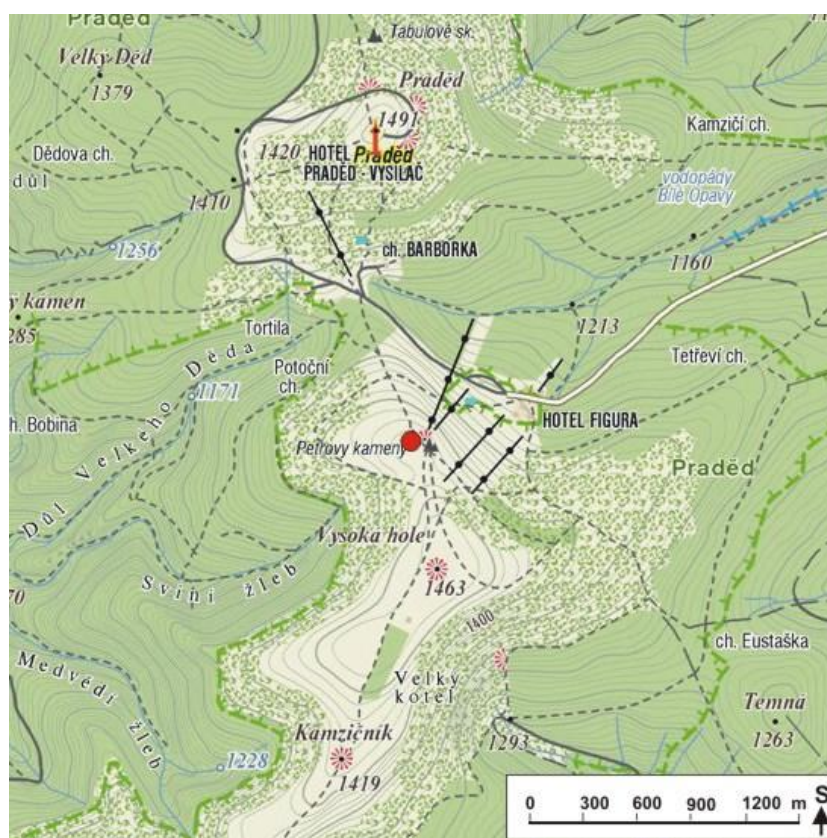
#### 3.1.1 Petrovy kameny (Hrubý Jeseník)

Studovaná lokalita se nachází v CHKO Jeseníky, v NPR Praděd v blízkosti Petrových kamenů v nadmořské výšce 1440 m n. m. Celé území spadá do katastru Malá Morávka, v okrese Bruntál, v Moravskoslezském kraji. Experimentální plochy byly situovány přibližně 60 m západně od vrcholové skály Petrových kamenů (Obr. 1) v nadmořské výšce 1430 m n. m. a zaměřeny (GPS: 50°4'6'' N a 17°13'53'' E).

Z geologického hlediska patří Hrubý Jeseník do moravsko-slezské zóny Českého masivu. Na jeho budování se podílely krystalické horniny desenské klenby a jejího obalu, především (migmatity, ruly, svory, kvarcity a fylity). Území bylo modelováno v glaciálu a postglaciálu (Šafář *et al.* 2003). Geomorfologicky spadá do Krkonoško-jesenické soustavy (Demek *et al.* 1987). Nejvyšším bodem je hora Praděd s nadmořskou výškou 1491,3 m n. m. V Hrubém Jeseníku vzniklo vlivem chladného klimatu mnoho periglaciálních útvarů (polygonální půdy, kamenná moře, suťové proudy). Půdy jsou v nejvyšších polohách zastoupeny kambizemními podzoly. Jsou to mělké až středně hluboké půdy s mocnou vrstvou humusu a silně kyselé. V okolí Petrových kamenů se nacházejí polygonální a girlandové půdy. Hrubý Jeseník leží na rozhraní dvou klimatických oblastí, kontinentálního klimatu a doznívajícího oceánického klimatu. Charakteristickými podmínkami jsou vysoká reaktivní vlhkost a převládající západní větrné proudění se značným množstvím srážek (Šafář *et al.* 2003). Podle Quitta (1971) spadají hřbety nad 1200 m n. m. do oblasti

CH<sub>4</sub>, která je v České republice nejchladnější. V nejvyšších vrcholových polohách panuje drsné, vlhké, a větrné klima. Průměrná roční teplota na Pradědu je 0,9 °C a roční úhrn srážek je cca 1400 mm (Šafář *et al.* 2003).

Současná flóra a vegetace je výsledkem dlouhodobého vývoje od poslední doby ledové. Území spadá do fytogeografické oblasti oreofytika. Převažuje zde extrazonální horská vegetace montánního až subalpínského stupně (Šafář *et al.* 2003). Charakteristickým společenstvem je alpínská keříčková vegetace svazu *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion*. Na vyfoukávaných místech mechanicky ovlivňovaných větrem a sněhem najdeme vegetaci svazu *Juncion trifidi* a zapojených alpínských trávníků svazu *Nardo strictae-Caricion bigelowii*. Mezi diagnostické druhy patří metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), kostřava nízká (*Festuca supina*), doplněná vřesem obecným (*Calluna vulgaris*), brusnicí borůvkou (*Vaccinium myrtillus*), ostřicí tuhou (*Carex bigelowii*), mechorosty a lišejníky (*Cetraria islandica*, *Cladonia spp.*) (Chytrý 2010).



**Obr. 1** Situační mapa odběru vzorků u Petrových kamenů.  
Zdroj: www.mapy.cz

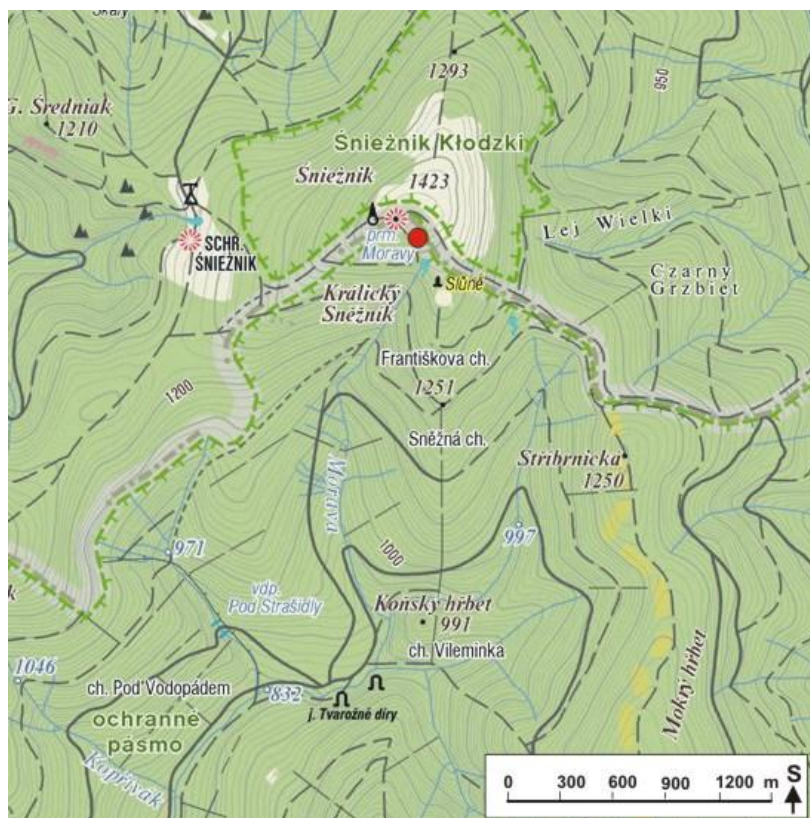


### 3.1.2 Králický Sněžník

Zájmové území se nachází v NPR Králický Sněžník v nadmořské výšce 1424 m n. m. (Vágnerová *et al.* 2003). Celá oblast spadá do katastrálního území Horní Morava, v okrese Ústí nad Orlicí, v Pardubickém kraji. Experimentální plochy byly umístěny cca 150 m jihovýchodně od vrcholu Králického Sněžníku (Obr. 2) a přesně zaměřeny (GPS: 50°12'25'' N a 16°50'51'' E). Jedná se o jeden ze tří nejvyšších vrcholů sudetského pohoří zasahujícího až do alpského bezlesí.

Králický Sněžník patří mezi pohoří s nejvyšší střední nadmořskou výškou (930,9 m) a nejvyšším středním sklonem svahů 15°. Z geologického hlediska je řazen do západosudetské oblasti luga. Je tvořen krystalickými horninami proterozoického až paleozoického stáří, tzv. sněžnickou rulou. Jedná se o kerné pohoří, které je v západní části vymezeno kladským zlomem (Vágnerová *et al.* 2003). Geomorfologicky spadá do Krkonoško-jesenické soustavy (Demek *et al.* 1987). Nejvýše položené části pohoří byly v pleistocénu modelovány periglaciálními procesy. Vlivem nivace a mrazového zvětrávání vznikly mrazové sruby, skalní hradby, kamenná moře a kryogenní tvary. Půdy jsou litozemě a rankery, dále jsou zde zastoupeny alpské půdní formy a rašelinistní vrchovištní půdy (Vágnerová *et al.* 2003). Klima dle Quitta (1971) náleží do chladné oblasti CH4 s typickým krátkým vlhkým létem a dlouhotrvající zimou. Průměrná roční teplota je 5 °C a srážky kolem 1000 mm. Ve vrcholových partiích klesá průměrná roční teplota na 3 až 1 °C a roční úhrn srážek je vyšší než 1200 mm (Vágnerová *et al.* 2003).

Pouze ve vrcholové části, v prostoru nad horní hranicí lesa Králického Sněžníku, se nachází alpská vegetace. Společenstva jsou v těchto místech ovlivňována deflací, vlivem nerovnoměrně rozmístěnému sněhu (Krahulec 1990). Pro tuto oblast je charakteristická mozaika alpské keříčkové vegetace svazu *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion*, vyfoukávané alpské trávníky svazu *Juncion trifidi* a zapojených alpských trávníků svazu *Nardo strictae-Caricion bigelowii*. Diagnostickými druhy této oblasti jsou metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), kostřava nízká (*Festuca supina*), ostřice tuhá (*Carex bigelowii*), z nízkých keříčků to jsou vřes obecný (*Calluna vulgaris*), šicha černá (*Empetrum hermaphroditum*) a brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*). A další jako jsou např. jestřábník alpský (*Hieracium alpinum*), vranec jedlový (*Huperzia selago*), puklérka islandská (*Cetraria islandica*) (Chytrý 2010).



**Obr. 2** Situační mapa odběru vzorků u vrcholu Králického Sněžníku.  
Zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)

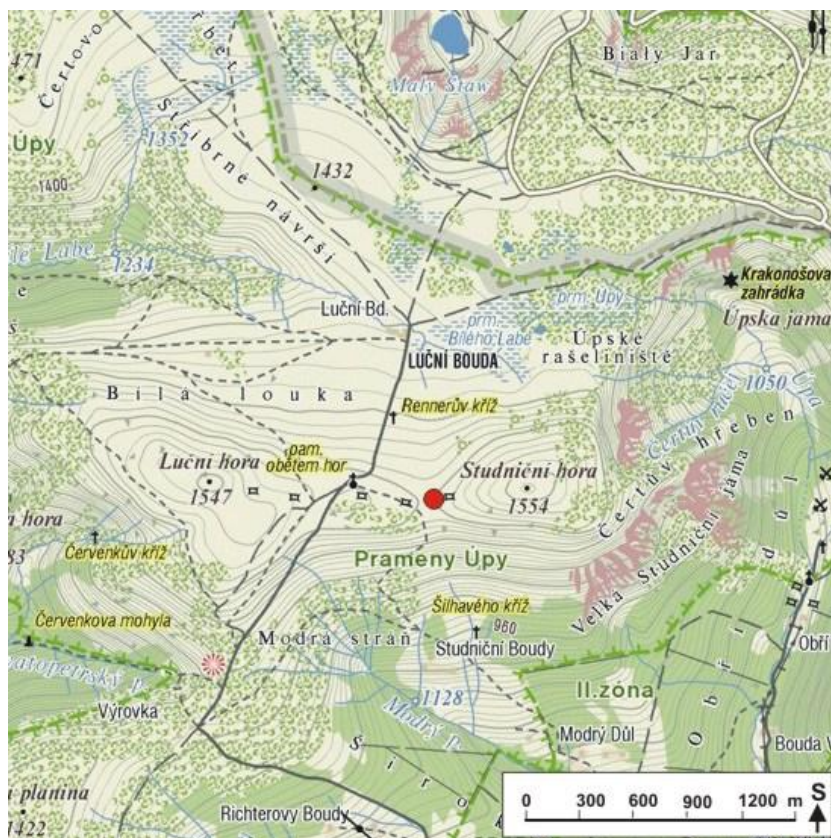
### 3.1.3 Modré sedlo (Krkonose)

Studované území se nachází mezi Luční a Studniční horou v první zóně NP Krkonose v nadmořské výšce 1495 m n. m. Administrativně území spadá do katastru obce Pec pod Sněžkou, v okrese Trutnov, v Královéhradeckém kraji. Experimentální plochy byly založeny cca 500 m západně od vrcholu Studniční hory (Obr. 3) a přesně zaměřeny (GPS: 50°43'37'' N, 15°42'22'' E).

Krkonose společně s předchozím Hrubým Jeseníkem a Králickým Sněžníkem se označují jako Vysoké Sudety. Představují výrazný horský masiv, který je nejvyšším ze soustavy geologicky starých, prvohorních, nevápencových evropských středohor, tzv. Hercynidů (Štursa a Dvořák 2009). Většina území NP Krkonose náleží do krkonošsko-jizerského krystalinika. Území je tvořeno převážně metamorfovanými horninami a krystalickými břidlicemi - svory, fylity, ortoruly (Faltysová *et al.* 2002). Z geomorfologického hlediska spadají do Krkonošsko-jesenické soustavy (Demek *et al.* 1987). V nejvyšších polohách Krkonoš se vyskytují tzv. alpínské a arktické půdy, odpovídající kyselým rankerům. Dominantními půdami jsou podzoly a na vrcholových plošinách organozemě. Vytvořily se zde i

mrazové půdní formy (polygonální a mrazem tříděné půdy a kryoplanační terasy). Výrazný vliv na klima Krkonoš má tvar georeliéfu a orientace svahů (Faltysová *et al.* 2002). Podle Quitta (1971) jsou vrcholové partie zařazeny do chladné klimatické oblasti (CH4) s dlouhou, velmi chladnou a vlhkou zimou s dlouhotrvající sněhovou pokrývkou, chladným jarem, velmi krátkým vlhkým létem a mírně chladným podzimem. Krkonoše jsou srážkově nejbohatší. Roční úhrn atmosférických srážek se pohybuje v průměru okolo 700 mm v podhůří po 1400 mm v horských údolích. Průměrná roční teplota vzduchu na Sněžce je kolem 0,2 °C (Faltysová *et al.* 2002).

Nezalezněné hřebeny Krkonoš se staly spojovacím článkem a důležitou biogeografickou křižovatkou, kde došlo ke sblížení severské a alpské přírody. Vrcholové partie Krkonoš pokrývá arктоalpínská tundra, která je charakteristická nízkým vzrůstem a vysokým zastoupením lišejníků a mechorostů (Štursa a Dvořák 2009). Typickým společenstvem pro tuto oblast je jako u předcházejících dvou území alpská keříčková vegetace svazu *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion*, vyfoukávané alpské trávníky svazu *Juncion trifidi* a zapojené alpské trávníky svazu *Nardo strictae-Caricion bigelowii*. Diagnostické druhy jsou taktéž obdobné metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), kostřava nízká (*Festuca supina*), vřes obecný (*Calluna vulgaris*), brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*), jestřábník alpský (*Hieracium alpinum*), podbělice alpská (*Homogyne alpina*). V hojnějším počtu se zde vyskytuje ostřice tuhá (*Carex bigelowii*) a smilka tuhá (*Nardus stricta*) (Chytrý 2010).



**Obr. 3** Situační mapa odběru vzorku u Studniční hory.  
Zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)

## 3.2 Charakteristika vybraných druhů rostlin

### 3.2.1 Metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*)

Metlička křivolaká *Avenella (Deschampsia) flexuosa* (L.) Drejer. je řazena do čeledi lipnicovitých. Jedná se o našedle nebo svěže zelenou trvalku. Ke kvetení květů jednoho jedince nedochází současně (Beddows 1931). K šíření semen dochází převážně větrem, na strmých svazích i deštěm. Semena jsou obvykle v závislosti na typu stanoviště rozšiřována od srpna.

Tento kosmopolitní druh má těžiště rozšíření v temperátních a subarktických zónách. V Evropě rozšíření sahá od Gibraltaru po Skandinávii (Dahl 1934 in Scurfield 1954). Na východě zasahuje až k Japonsku a Aleutským ostrovům (Gibbs 1914 in Scurfield 1954). Západní rozšíření sahá k Islandu a Grónsku. Na východě Severní Ameriky zasahuje až k Severní Karolíně (Wright 1911 in Scurfield 1954). Ve Švýcarsku byla zaznamenána až v nadmořské výšce 2740 m n. m. (Braun-Blanquet a Rikli 1932).

Zmiňovaný travinný druh má široké ekologické rozpětí v rámci jediné klimatické zóny. Metlička je běžným druhem na subalpínských loukách, nížinných vřesovištích a kopcovitých pastvinách. Hojně se vyskytuje na sušších rašeliništích, méně na špatně odvodněných místech. Preferuje také lesy s dominancí jehličnanů, dubů (*Quercus petraea*), jeřábů (*Sorbus aucuparia*) a břízou (*Betula* spp). Často kolonizuje sutě anebo větrem, vodou a ledem erodovaná místa především ve vrcholových pastvinách, mokřinách a vřesovištích. Nalézáme ji v odvodněných, sušších, strmých a méně také exponovaných místech (Scurfield 1954).

Substrát pro růst metličky je písek, hrubý písek až štěrk. Nalézáme ji také na břidlici i na půdách s kyselou reakcí. Výskyt metličky na písčích, ledovcových morénách a morénových hlínách je velice vzácný nebo zcela chybí (Scurfield 1954).

Popisovaný travinný druh patří mezi světlomilné druhy. Roste a kvete především na plném světle, ale snáší i sníženou intenzitu světelného záření. Rozdíly mezi kvetením v mírném stínu a hlubokém stínu jsou značná, např. v mírném stínu jsou listy dlouhé a zaoblené, v hlubokém stínu jsou listy tenčí, povadlé a skloněné. Trsovité struktury metlička vytváří na otevřených místech, kde její růst je nejúspěšnější (Jowett a Scurfield 1954 in Scurfield 1954).

### 3.2.2 Kostřava nízká (*Festuca supina*)

Kostřava nízká *Festuca supina* Schur. je sivě zelená trsnatá tráva náležící do čeledi lipnicovitých. Patří mezi trsnaté pomalu rostoucí trávy zimních zelených trávníků. Obvykle se vyskytuje v rozsáhlých neúrodných pastvinách a skalnatých stanovištích. Ve Velké Británii je druhem, který se vyskytuje na neúrodných pastvinách. Na našich pastvinách má jedinečné postavení, protože vytváří vysokou pokryvnost, jak na vápnatých, tak kyselých půdách. V Místech s vyšší produkcí již natolik nedominuje, protože klesá její význam ve prospěch rychleji rostoucích druhů s širšími listy (př. *Agrostis capillaris*; (Mahmoud a Grime 1976 in Grime *et al.* 1986). Kostřava je citlivá na vypalování, často se nachází u okrajů cest a snáší malé utužení půdy. Patří mezi stres tolerující druhy (Grime *et al.* 1986). Semena nemají období klidu a mají tendenci klíčení v pozdním létě. V dormantním stádiu setrvávají na chladnějších místech a klíčí až od jara (Harmer a Lee 1978 in Grime *et al.* 1986).

V horském prostředí se zpravidla vyskytuje na rozsáhlých plochách a zvláště hojně ve vysokohorských pastvinách, vřesovištích a rašeliništích. Často se vyskytuje

na suťových svazích, skalnatých výchozech a útesech. Bohaté porosty vznikají na půdách ve velkém rozsahu pH, ale nejvíce kolem pH 5,0-7,5 (Grime *et al.* 1986).

### 3.2.3 Smilka tuhá (*Nardus stricta*)

Smilka tuhá *Nardus stricta* L. je hustě a pevně trsnatá tráva z čeledi lipnicovitých. Řadí se mezi dlouhověké, stres tolerantní druhy trav. Obvykle tvoří jednu z hlavních složek neúrodných pastvin a vřesovištní vegetace na kyselých půdách. Mimořádně hojný výskyt bývá v horských oblastech s vydatnými dešťovými srážkami. Nadzemní biomasa je velice špatně stravitelná pro býložravce především pro ovce, navíc je chudá na vápník. Druh je citlivý na vypalování a stříhání, ale dokáže znovu osidlovat vypálené plochy. Také je tolerantní k utužené půdě. Schopnost regenerace je hlavně ovlivněna rozvětveným kořenovým systémem a produkcí dceřiných rostlin z oddenků. Trsy trávy se mohou šířit rychlostí až 20 mm za rok (Jeffreys 1917). Šíření pomocí semen v zapojené vegetaci se ukázalo jako méně důležité. Významnější roli má v kolonizaci holých půd (Grime *et al.* 1986).

Rozšířena je po celé Evropě, ale v jižních částech kontinentu je omezena pouze na vysokohorské oblasti (Hylander 1953). Vyskytuje se také na vypásaných kyselých pastvinách, rašeliništích, vřesovištích, kamenných svazích a lehce zastíněných lesích. Největší výskyt je v kyselých horských pastvinách. Upřednostňuje spíše biotopy s relativně malým podílem nechráněné půdy. Téměř se nevyskytuje v zastíněných skeletovaných a zaplavovaných biotopech. Rozšíření bývá velmi ovlivněno reakcí stanoviště, zvláště na půdách s pH < 4,0 (Grime *et al.* 1986).

Vyskytuje se na mnoha půdních typech včetně hnědozemě, podzolu, glejových půd, rašelinového podzolu a rašeliny. Nejvíce úrodná je na substrátu, který je relativně chudý na vápník (Bradshaw 1958).

Smilka je součástí mnoha rostlinných společenstev sahajících do jejího areálu rozšíření. V první řadě zde patří biotopy s dlouho ležícím sněhem, případně společenstva nacházejících se na písčinách (Chadwick 1960).

### 3.2.4 Ostřice tuhá (*Carex bigelowii*)

Ostřice tuhá *Carex bigelowii* Torrey ex Schweinitz patří mezi jednoděložné rostliny z čeledi šáchorovitých. Řadí se mezi cirkumpolární arkticko-montánní druh (Preston a Hill 1997).

Vyskytuje se v celé Evropě, kde má rozšíření zřetelnou vazbu na severní oblasti kontinentu - Německo, Českou republiku, Norsko, Polsko, Finsko a Island. Ostřice se přirozeně vyskytuje na Britských ostrovech s hlavním místem výskytu ve Skotsku. Dále ji lze nalézt v hornatých oblastech Pennines a Lake District v severní Anglii (Brooker *et al.* 2001).

Ostřice je druhem neutrálních půd, její výskyt není vázán na konkrétní půdní typ. Nachází se na půdách s velkým rozsahem obsahu vápníku a pH od půd oligotrofních až eutrofních (Gjaerevoll 1956). Častěji se vyskytuje na půdách s nižším pH, vlivem vzniku podmínek prostředí. Ostřice dokáže využívat amoniakální i dusíkatou formu dusíku, která jí umožňuje růst jak na kyselých, tak alkalických půdách (Jónsdóttir a Callaghan 1990).

### 3.3 Metodika výzkumu

#### 3.3.1 Založení a design experimentu

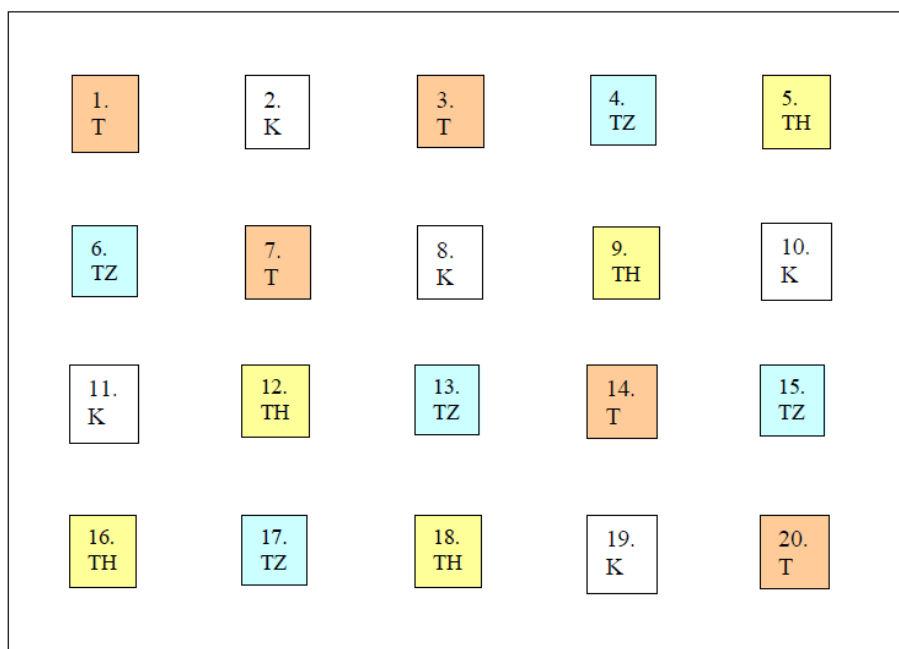
V roce 2008 bylo na zájmových lokalitách Petrovy kameny (Hrubý Jeseník), vrchol Králického Sněžníku a v Modrém sedle (Krkonoše) vybráno 20 čtvercových ploch, které byly od sebe vzdáleny minimální pufrační zónou 1,5 m. Každá jednotlivá plocha měla rozměr 0,5 x 0,5 m a v rozích byla vytyčena kovovými kolíky s čísly. Založení ploch proběhlo hned po odtání sněhu v r. 2008 a to konkrétně v Jeseníkách 24.4., na Králickém Sněžníku 29.4. a v Krkonoších 16.5. Trvalé plochy byly založeny s ohledem na obdobné složení půdy, sklon terénu a expozici (Molau a Mølgaard 1996). Výběr se řídil homogenitou sledovaného typu vegetace v porostech alpských vřesovišť svazu *Loiseleurio procumbentis-Vaccinion* (Kočí 2007). Dalším kritériem výběru bylo, zastoupení všech sledovaných druhů v každé ploše pro fenologické šetření, tj. metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), kostřava nízká (*Festuca supina*), smilka tuhá (*Nardus stricta*) – pouze v Krkonoších, ostřice tuhá (*Carex bigelowii*) – pouze v Krkonoších.

Na založených plochách byly pomocí skleničků uměle změněny tři důležité abiotické faktory prostředí: teplota, množství vody a koncentrace dusíku. Prvních pět náhodně vybraných ploch bylo vystaveno vlivu zvýšené teploty (T). Druhá pětice byla pod vlivem kombinace zvýšené teploty a zvýšeného množství vody – zaléváním (TZ), další pětice byla vystavena vlivu zvýšené teploty a vyšší koncentraci dusíku –



hnojením (TH). Poslední pětice ploch zůstala bez zásahu – kontrolní (K). Každý zásah byl aplikován na každé pohoří v pěti opakováních. Jednotlivým číslům trvalých ploch byly náhodně přiřazeny konkrétní typy zásahů, přičemž byla zachována vazba číslo plochy-typ zásahu na všech třech lokalitách (Obr. 4).

Během celé vegetační sezóny byly plochy pravidelně navštěvovány a kontrolovány fenologické změny v reakci na změněné podmínky prostředí. U zástupců trsnatých trav: metlička, kostřava, smilka, byly sledovány všichni kvetoucí jedinci v ploše a zjištěn počet kvetoucích stébel a délka stébel. U zástupce netrsnaté trávy: ostřice, bylo na každé z dvaceti ploch vybráno a různě barevnými kovovými drátky označeno 5 jedinců. Z toho celkový počet byl 100 jedinců na každém pohoří.



**Obr. 4** Schéma přiřazení konkrétního typu zásahu na experimentálních plochách. T - manipulace teploty, TZ - manipulace teploty a zalévání, TH - manipulace teploty a přísunu živin, K - kontrola, přirozené prostředí.

### 3.3.2 Způsob manipulace podmínek prostředí na plochách

Zvýšení teploty na části ploch bylo dosaženo pomocí skleničků - open-top chambers (OTC). Jedná se o speciální ohřevné komory hexagonálního tvaru, které se používají i v mezinárodním experimentu v tundře – International Tundra Experiment (ITEX) (Molau a Mølgaard 1996, Henry a Molau 1997). Komory OTC měly za úkol zvýšit teplotu o 1,2–3,5 °C během vegetační sezóny (Henry a Molau 1997). Byly vyrobeny ze speciálního plexiskla, 3 mm tlustého lexanu, který propouští okolo 86 %



viditelného světla, ale jen méně než 5 % infračerveného záření (Marion *et al.* 1997). Na jaře v r. 2008 proběhla první instalace komor, které zde byly ponechány po celé čtyři roky experimentu, včetně zimy.

Experimentálního zvýšení srážek bylo docíleno čerpáním srážkové vody přímo na pokusných plochách. Srážková voda se jímala pomocí plastové nálevky a sudu o objemu 200 l. Před vlastní aplikací srážek na plochy, se voda nejprve přečerpala speciálním demineralizačním přístrojem, aby se zajistilo odfiltrování možných živin ve srážkách. Zalévání probíhalo každých 14 dní po celou dobu vegetační sezóny (květen-září) v maximální dávce 30 l. Celkový objem vody na každém pohoří za rok činil 175 l, což odpovídá 700 mm/m<sup>2</sup>. Množství dodávané vody odpovídalo přibližně 50 % nárůstu běžných srážek během celé vegetační sezóny (Parsons *et al.* 1994).

Dalším manipulovaným faktorem bylo zvýšení množství dusíku, dodávaného ve formě NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. Výsledná aplikovaná dávka činila na vybraných pěti plochách 2 g/m<sup>2</sup> (N) = 20 kg/ha. Dusík byl do prostředí dodáván jako vodný roztok NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> v objemu 200 ml destilované vody (Britton a Fisher 2007). Díky tomu bylo umožněno rychlejší rozpuštění do půdního roztoku. Hnojení proběhlo ve čtyřech dávkách, přičemž první aplikace se provedla na začátku vegetační sezóny, další tři ve čtyřtýdenních intervalech.

### **3.3.3 Měření fenologických charakteristik**

Fenologické fáze (Tab. 1) byly sledovány u všech kvetoucích jedinců metličky křivolaké, kostřavy nízké a smilky tuhé (pouze Krkonoše). U ostřice tuhé (pouze Krkonoše) bylo sledováno pouze 5 označených jedinců. Pravidelné kontroly probíhaly každý týden od prvního roztání sněhu na plochách do konce vegetační sezóny.

**Tab. 1** Fenologické fáze vybraných druhů rostlin.

<i>Avenella flexuosa, Festuca supina, Nardus stricta</i>	
<b>Kvalitativní znaky:</b>	P1- odtání sněhu P2- první viditelná blizna (u kteréhokoliv stébla na celé ploše) P3- první vypadávání semen (u kteréhokoliv stébla na celé ploše)
<b>Kvantitativní znaky:</b>	Q1- počet kvetoucích stébel na celé ploše (zaznamenat jednorázově při fázi P3) Q2- délka kvetoucího stébla při plném květu (zaznamenat jednorázově při fázi P3)
<i>Carex bigelowii</i>	
<b>Kvalitativní znaky:</b>	P1- odtání sněhu P2- počátek růstu prvního nového (zeleného) listu P3- první viditelná blizna v květenství P4- první viditelný prašník v květenství P5- první změna barvy listu (žloutnoucí nebo hnědnoucí list) P6- první vypadávání semen
<b>Kvantitativní znaky:</b>	Q1- délka kvetoucího stonku od jeho špičky po bázi stonku při plném květu (zaznamenat jednorázově při fázi P4) Q2- počet zelených listů při plném květu (zaznamenat jednorázově při fázi P4) Q3- délka nejdelšího listu při plném květu (zaznamenat jednorázově při fázi P4) Q4- celková délka všech zelených listů na jednu rametu (jedince) při plném květu (zaznamenat jednorázově při fázi P4)

### 3.3.4 Zpracování a analýza dat

Data byla nejprve přepsána do programu Microsoft Office Excel podle příslušného kódu (lokalita, zásah, kontrola, rok) a následně převedena do statistického programu. Použitý model byl mixed model ANOVA. Náhodnými (random) proměnnými byly jedinec, plocha a lokalita a pevnými efekty (fixed) zásah a čas. Jedinec a plocha byli stupňovitě podřízeni interakci plocha (zásah x lokalita). Analýza byla zpracována v programu Statistica verze 10. Statistické analýzy byly provedeny na hladině významnosti  $\alpha=0,05$ . Software Microsoft Office byl použit k vytvoření příslušných tabulek.

## 4. VÝSLEDKY

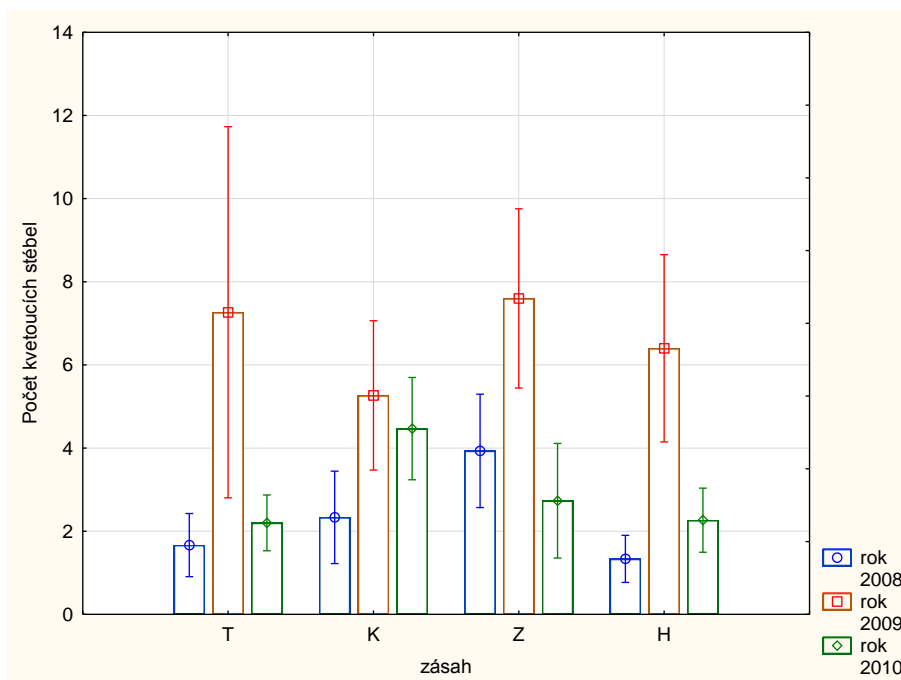
### 4.1 *Avenella flexuosa*

#### Počet kvetoucích stébel ( fáze Q1)

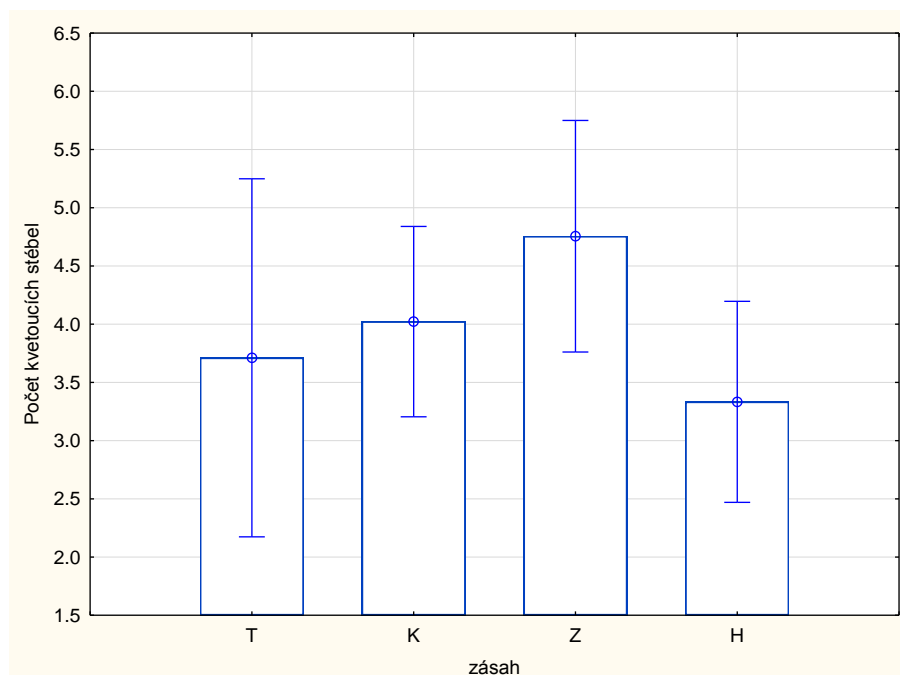
Údaje o počtu kvetoucích stébel a jejich rozdíl mezi sledovanými zásahy a roky shrnuje Tab. 2, Obr. 5 a 6. Rozdíl v počtu kvetoucích stébel mezi jednotlivými zásahy nebyl statisticky signifikantní. Vliv sezóny (faktor rok) naopak průkazný byl. V roce 2009 byl zjištěn nejvyšší počet květů za všechny sledované roky. Mezi léty 2008 a 2010 nebyl zaznamenán statisticky signifikantní rozdíl v počtu kvetoucích stébel. Celkově byl největší počet květů zaznamenán u zásahu zalévání (Z) a nejmenší u zásahu hnojení (H), ale statisticky nebyly hodnoty průkazné (Obr. 6).

**Tab. 2** Přehled výsledků analýzy ANOVA pro počet kvetoucích stébel *Avenella flexuosa* pod vlivem testovaných faktorů. \*  $P < 0,05$ .

Testované faktory	df	F-ratio	P-value
zásah	3	0.38	0.766238
rok	2	8.51	0.000361*
zásah x rok	6	0.47	0.823870
lokalita	2	23.87	0.000000*
plocha (zásah x lokalita)	54	1.11	0.315437



**Obr. 5** Grafický výstup analýzy ANOVA pro počet kvetoucích stébel *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi sledovanými roky a typem zásahu. Zásahy: zahřívání (T), zahřívání + zalévání (Z), zahřívání + hnojení (H), kontrola (K).



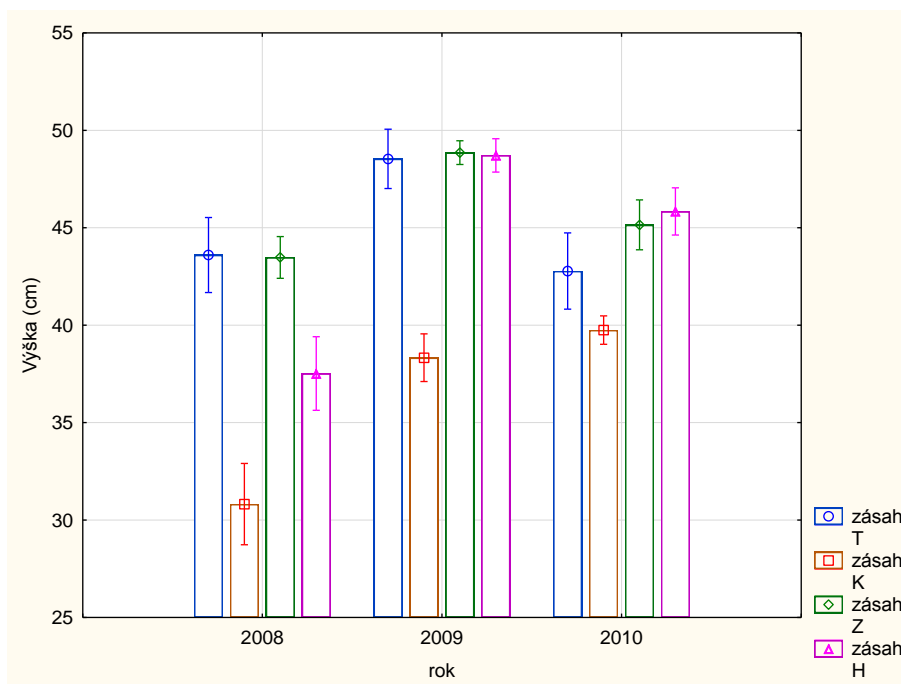
**Obr. 6** Grafický výstup analýzy ANOVA pro souhrnný počet kvetoucích stébel *Avenella flexuosaa* rozdíl mezi zásahy. Zásahy: zahřívání (T), zahřívání + zalévání (Z), zahřívání + hnojení (H), kontrola (K).

### Délka kvetoucích stébel (fáze Q2)

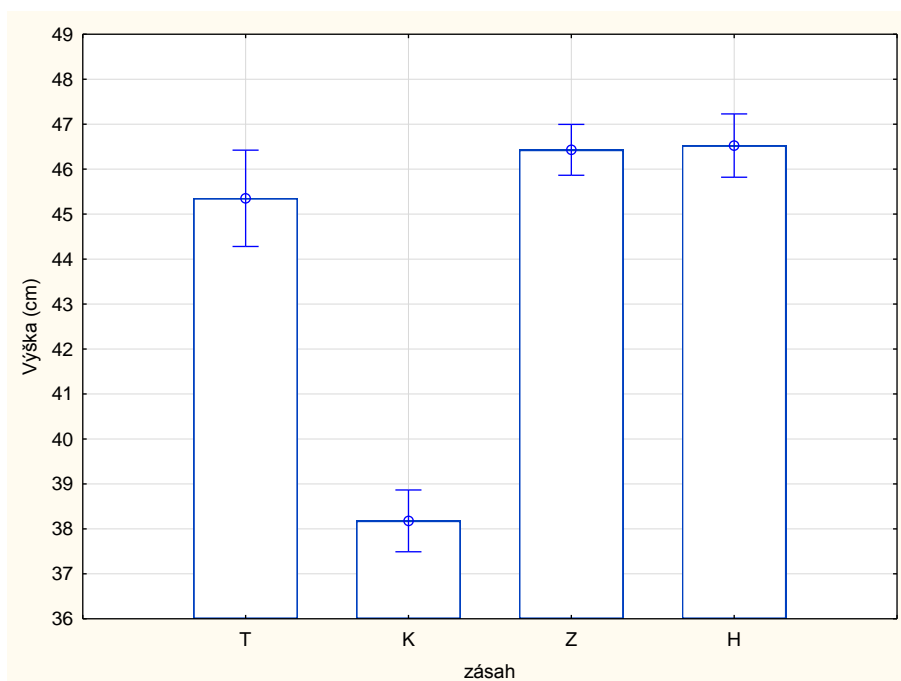
Délka stébel byla jednoznačně ovlivňována zásahy. Plochy bez zásahu kontrolní (K) měly signifikantně kratší délku stébel než plochy se zásahy (Obr. 7). Tyto jednotlivé zásahy zahřívání (T), zalévání (Z), hnojení (H) se od sebe již výrazně nelišily. Projevil se signifikantní vliv interakce zásah x rok (Tab. 3). Plochy se simulovanými zásahy zahřívání (T), zalévání (Z), hnojení (H) vykazovaly z počátku stoupající délku stébel, ale v posledním roce došlo u všech k poklesu. Plocha kontrolní (K) se v čase měnila. Délka stébel mezi roky měla stoupající tendenci, ale nárůst délky stébel nebyl vyšší než na plochách se zásahy (Obr. 7). Celkově zaznamenaly kontrolní plochy (K) nejkratší délku stébel (Obr. 8).

**Tab. 3** Přehled výsledků analýzy ANOVA pro délku kvetoucích stébel *Avenella flexuosa* pod vlivem testovaných faktorů.\*  $P < 0,05$ .

Testované faktory	df	F-ratio	P-value
zásah	3	3.96	0.010917*
rok	2	28.62	0.000000*
zásah x rok	6	2.77	0.011299*
lokalita	2	3.59	0.031552*
plocha (zásah x lokalita)	40	4.70	0.000000*



**Obr. 7** Grafický výstup analýzy ANOVA pro délku kvetoucích stébel *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi sledovanými roky a typem zásahu. Zásahy: zahřívání (T), zahřívání + zalévání (Z), zahřívání + hnojení (H), kontrola (K).



**Obr. 8** Grafický výstup analýzy ANOVA pro souhrnnou délku kvetoucích stébel *Avenella flexuosa* a rozdíl mezi zásahy. Zásahy: zahřívání (T), zahřívání + zalévání (Z), zahřívání + hnojení (H), kontrola (K).

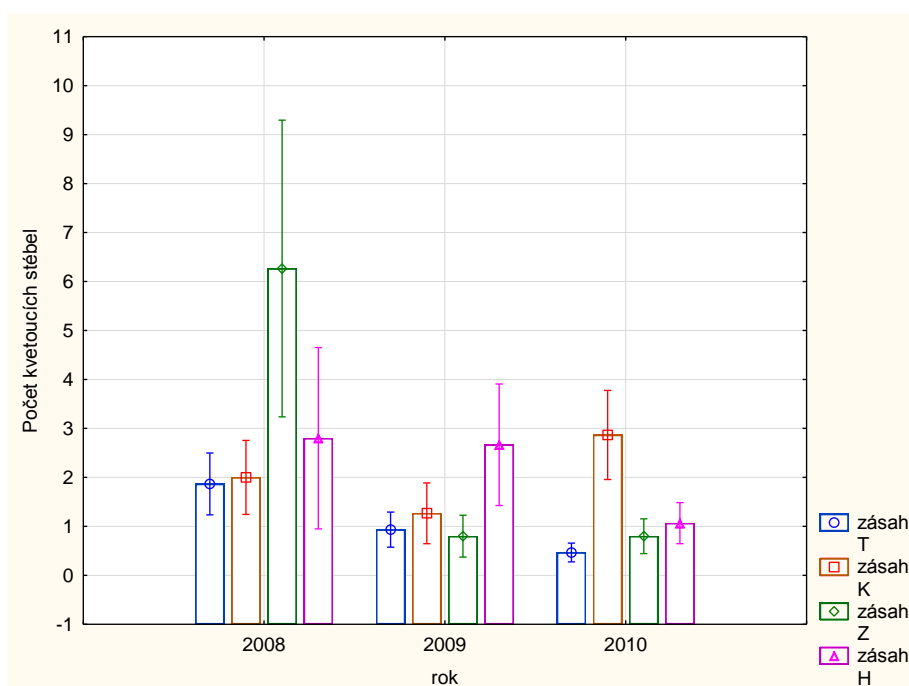
## 4.2 *Festuca supina*

### Počet kvetoucích stébel ( fáze Q1)

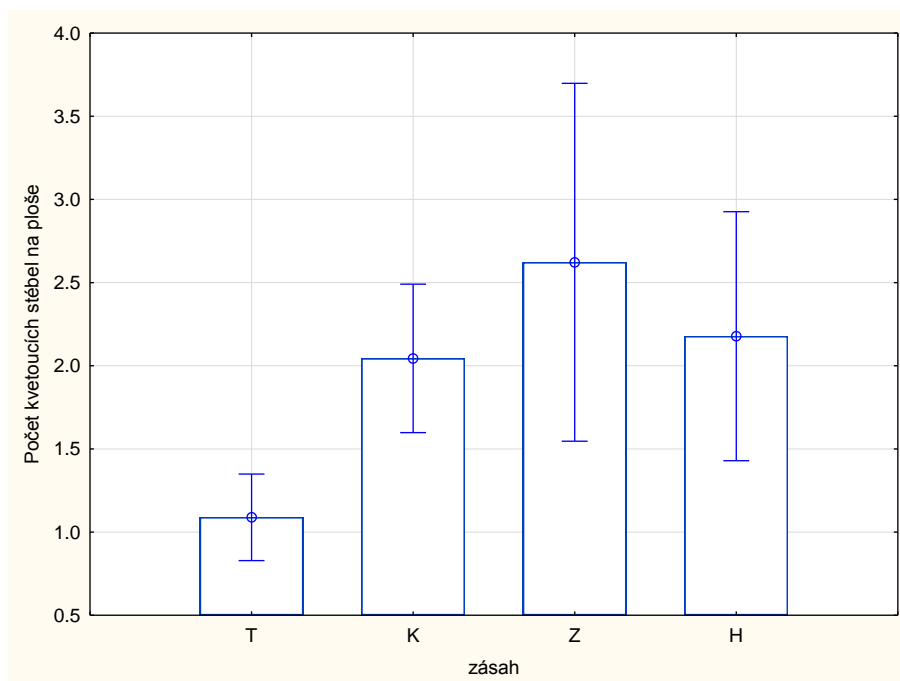
Výstupy analýzy produkce květů jsou shrnuty v Tab. 4, Obr. 9 a Obr. 10. V roce 2008 na ploše se zásahem zalévání (Z) byl zjištěn nejvyšší počet květů oproti ostatním zásahům, rozdíl byl více než dvojnásobný. Kontrolní plocha (K) se v roce 2010 výrazně lišila od ostatních zásahů. Celkový vliv zásahů ale nebyl průkazný. Signifikantní rozdíl je pouze mezi roky a v interakci zásah x rok (Tab. 4). Nejvýraznější rozdíl byl u zásahu zahřívání (T), kde počet kvetoucích stébel byl výrazně nižší oproti ostatním zásahům (Obr. 10).

**Tab. 4** Přehled výsledků analýzy ANOVA pro počet kvetoucích stébel *Festuca supina* pod vlivem testovaných faktorů.\* P < 0,05.

Testované faktory	df	F-ratio	P-value
zásah	3	0.68	0.562629
rok	2	4.48	0.013410*
zásah x rok	6	2.33	0.036821*
lokalita	2	6.14	0.003934*
plocha (zásah x lokalita)	54	1.72	0.007773*



**Obr. 9** Grafický výstup analýzy ANOVA pro počet kvetoucích stébel *Festuca supina* a rozdíl mezi sledovanými roky a typem zásahu. Zásahy: zahřívání (T), zahřívání + zalévání (Z), zahřívání + hnojení (H), kontrola (K).



**Obr. 10** Grafický výstup analýzy ANOVA pro souhrnný počet kvetoucích stébel *Festuca supina* a rozdíl mezi zásahy. Zásahy: zahřívání (T), zahřívání + zalévání (Z), zahřívání + hnojení (H), kontrola (K).

U zbylých dvou sledovaných travinných druhů *Nardus stricta* a *Carex bigelowii* nebyly statisticky průkazné hodnoty ve fenologických odezvách. Příčinou byl nízký počet kvetoucích jedinců v ploše. *Nardus stricta* se nevyskytovala ve všech sledovaných plochách. U druhu *Carex bigelowii* byl zaznamenán vyšší úhyn sledovaných jedinců. Dalším významným faktorem bylo, že oba druhy se v našich experimentálních plochách vyskytovaly pouze v Krkonoších.

## 5. DISKUZE

V průběhu čtyřletého výzkumu alpínských graminoidů byly sledovány kvantitativní fenologické odezvy v počtu kvetoucích stébel a délky stébel u druhů *Avenella flexuosa* a *Festuca supina* v prostředí alpínské tundry. *Avenella* vykazovala v roce 2009 největší produkci kvetoucích stébel v porovnání s ostatními sledovanými roky. Délka stébel byla také u tohoto druhu v roce 2009 nejvyšší. U druhu *Festuca supina* nebyla prokázána přímá závislost fenologických reakcí na změnách podmínek prostředí (počet kvetoucích stébel a délky stébel) v průběhu celého výzkumu. Příčinou byl nízký počet jedinců pro statistické zpracování.

### ***Avenella flexuosa* (metlička křivolaká) – počet kvetoucích stébel (fáze Q1):**

V roce 2008 a 2010 vykazují zjištěné výsledky jinou tendenci, než jaká byla očekávání. Předpoklad byl, že na manipulovaných plochách budou počty květů vyšší a na kontrolních (K) nižší. V prvním fenologickém období od založení experimentu (na jaře 2008) bylo na všech plochách, kromě zalévané (Z) plochy, nejméně květů za všechny sledované roky. Příčinou mohlo být, že přes zimu byli všichni jedinci vystaveni stejným podmínkám ještě bez manipulovaných zásahů. Stejných výsledků dosáhla Škrottová (2012) v případě opadavých keříčků *Vaccinium myrtillus* (brusnice borůvka), které měly v prvním roce sledování taktéž nejnižší počet květů.

V sezóně 2009 byla zjištěna největší produkce kvetoucích stébel a také byl největší rozdíl mezi manipulovanými plochami a kontrolou (K). Předpoklad dvojnásobného zvýšení počtu květů vychází z předcházejícího roku, kdy jedinci mohli profitovat z výhodnějších podmínek, které jim přinesly manipulované zásahy. Podobné zjištění zaznamenala i Škrottová (2012) při pozorování kvetení borůvky. V roce 2009 byla aktivita kvetení nejdelší, která pravděpodobně souvisela s příznivými teplotami a nízkým množstvím srážek. Je také patrné, že rok 2009 byl bezpochyby příznivým rokem pro produkci květů, protože na kontrolní (K) ploše bylo dosaženo nejvyššího počtu květů v porovnání s ostatními kontrolami a jednotlivými roky. Tento rok lze charakterizovat jako suchý a teplý oproti ostatním letům. Dále lze vyvodit, že skleníky OTC přispěly k již tak příznivým podmínkám v daném roce a podpořily vyšší počet květů. Plochy se zásahy zahřívání (T), zalévání (Z) a hnojení



(H) prokázaly největší počet květů, oproti ostatním sledovaným rokům. Rozdíly mezi těmito zásahy nebyly markantní. Vyšší produkci květů způsobilo pravděpodobně zahřívání vlivem skleníku, v kterém dochází ke zvýšení teploty během vegetační sezóny o 1,2–3,5 °C (Henry a Molau 1997). Mezi plochami zalévání (Z) a hnojení (H) nebyl již výrazný rozdíl. Kontrolní (K) plochy měly nižší produkci květů oproti zásahovým plochám.

V roce 2010 došlo k poklesu počtu kvetoucích stébel na všech sledovaných plochách. Množství srážek v této fenologické sezóně bylo několikanásobně větší, než v roce 2009. Rok 2010 lze obecně charakterizovat jako humidní a vlhký. Příčinou poklesu v počtu kvetoucích stébel mohly být nízké jarní teploty a vydatné srážkové úhrny (Zahradník 2011), které způsobují posuny ve fenologii rostlin (Jentsch *et al.* 2009). Škrottová (2012) uvedla, že v tomto roce zaznamenala významný nárůst v počtu květů u *Calluna vulgaris* (vřes obecný) a *Vaccinium myrtillus* (brusnice borůvka). Nejvyšší počet květů vřesu byl na plochách s aplikovaným zásahem zahřívání (T), zalévání (Z) a hnojení (H). Počty květů dosahovaly až dvojnásobku za obě předchozí sezóny dohromady. Reakce *Calluna* a *Vaccinium* v této fenologické sezóně byla zcela odlišná od skupiny trav. Tento jev může být způsoben tím, že vřesy byly označeny a tudíž sledováni ti samí jedinci. U trav byl sledován jakýkoliv kvetoucí jedinec na celé ploše. Pravděpodobnost, že se sledoval ten samý jedinec, byla minimální.

Plochy s aplikovaným hnojením dusičnanu amonného souhrnně ve všech třech letech sledování vykazaly nejnižší počet kvetoucích stébel. Výjimkou byl rok 2009, který se stal klimaticky nejpříznivějším na fenologii obecně. Výzkumy prováděné v Krkonoších ukázaly, že vlivem hnojení dochází ke zvýšené tvorbě biomasy a stoupající pokryvnosti druhů *Avenella flexuosa* a *Anthoxanthum odoratum* (tomka vonná) (Banaš *et al.* 2011). *Avenella* patří k druhům s širokou ekologickou plasticitou a změněné podmínky a uspořádání porostu na hnojených plochách ji velmi vyhovují. Snáší jak vysoké dávky dusíkatého hnojení, tak sečení (Štursová 1985). K podobným výsledkům došel také Scurfield (1954), kdy *Avenella flexuosa* vykazovala vyšší toleranci k dostupnosti dusíku a klimatickým podmínkám. Aplikace dusíkatých hnojiv na travní porosty byla dobře patrná i po ukončení výzkumu. Dokládají to studie jednak z Krkonoš, kdy po více než 62 letech byl zaznamenán významný vliv hnojení na travní porosty (Semelová *et al.* 2007). Podobný fenomén výsledků je znám i z jiných studií (Hejzman *et al.* 2007). Z našeho

výzkumu vyplývá, že dodáváním dusíku došlo ke zvětšení biomasy, ale ne k vyššímu počtu kvetoucích stébel. Domnívám se, že počty květů závisejí na mikroklimatických podmínkách v dané sezóně (doba odtání sněhu, množství srážek, suma teplot, periody a doby trvání jarních či podzimních mrazíků apod.) a méně na dodávání dusíkatých hnojiv (Banaš *et al.* 2011).

### **Avenella flexuosa (metlička křivolaká) – délka kvetoucích stébel (fáze Q2):**

V roce 2008 byla zaznamenána nejnižší délka stébel za všechny sledované roky. Podle očekávaného předpokladu byla délka nejnižší na kontrolních (K) plochách. Manipulované zásahy zahřívání (T) a zalévání (Z) dosahovaly stejné délky. Je zde patrný vliv teploty jako u předcházející fenofáze, ale větší množství dodávané vody se již výrazně neprojeví. Největší rozdíl byl naměřený na hnojené (H) ploše, kde délka stébel byla mnohem menší, než mezi ostatními zásahy. Délka stébel neklesla níže než na ploše kontrolní (K). Travniny velice rychle reagují na změnu teploty, jak uvádí studie z tibetské alpské tundry (Zhang a Walker 1996), proto se domnívám, že dlouhivý růst byl podpořen tímto faktorem.

Další fenologickou sezónu 2009 došlo k výraznému nárůstu délky stébel, ale zde již nebyl rozdíl mezi jednotlivými zásahy. Klimatologické a meteorologické podmínky v tomto roce byly natolik příznivé, že i na kontrolních (K) plochách se projevila vyšší délka stébel, oproti jiným sledovaným letům. Domnívám se, že tyto příznivé podmínky zapříčinily příhodný fenologický rok, který byl nejproduktivnější na jejich délku. Graminoidní druhy *Avenella* a *Festuca* byly v tomto roce nejproduktivnější ze všech sledovaných sezón. Jev byl nejspíše zapříčiněn nízkými srážkovými úhrny, příznivými jarními a celoročními teplotami. Mírná zima mohla mít také vliv na fenologickou sezónu. Tyto okolnosti pravděpodobně napomohly k maximálnímu růstu stébel.

V roce 2010 byl zaznamenán pokles ve všech sledovaných zásazích i přes to, že klimatické podmínky v zimním období byly nejpříznivější ze všech sledovaných let. Doba, kdy půdní teplota v 5 cm klesla pod bod mrazu, byla nejkratší za všechna sledovaná období (Zahradník 2011). Jarní měsíce se v tomto fenologickém roce vyznačovaly častými srážkami s nízkými teplotami. Nadlimitní množství srážek oproti jiným letům mohlo mít největší negativní účinek na délku stébel. *Avenella flexuosa* patří k druhům upřednostňujícím dobře odvodněná, slunná a sušší místa

(Scurfield 1954). V nepříznivém období roku investuje ukládání zásobních látek do přezimujících podzemních orgánů (Jirásková 2013).

Koncentrace dusíku ze všech třech pohoří ukázaly, že u skupiny trav došlo k průkaznému zvýšení. U hnojených (H) ploch koncentrace dusíku dosáhla vůbec nejvyšších hodnot napříč ekologickými skupinami i zásahy. Na plochách se zásahem zalévání (Z) byl zaznamenán větší procentuální nárůst dusíku (Ráčková 2013). Na kontrolních (K) plochách zůstala i zde nejkratší délka stébel oproti manipulovaným zásahům. Zvýšená dostupnost dusíku v prostředí zvyšovala pokryvnost některých nitrofilních druhů (*Avenella flexuosa*, *Carex bigelowii*, *Bistorta major*) i celkovou pokryvnost bylinného patra (Banaš *et al.* 2011).

Zahradník (2012) zjistil, že v některých sklenicích OTC nedošlo ke zvýšení teploty půdy. Naproti tomu Callaghan *et al.* (2004) došel k výsledkům, kdy vlivem zvýšení teploty vzduchu ve skleníku došlo k nárůstu listové plochy, která zabránila oteplení půdního povrchu. Marion *et al.* (1997) došel k závěru, že povrchová teplota půdy může stoupnout až o 5,2 °C. K takovému zvýšení teploty dochází v místech se suchou půdou, vyšším osluněním a nízkou pokryvností. Proto se domnívám, že nejvýznamnější vliv na růst *Avenella flexuosa* mělo klima v dané fenologické sezóně.

Jirásková (2013) dále uvádí, že průměrné hmotnosti nadzemní biomasy na hnojených (H) plochách jsou vyšší, než na kontrole (K). Z toho vyplývá, že graminoidy investují více do biomasy, než do kvantitativní fenologie v podobě délky stébel a počtu květů. Oba naše travinné druhy *Avenella flexuosa* a *Festuca supina* byly v experimentu společně označeny jako graminoidy – trávy. V tomto případě jde velmi těžce rozeznat, jaké jsou přesné koncentrace dusíku a uhlíku u jednotlivých druhů. Obdobný problém je i s přesnými hodnotami v hmotnosti nadzemní a podzemní biomasy. Jednoznačnou pozitivní odezvu vůči zvýšené koncentraci dusíku v prostředí vykazují zkoumané graminoidní druhy. Tento výsledek je v souladu se studii provedenými jak v severské tundře (Dormann a Woodin 2002, Walker *et al.* 2006), tak z alpských společenstev (Bowman *et al.* 1993, Heer a Körner 2002, Kländerud a Totland 2005).

### **Festuca supina (kostřava nízká) - Počet kvetoucích stébel (fáze Q1)**

V roce 2008 byl zjištěn největší nárůst kvetoucích stébel na ploše se zásahem zalévání (Z). U ostatních manipulovaných zásahů včetně kontroly (K) nebyl prokázán žádný rozdíl mezi managementy. Škrottová (2012) u studia počtu květů *Vaccinium myrtillus* pozorovala jednoznačné ovlivnění aplikovanými zásahy především u interakce zásah x rok. Dále zmínila, že počet květů u *Calluna vulgaris* v této fenologické sezóně byl téměř shodný jako v nadcházejícím roce. Projevil se zde také vliv OTC skleníku na počty květů *Calluna*. Náš výzkum potvrdil, že příhodné podmínky ve skleníku OTC, napomáhají fenologickým fázím, v podobě oteplení. Podobné reakce jsou uváděny v mnoha odborných publikacích (Doiron *et al.* 2014, Dormann a Woodin 2002, Walker *et al.* 2006).

Následující fenologická sezóna 2009 u *Festuca supina* byla nejvíce ovlivněna zásahem hnojení (H). Zde bylo zaznamenáno nejvíce kvetoucích jedinců v roce. Zbylé zásahy včetně kontroly (K) neměly prokazatelný vliv na simulované podmínky prostředí. Škrottová (2012) ve svém experimentu uvedla, že počty květů u *Calluna vulgaris* byly signifikantně ovlivněny na všech simulovaných zásazích. *Vaccinium myrtillus* vykazovala obdobnou tendenci jako *Calluna vulgaris*. Domnívám se, že podmínky prostředí jsou na sobě závislé (nízké srážky, příznivé jarní teploty a mírná zima). Počet květů a délka stébel je tedy ovlivněna těmito faktory, jak už bylo popsáno u předcházejícího druhu *Avenella*.

Ve fenologickém roce 2010 nebyl zaznamenán žádný vliv aplikovaných podmínek. Počet květů byl shodný na všech simulovaných plochách. V této sezóně byl zaznamenán nejnižší počet květů za všechna sledovaná období, ale statisticky to nebylo prokázáno. Naopak kontrolní (K) plocha vykazovala opačnou tendenci oproti zásahům. Škrottová (2012), která se zabývala studiem počtu květů *Vaccinium myrtillus* uvedla, že první dvě fenologická období (2008 a 2009) zaznamenala určitou stagnaci v počtu květů, ale v roce 2010 došlo k nárůstu. U studia *Calluna vulgaris* dospěla k podobnému závěru. V práci uvádí, že tento fenologický rok byl u obou druhů keříčků nejpříznivější na počet květů. Uplatňovala se zřejmě aplikace zásahu, ale také příhodné mírné zimní období s klimatickými podmínkami. Naproti tomu trávám pravděpodobně nesvědčí tolik meteorologických srážek, aby investovaly do květů. Tento jev také koresponduje s počtem květů i délkou stébla *Avenella* v sezóně.

Množství vody v prostředí jako samotný faktor obvykle nepostačuje k vysvětlení odezvy společenstev, za důležitou je nutné považovat především kombinaci srážek s teplotou (Banaš *et al.* 2011).

Souhrnný počet kvetoucích stébel za všechna tři fenologická období u druhu *Festuca supina* vykazoval pozitivní odezvu na aplikované zásahy. Také Škrottová (2012) ve svém experimentu uvádí nárůst kvetoucích jedinců za všechny fenologické sezóny. Fenologická odezva sledovaného druhu se výrazně uplatňovala v meziroční variabilitě. Tato skutečnost je patrně závislá na konkrétním chodu mikroklimatických faktorů v dané sezóně (Banaš *et al.* 2011).

Jirásková (2013) ve své práci uvedla, že v průměrné hmotnosti nadzemní biomasy na plochách s aplikovanými zásahy se projevil průkazný rozdíl u skupiny graminoidů (*Avenella flexuosa*, *Festuca supina*). Nárůst byl zjištěn také u neopadavých keříčků na zahříváných (T) plochách. Graminoidy a *Calluna vulgaris* dominovaly v zastoupení rostlinných druhů v celkové biomase.

Ráčková (2012) se v experimentu zajímala o dodávání dusíku do prostředí. Uvedla, že nitrofilní druh *Festuca* poutá nadbytek dusíku především v nadzemní biomase (v listech). Při vyšší koncentraci se dusík ukládá v pletivech (Michelsen *et al.* 1999).

### **Festuca supina (kostřava nízká) - Délka kvetoucích stébel (fáze Q2)**

Délky stébel *Festuca supina* nebyly statisticky porovnávány díky nízkému *n* v Krkonoších, kde nebylo dostatek dat pro analýzu. Při srovnání souhrnných délek u zbylých dvou pohoří (Petrovy kameny a Králický Sněžník) za všechna sledovaná období vyplynulo, že zásahy zalévání (Z) a hnojení (H) měly příznivý vliv na délku kvetoucích stébel *Festuca* (nepublikováno). Délky stébel na kontrolních (K) a zahříváných (T) plochách se projeví téměř shodné.

Průměrnou výšku stébel u graminoidů pozitivně ovlivnily OTC skleníky. Stébla se prodloužila daleko více než na plochách, kde nebyl použit skleník (Wahren *et al.* 2013). Použití OTC podporuje růst, jak skupiny bylin, tak skupiny trav. Skleník uměle zvyšuje teplotu oproti okolí, a tím dochází k rychlejšímu růstu nadzemních částí (Callaghan *et al.* 2004). Studie Doiron *et al.* (2014) uvedla, že trávy jsou citlivější na oteplování v chladnějších a vlhčích oblastech. Jiná studie uvádí, že růst

(vegetativní) byl výrazně vyšší pouze na začátku experimentálního oteplování a po 4 letech zahřívání se zvyšuje jen na některých místech (Arft *et al.* 1999).

Celkově z našeho čtyřletého experimentálního výzkumu vyplynulo, že nelze na trvalých plochách konstatovat změnu v počtu sledovaných druhů (Banaš *et al.* 2011). Toto tvrzení bylo v souladu s výzkumem, který probíhal v Austrálii, kde nezjistili během šestiletého výzkumu žádný vliv na oteplování u skupiny graminoidů (Wahren *et al.* 2013). Některé studie prokázaly pokles graminoidů v důsledku experimentálního oteplování, jak uvádí Klein *et al.* (2007) na loukách a vřesovištích na tibetské plošině, Post a Pedersen (2008) na vřesovištích v Grónsku a Hudson a Henry (2009) ve vysoké Arktidě. Tyto výsledky naznačují, že účinky oteplování na graminoidy závisí na regionu a vlhkostním režimu v dané oblasti.

## 6. ZÁVĚR

Cílem práce bylo popsat odezvu čtyř druhů graminoidů - *Avenella flexuosa* (metlička křivolaká), *Festuca supina* (kostřava nízká), *Nardus stricta* (smilka tuhá), *Carex bigelowii* (ostřice tuhá) na manipulované faktory prostředí v alpínském bezlesí prostřednictvím vybraných kvantitativních fenologických fází. Výzkum probíhal na třech lokalitách Vysokých Sudet v biotopech alpínského vřesoviště: Jeseníky - Petrovy kameny, Vrchol Králického Sněžníku a Krkonoše - Modré sedlo. V každé lokalitě bylo založeno 20 monitorovacích ploch. Experiment byl proveden metodou opakovaného pozorování fenologických fází v 7 denní periodě.

Výsledky fenologického výzkumu ukazují, že ve fenologických odezvách u skupiny travin *Avenella flexuosa* a *Festuca supina* nebyl zjištěn vliv změněných podmínek prostředí zahřívání, zalévání, hnojení, na počet květenství (generativní šíření). Na druhou stranu byl potvrzen vliv manipulovaných zásahů (změněných podmínek prostředí) na dlouhivý růst u travin – délku kvetoucího stébla *Avenella flexuosa*.

Některé zjištěné odezvy rostlin na manipulativní zásahy zřejmě nebudou mít vliv na funkci alpínského společenstva. Výzkum však potvrdil, že zvýšený přísun dusíku podporuje růst travinných druhů, což může mít v dlouhodobějším horizontu destruktivní dopad na jiné druhy rostlin (potlačování keříčků) ve společenstvu. Mohlo by tedy dojít k postupné uniformizaci vegetace alpínských vřesovišť.

Výsledky výzkumu byly nejvíce poznamenány meziroční variabilitou. Zmíněný faktor meziroční variability lze potlačit pouze delší časovou řadou pozorování alespoň jednoho či lépe dvou desetiletí. Z výzkumu vyplynulo, že krátkodobá studie není optimální pro predikci vývoje alpínských ekosystémů. V ideálním případě je třeba kombinovat údaje krátkodobých výzkumů s dlouhodobými experimenty. Dlouhodobé studie mohou potvrdit či vyvrátit cykličnosti jevů. Nicméně z výsledků diplomové práce vyplývá, že i krátkodobou studií se může dojít k zajímavým poznatkům v prostředí alpínského bezlesí.

Provedený výzkum prokázal, že v prostoru skleníčků jsou vhodné abiotické podmínky. Zejména zvýšená teplota vzduchu, nižší vysychání větrem a zlepšená transpirace, v kombinaci s dalšími změnami podmínek prostředí (zalévání, hnojení)

zrychlují fenologické projevy rostlin oproti kontrolním plochám vystaveným nepříznivým abiotickým podmínkám.

Studované lokality patří k ojedinělým ekosystémům arктоalpínské tundry v České republice a jsou relativně nejnáchylnějšími ekosystémy k probíhajícím globálním změnám prostředí. Proto je velice vhodné ve výzkumu pokračovat, aby bylo možné blíže popsat vlivy globálních klimatických změn v delším časovém měřítku. Další studium je také nezbytné k nastavení vhodných managementových opatření v alpínském bezlesí a zastavit tak pokles biologické rozmanitosti.



## 7. REFERENCE

- Arft, A., Walker, M., Gurevitch, J., Alatalo, J., Bret-Harte, M., Dale, M., Diemer, M., Gugerli, F., Henry, G., Jones, M. (1999): Responses of tundra plants to experimental warming: meta-analysis of the international tundra experiment. *Ecological Monographs*. 69: 491–511.
- Austin, A. T., Yahdjian, L., Startk, J. M. et al. (2004): Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems. *Oecologia*. 141: 221–235.
- Banaš, M., Zeidler, M., Hofmeister, J., Zahradník, D. (2011): Změny alpínských ekosystémů na území KRNAP, NPR Králický Sněžník a CHKO Jeseníky v kontextu globálních změn: Závěrečná zpráva o řešení projektu. Olomouc. p. 159.
- Beddows, A. R. (1931): The vegetation of the island of Canna and Sanday, Invernesshire. *Journal of Ecology*. 34: 182.
- Bednářová, E., Kučera, J., Merklová, L. (2008): Sledování jarních ekologických fází u buku lesního ve smíšeném porostu kamerovým systémem. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed.): Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině. Dostupný z [www.cbks.cz](http://www.cbks.cz).
- Bednářová, E., Merklová, L. (2007): Vyhodnocení fenologie mladého smrkového porostu v oblasti Dražanská vrchovina. In: Rožnovský, J., Litschmann, T., Vyskot, I. (ed.): Klima lesa. Dostupný z [www.cbks.cz](http://www.cbks.cz).
- Beniston, M. (ed.) (1994): *Mountain environments in changing climates*. Routledge. London. p. 461.
- Beniston, M., Diaz, H. F., Bradley, R. S. (1997): Climatic change at high elevation sites: An overview. *Climatic Change*. 36: 233–251.
- Bobbink, R., Roelofs, J. (1995): Nitrogen critical loads for natural and semi-natural ecosystems: the empiric approach. *Water, Air and Soil Pollution*. 85: 2413–2418.
- Bobbink, R., Hornung, M., Roelofs, J. G. M. (1998): The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. *Journal of Ecology*. 86: 717–738.
- Bowman, W. D., Theodose, T. A., Schardt, J. C., Conant, R. T. (1993): Constraints of nutrient availability on primary production in two alpine tundra communities. *Ecology*. 74 (7): 2085–2097.
- Bradshaw, A. D., Lodge, R. W., Jowett, D., Chadwick, M. J. (1958): Experimental investigations onto the mineral nutrition of several grass species. Part I. Calcium level. *Journal of Ecology*. 46: 749–757.
- Braun-Blanquet, J., Rikli, M. (1932): *Flora von Graubünden*. Berne and Berlin.

- Britton, A. J., Fisher, J. M. (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.
- Brooker, R. W., Carlsson, B. A., Callaghan, T. V. (2001): *Carex bigelowii* Torrey ex Schweinitz (*C. rigida* Good., non Schrank; *C. hyperborea* Drejer). *Journal of Ecology*. 220: 1075–1095.
- Burkhardt, U. (1999): Alpine precipitation in a tripled CO<sub>2</sub>-climate. *Tellus*. 51A: 289–303.
- Callaghan, T. V., Björn, L. O., Chernov, Y., Chapin, T., Christensen, T. R., Huntley, B., Ims, R. A., Johansson, M., Jolly, D., Jonasson, S., Matveyeva, N., Panikov, N., Oechel, W., Shaver, G. (2004): Effects on the Function of Arctic Ecosystems in the Short- and Long-term Perspectives. *A Journal of the Human Environment*. 33 (7): 448–458.
- Campbell, B. D., Grime, J. P., Mackey, J. M. L., Jalili, A. (1991): The quest for mechanistic understanding of resource competition in plant communities: the role of experiments. *Functional Ecology*. 5: 241–253.
- Casty, C., Wanner, H., Luterbacher, J., Esper, J., Böhm, R. (2005): Temperature and precipitation variability in the European Alps since 1500. *Int. Climatol, J.* 25: 1855–1880.
- Cleland, E. E., Chuine, I., Menzel, A., Mooney, H. A., Schwartz, M. D. (2007): Shifting plant phenology in response to global change. *TRENDS in Ecology and Evolution*. 22 (7):357–365.
- Demek, J. et al. (1987): Hory a nížiny. *Zeměpisný lexikon ČSR*. Academia. Praha. p. 584.
- Diaz, H. F., Bradley, R. S. (1997): Temperature variations during the last century at high elevation sites. *Climatic Change*. 36: 253–279.
- Doiron, M., Gauthier, G., Lévesque, E. (2014): Effects of experimental warming on nitrogen concentration and biomass of forage plants for an arctic herbivore. *Journal of Ecology*. 102: 508–517.
- Dormann, C. F., Woodin, S. J. (2002): Climate change in the Arctic: using plant functional types in a metaanalysis of field experiments. *Functional Ecology*. 16: 4–17.
- Elias, V., Tesar, M., Buchtele, J. (1995): Occult precipitation: sampling, chemical analysis and process modelling in the Sumava Mts. (Czech Republic) and in the Taunus Mts. (Germany). *Journale of Hydrology*. 166: 409–420.
- Epstein, E. (1972): *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives*. John Wiley & Sons. New York. USA.
- Epstein, H. E., Walker, M. D., Chapin, F. S. III., Starfield, M. N. (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. et al. (2002): Královehradecko. In: Mackovčín, P., Sedláček, M. (eds.): *Chráněná území ČR, svazek V*. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno. Praha. p. 410.

- Fay, P. A., Carlisle, J. D., Knapp, A. K. (2003): Productivity responses to altered rainfall patterns in a C4-dominated grassland. *Oecologia*. 137: 245–251.
- Gjaerevoll, O. (1956): *The Plant Communities of the Scandinavian Alpine Snowbeds*. Bokhandel. Trondheim. Norway.
- Grime, J. P., Hodgson, J. G., Hunt, R. (1986): *Comparative plant ecology: A functional approach to common British species*. Unwin Hyman Ltd. London. p. 742.
- Hall, D. K. (1988): Assessment of Polar climate change using satellite technology. *Reviews of Geophysics*. 26: 26–39.
- Harper, C. W., Blair, J. M., Fay, P. A., Knapp, A. K., Carlisle, J. D. (2005): Increased rainfall variability and reduced rainfall amount decreases soil CO<sub>2</sub> flux in a grassland ecosystem. *Global Change Biology*. 11: 322–334.
- Heer, C., Körner, C. (2002): High elevation pioneer plants are sensitive to mineral nutrient addition. *Basic and Applied Ecology*. 3 (1): 39–47.
- Hejcman, M., Klauisová, M., Schelleberg, J., Honsová, D. (2007): The rengen grassland experiment: Plant species composition after 64 years of fertilizer application. *Agriculture. Ecosystems and Environment*. 122: 259–266.
- Henry, G. H. R., Molau, U. (1997): Tundra plants and climate change: The International Tundra Experiment (ITEX). *Global Change Biology*. 3 (1): 1–9.
- Hudson, J., Henry, G. (2009): Increased plant biomass in a High Arctic heath community from 1981 to 2008. *Ecology*. 90: 2657–2663.
- Hylander, N. (1953): *Forleckning över Nordens Växter. I. Karlväxter*. Lund, C. W. K. Geerups Förlag.
- Chadwick, M. J. (1960): *The Journal of Ecology*. British Ecological Society. 48: 255–267.
- Chapin, F. S., III. (1980): The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 11:233–260.
- Chapin, F. S. III, Shaver, G. R. (1985): Individualistic growth response of tundra plant species to environmental manipulations in the field. *Ecology*. 66: 564–576.
- Chapin, F. S., III. (1991): Integrated responses of plants to stress. *BioScience*. 41: 29–36.
- Chytrý, M. (2010): *Travná a keříčková vegetace*. Academia. Praha. p. 526.
- Jeffreys, H. (1917): The vegetation of four Durham coal-measure felle. I. General description of the area and its vegetation. *Journal of Ecology*. 4: 174–195.
- Jentsch, A., Kreyling, J., Boettcher-Treschkow, J., Beierkuhnlein, C. (2009): Beyond gradual warming: extreme weather events alter flower phenology of european grassland and heath species. *Global Change Biology*. 15: 837–849.

- Jirásková, E. (2013): Vliv vybraných faktorů globálních změn na produkci rostlinné biomasy v alpínském prostředí. Diplomová práce. Katedra ekologie a životního prostředí. Přírodovědecká fakulta. Univerzita Palackého v Olomouci. p. 49.
- Jónsdóttir, I. S., Callaghan, T. V. (1990): Intraclonal translocation of ammonium and nitrate nitrogen in *Carex bigelowii* Torr. ex Schwein. using  $^{15}\text{N}$  and nitrate reductase assays. *New Phytologist*. 114: 419–428.
- Klanderud, K., Totland, O. (2005): Simulated climate change altered dominance hierarchies and diversity of an alpine biodiversity hotspot. *Ecology*. 86: 2047–2054.
- Klein, J. A., Harte, J., Zhao, X. Q. (2007): Experimental warming, not grazing, decreases rangeland quality on the Tibetan Plateau. *Ecological Applications*. 17: 541–557.
- Kočí, M. (2007): Acidofilní alpínské trávníky (*Juncetea trifidi*). In: Chytrý, M. (ed.): Vegetace České republiky. 1. Travninná a keříčková vegetace. Academia. Praha. p. 76-83.
- Körner, C. (1995): Impact of atmospheric changes on alpine vegetation: the ecophysiological perspective. – In: Guisan, A., Holten, J. I., Spichiger, R., Tessier, L. (eds.), Potential ecological impacts of climate change in the Alps and Fennoscandian mountains, Ed. Conservatoire et Jardin Botaniques de Genève. 113–120.
- Körner, Ch. (1999): The alpine plant life. - Gustav Fisher Verlag. Heidelberg.
- Krahulec, F. (1990): Alpine vegetation of the Králický Sněžník Mts. (The Sudeten Mts.). *Preslia*. 62: 307–322.
- Krajčick, K. (2004): Climate change: All downhill from here? *Science* 303 (5664): 1600–1602.
- Krška, K. (2006): Fenologie jako nauka, metoda a prostředek. In: Rožnovský, J., Litschmann, T., Vyskot, I. (ed.): Fenologická odezva proměnlivosti podnebí: sborník referátů. Dostupný z [www.cbks.cz](http://www.cbks.cz).
- Lee, J. A. (1998): Unintentional experiments with terrestrial ecosystems: ecological effects of sulphur and nitrogen pollutants. *Journal of Ecology*. 86: 1–12.
- Marion, G. M., Henry, G. H. R., Freckman, D. W., Johnstone, J., Jones, G., Jones, M. H., Lévesque, E., Molau, U., Mølgaard, P., Parsons, A. N., Svoboda, J., Virginia, R. A. (1997): Open-top designs for manipulating field temperature in high-latitude ecosystems. *Global Change Biology*. 3 (1): 20–32.
- Markham, A., Dudley, N., Stolton, S. (1993): Some like it hot: climate change, biodiversity and the survival of species. WWF-International. Gland. p. 144.
- Maxwell, B. (1992): Arctic climate: potential for change under global warming. Arctic Ecosystems in a Changing Climate. An Ecophysiological Perspective (eds Chapin, F. S. III, Jefferies, R. L., Reynolds, J. F., Shaver, G. R., Svoboda, J.). Academic Press. San Diego. p. 11 – 34.

- McCarthy, J. J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J., White, K. S., eds. (2001): Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change. Working group II. Cambridge University Press. Cambridge.
- Michelsen, A., Graglia, E., Schmidt, I. K., Jonasson, S., Sleep, D., Quarmby, C. (1999): Different responses of grass and a dwarf shrub to long-term changes in soil microbial biomass C, N and P following factorial addition of NPK fertilizer, fungicide and labile carbon to a heath. *New Phytology*. 143: 523–538.
- Molau, U., Mølgaard, P. eds. (1996): The International Tundra Experiment Manual. Danish Polar Center. Copenhagen. p. 82.
- 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.
- Ozenda, P., Borel, J. L. (1991): Mögliche ökologische Auswirkungen von Klimaveränderungen in den Alpen. Internationale Alpenschutz-Kommission CIPRA. Kleine Schriften. 8/91. p. 71.
- Parsons, A. N., Welker, J. M., Wookey, P. A., Press, M. C., Callaghan, T. V., Lee, J. A. (1994): Growth responses of four sub-arctic dwarf shrubs to simulated environmental change. *Journal of Ecology*. 82: 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.
- Peters, R. L., Darling, J. D. S. (1985): The greenhouse effect and nature reserves: global warming would diminish biological diversity by causing extinctions among reserve species. *Bioscience*. 35: 707–717.
- Post, E., Pedersen, C. (2008): Opposing plant community responses to warming with and without herbivores. *Proceedings of the National Academy of Sciences. USA*. 105 (34): 12353–12358.
- Preston, C. D., Hill, M. O. (1997): The geographical relationships of British and Irish vascular plants. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 124: 1–120.
- Prieto, P., Peñuelas, J., Niinemets, Ü., Ogaya, R., Schmidt, I. K., Beier, C., Tietema, A., Sowerby, A., Emmett, B. A., Láng, E. K., Kröel-Dulay, G., Lhotsky, B., Cesaraccio, C., Pellizzaro, G., de Dato, G., Sirca, C., Estiarte, M. (2009): Changes in the onset of spring growth in shrubland species in response to experimental warming along a north–south gradient in Europe. *Global Ecology and Biogeography*. 18: 473–484.
- Quitt, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. Brno. Academia. *Studia Geographica* 16. GgÚ ČSAV. p. 73.
- Ráčková, M. (2012): Vliv globálních změn prostředí na obsah dusíku a uhlíku v biomase rostlin alpských vřesovišť v pohořích Vysokých Sudet. Diplomová práce. Katedra ekologie a životního prostředí. Přírodovědecká fakulta. Univerzita Palackého v Olomouci. p. 51.
- Scurfield, G. (1954): *Deschampsia flexuosa*. Biological flora of the British Isles. *Journal of Ecology*. 42: 225–233.

- Semelová, V., Hejcman, M., Hartmanová, O., Lokvenc, T. (2007): Travní zahrada u Luční boudy: dlouhodobý reziduální vliv organického hnojení. *Opera Corcontica*. 44 (2): 379–383.
- Schaer, C., Frei, C., Lüthi, C., Davies, H. C. (1996): Surrogate Climate Change Scenarios for Regional Climate Models. *Geophys. Res. Lett.* 23: 669–672.
- Soudzilovskaia, N. A., Onipchenko, V. G., Cornelissen, J. H. C., Aerts, R. (2007): Effects of fertilisation and irrigation on „foliar afterlife“ in alpine tundra. *Journal of Vegetation Science*. 18: 755–766.
- Stevens, C. J., Dise, N. B., Mountford, J. O., Gowing, D. J. (2004): Impact of nitrogen deposition on the species richness of grasslands. *Science*. 303: 1876–1879.
- Šafář, J. et al. (2003): Olomoucko. In: Mackovčín, P. a Sedláček, M. (eds.): Chráněná území ČR, svazek VI., Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno. Praha. p. 456.
- Škrottová, P. (2012): Vliv zvýšené teploty, srážek a zásobení dusíkem na fenologii alpínských keřů brusnice borůvky (*Vaccinium myrtillus*) a vřesu obecného (*Calluna vulgaris*). Diplomová práce. Katedra ekologie a životního prostředí. Přírodovědecká fakulta. Univerzita Palackého v Olomouci. p. 77.
- Štursa, J., Dvořák, J. (2009): Atlas krkonošských rostlin. Karmášek. České Budějovice. p. 329.
- Štursová, H. (1985): Antropické vlivy na strukturu a vývoj smilkových luk v Krkonoších. *Opera Corcontica*. 22: 79–120.
- Trenberth, K. E. (1999): Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change. *Climatic Change*. 42: 327–339.
- Trenberth, K. E., Jones, P. D., Ambenje, P., Bojariu, D., Easterling, D., Klein, Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J. A., Rusticucci, M., Soden, B., Zhai, P. (2007): Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H.L. (eds.)]. Cambridge university press. Cambridge. United Kingdom and New York. USA.
- Vágnerová, I., Šafář, J. et al. (2003): Chráněná území okresu Šumperk. In: Šafář, J. et al. Chráněná území ČR – Olomoucko, svazek VI. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno. Praha. p. 24.
- Wahren, C. H., Camac, J. S., Jarrad, F. C., Williams, R. J., Papst, W. A., Hoffmann, A. A. (2013): Experimental warming and long-term vegetation dynamics in an alpine heathland. *Australian Journal of Botany*. 61: 36–51.
- Walker, M. D., Wahren, C. H., Hollister, R. D., Henry, G. H. R., Ahlquist, L. E., Alatalo, J. M., Bret-Harte, M. S., Calef, M. P., Terry, V., Callaghan, T. V., Carroll, A. B., Epstein, H. E. et al. (2006): Plant community

- responses to experimental warming across the tundra biome. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. PNAS. 103: 1342–1346.
- Walther, G. R., Post, E., Covey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J. C., Fromentin, J. M., Hoegh-Guldberg, O., Bairlein, F. (2002): Ecological responses to recent climate change. *Nature*. 416: 389–395.
- Zahradník, D. (2011): Klimato-fenologická srovnávací analýza tří stanovišť alpínského bezlesí Vysokých Sudet na příkladu druhů *Calluna vulgaris* a *Vaccinium myrtillus*. Diplomová práce. Katedra ekologie a životního prostředí. Přírodovědecká fakulta. Univerzita Palackého v Olomouci. p. 61.
- Zhang, Y., Welker, J. M. (1996): Tibetan alpine tundra responses to simulated changes in climate: aboveground biomass and community responses. *Arctic and Alpine Research*. 28 (2): 203–209.

Internetové zdroje obrázků:

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

## 8. OBRAZOVÁ PŘÍLOHA



Foto 1 *Avenella flexuosa*



Foto 2 *Avenella flexuosa*



Foto 3 *Festuca supina*



Foto 4 *Festuca supina*





Foto 5 *Carex bigelowii*



Foto 6 *Carex bigelowii*



Foto 7 *Nardus stricta*



Foto 8 *Nardus stricta*



Foto 9 Lokalita Krkonoše



Foto 11 Stébla *Avenella flexuosa* přesahující OTC



Foto 10 Hexagonální „skleník“ OTC



Foto 12 Zalévání vegetace dešťovou vodou





Foto 13 Přenosné demineralizační zařízení



Foto 14 Zařízení na jímání srážkové vody



Foto 15 Fenologická kontrola